

# STRATEGICKÁ VÝZKUMNÁ AGENDA ROZVOJE VODÍKOVÝCH TECHNOLOGIÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ

Mgr. Jan Sochor a kolektiv autorů

Aktualizovaná verze

k 30. 6. 2023



EVROPSKÁ UNIE  
Evropský fond pro regionální rozvoj  
Operační program Podnikání  
a inovace pro konkurenceschopnost



PROJEKT „ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA 2023“  
CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_369/0025119

# Obsah

Cíl dokumentu	3
1. Úvod	4
2. Současný stav vodíkového hospodářství v České republice	5
3. Výzkumné a vývojové trendy v oblasti vodíkových technologií	9
4. Vzdělávání v oblasti vodíkových technologií	20
5. Doporučená opatření pro rozvoj výzkumu a vývoje vodíkových technologií v České republice	22
Seznam zkratek	23

## Cíl dokumentu

Identifikace technologií vhodných k rozvoji vodíkového hospodářství v návaznosti na výrobu, skladování, přepravu, distribuci a finální využití vodíku v České republice i ve světě. Dokument si klade za cíl poukázat na současné trendy ve výzkumu a vývoji, přičemž vychází primárně z dat a informací výzkumných asociací, mezi které řadí například *Joint Programme on Fuel Cells and Hydrogen* (JP FCH), nebo *Clean Hydrogen Joint Undertaking*. Dokument by měl sloužit jako nástroj pro státní správu a soukromé subjekty k podnikání informovaných rozhodnutí.

# 1. Úvod

Strategická výzkumná agenda 2023 je dokument zpracovaný v rámci projektu „Česká vodíková technologická platforma 2023“ CZ.01.1.02/0.0/20\_369/0025119 podpořeného z operačního programu OP PIK Spolupráce – Technologické platformy. Dokument byl zpracován autorským kolektivem platformy, konkrétně Ing. Alešem Douckem, Ph.D., Doc. Ing. Martinem Paidarem, Ph.D., Ing. Veronikou Vohlídkovou, Ing. Jiřím Vávrou Ph.D. a Ing. Václavem Bystrianským, Ph.D. Vedoucím pracovníkem dokumentu je Mgr. Jan Sochor.

Dokument popisuje současný stav rozvoje vodíkového hospodářství na území České republiky, přičemž vychází v této části z *Cestovní mapy rozvoje vodíkového hospodářství v ČR*. V navazujících kapitolách popisuje konkrétní směry vývoje v oblastech výroby, skladování, přepravy, distribuce a koncového využívání vodíku. Dokument na rozdíl od *Cestovní mapy* popisuje kromě trendů a nejnovějšího obecného vývoje i konkrétní výzkumné oblasti jednotlivých technologií, které jsou buďto v době vydání dokumentu řešeny na mezinárodní úrovni, nebo je nutné na nich pracovat tak, aby mohl být rozvoj vodíkového hospodářství ve větší míře uskutečněn.

Pro výběr konkrétních oblastí výzkumu u jednotlivých technologií využívá výzkumná agenda data z dokumentů *Joint Programme on Fuel Cells and Hydrogen*, nebo *Clean Hydrogen Joint Undertaking*, čímž prioritizuje konkrétní technologie i s ohledem na podporu z Evropské unie, kde vychází z tzv. *Net Zero Industry Act*. Cílem dokumentu je poukázat na nutnost výzkumu jak technologií výroby nízkouhlíkového a obnovitelného vodíku, tak na jeho způsoby uskladnění, přepravy a distribuce a výzkum s tím spojený, včetně koncového využití v zařízeních, jakými jsou palivové články či spalovací zařízení. Dokument na závěr přichází s doporučeními pro výzkumné a vývojové prostředí v oblasti vodíkových technologií v České republice.

## 2. Současný stav vodíkového hospodářství v České republice

Rozvoj vodíkového hospodářství v České republice zrychluje. Vodík je plyn, případně hluboce zmražená kapalina, jehož využití je spojováno se sektory dopravy, energetiky a dekarbonizace průmyslu, zejména ocelářství. Míra využití vodíku se bude lišit v závislosti na úrovni postupující dekarbonizace a technologickém pokroku jak na straně výroby a využití vodíku, tak na straně konkurenčních technologií. Vodík je v současnosti v České republice primárně vyráběn pro účely chemického průmyslu případně jako vedlejší produkt vznikající při chlor-alkalické elektrolyze vody. Současná výroba a poptávka po vodíku v České republice se stabilně pohybuje okolo 100 tisíc tun spotřebovaného vodíku ročně<sup>[1]</sup>.

Největším výrobcem vodíku na našem území je společnost ORLEN Unipetrol RPA. Výroba asi 80 tisíc tun vodíku ročně se nachází v Litvínově a v Kralupech nad Vltavou. Dominantní metodou, která je pro účely získávání vodíku použita, je parciální oxidace ropných zbytků. Vyrobený vodík je využíván zejména jako chemická látka ve výrobě konvenčních paliv (benzín, nafta, kerosin) krakováním těžších ropných frakcí a k syntéze čpavku. Přibližná emisní náročnost vyrobeného vodíku se pohybuje přibližně okolo úrovně 15 kg CO<sub>2</sub> na 1 kg. Kromě výroby parciální oxidací ropných zbytků je v České republice rozšířena metoda výroby parního reformování zemního plynu, kterou v Ostravě (přes 10 tisíc tun vodíku ročně) provozuje společnost BorsodChem MCHZ. Ta využívá vodík k navazující výrobě řady chemických látek. Kromě výše zmíněných v České republice existují i další společnosti vyrábějící vodík pro další chemické využití. Mezi ty se řadí například společnost DEZA, situovaná ve Valašském Meziříčí, společnost Synthos nacházející se v Kralupech nad Vltavou, nebo společnost Spolchemie, lokalizovaná v Ústí nad Labem. Spolek pro chemickou a hutní výrobu (Spolchemie) jako jediná výroba v ČR produkuje 2 200 tun vodíku ročně pomocí technologie chlor-alkalické elektrolyzy vody.

Právě Spolchemii lze označit za jednu z nejvýznamnějších výroben vodíku v České republice s velkým potenciálem využití vodíku v netradičních sektorech do budoucna. To je dáno zejména povahou vyráběného vodíku, jež je vysoké čistoty a vzniká jako vedlejší produkt, který lze využít i pro další zamýšlené aplikace mimo chemický průmysl. Potenciál využití vodíku nikoliv jako suroviny, ale jako paliva a energetického nosiče je značný. I z toho důvodu si je Ústecký kraj, ve kterém se největší výroby vodíku v České republice nachází, vědom tohoto potenciálu. Ten byl manifestován v dubnu roku 2022, kdy Hospodářská a sociální rada Ústeckého kraje publikovala vůbec první krajskou strategii pro oblast rozvoje vodíkového hospodářství s názvem „Vodíková strategie Ústeckého kraje“<sup>[2]</sup>. Ta vidí potenciál vodíku zejména v oblasti dekarbonizace průmyslu a vodíkové mobility, a to s přihlédnutím k využití vodíku v městské hromadné dopravě, na železnici a v lodní dopravě. Krajské představitelé vnímají vodík také jako jednu z prioritních oblastí výzkumu, vývoje a vzdělávání a jsou připraveni jej podpořit financemi z Fondu spravedlivé transformace. Ústecký kraj se mimo jiné jako první kraj v České republice zapojil do iniciativy Evropských vodíkových údolí<sup>[3]</sup>. Kromě využití stávající výroby vodíku se v kraji plánují projekty na výrobu obnovitelného vodíku v průmyslové zóně Triangle a navazující pilotní projekty<sup>[4]</sup>.

Kromě Ústeckého kraje je v České republice aktivní na poli rozvoje vodíkových technologií a vodíkového hospodářství i kraj Karlovarský. Ten v dubnu 2023 společně s Moravskoslezským a Ústeckým krajem podepsal memorandum

[1] „Hydrogen Demand“, oficiální stránka Fuel Cell and Hydrogen Observatory, <https://www.fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/hydrogen-demand>.

[2] Hospodářská a sociální rada Ústeckého kraje, *Vodíková strategie Ústeckého kraje*, <http://www.hsr-uk.cz/vodikova-strategie-usteckeho-kraje/>.

[3] Ústecký kraj, „Ústecký kraj je prvním českým regionem mezi evropskými vodíkovými údolími“, 9. března 2021, <https://www.kr-ustecky.cz/ustecky-kraj-je-prvnim-ceskym-regionem-mezi-evropskymi-vodikovymi-udolimi/d-1753822>.

[4] Deník.cz, „Vodík jako surovina budoucnosti. Jeho výroba se chystá nedaleko Žatce“, 18. července 2022, [https://zatecky.denik.cz/zpravy\\_region/vodik-vyroba-palivo-zatecko-triangle-20220718.html](https://zatecky.denik.cz/zpravy_region/vodik-vyroba-palivo-zatecko-triangle-20220718.html).

v oblasti podpory aplikace vodíkových technologií, tak rozvoje konceptu vodíkových údolí<sup>[5]</sup>. Karlovarský kraj mimo jiné chystá rozvoj vodíku a vodíkových údolí v návaznosti na regionální program INTERREG, a to ve spolupráci s Bavorskem.

Podobně jako Ústecký a Karlovarský i Moravskoslezský kraj je bývalým uhelným krajem, do kterého směřují finance z Fondu spravedlivé transformace. Řada projektů, které se v současné chvíli na území kraje chystají je spojena se společnostmi a vzdělávacími institucemi, které zde dlouhodobě působí. V červenci 2022 založili stakeholderi spjatí s vodíkovým hospodářstvím tzv. *Vodíkový Klastr*, který má za cíl koordinovat jednotlivé vodíkové projekty a vytvořit souvislou vodíkovou ekonomiku od nabídky až po poptávku<sup>[6]</sup>. Členy Klastru jsou kromě Moravskoslezského kraje i společnosti Cylinders Holding, Tatra, DPO, České dráhy, BorsodChem, ČEPRO, nebo třeba město Ostrava a Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava. Klastr bude pro začátek operovat s financemi o velikosti asi 1 miliardy korun z Fondu spravedlivé transformace. První projekty se zaměřují zejména na rozvoj městské hromadné dopravy, tedy nákup vodíkových autobusů a výstavbu vodíkových čerpacích stanic<sup>[7]</sup>. Do budoucna se počítá s výstavbou elektrolyzérů napojených na obnovitelné zdroje energie, například ve Frýdku-Místku a v Krnově<sup>[8]</sup>.

Oba kraje jsou hnací silou rozvoje vodíkového hospodářství v konkrétních částech České republiky. Na národní úrovni byla v červenci roku 2021 vládou přijata Vodíková strategie České republiky, která popisuje realitu výroby zamýšleného obnovitelného a nízkouhlíkového vodíku v České republice a nastiňuje čtyři specifické cíle, kterých je nutné pro úspěšný rozvoj vodíkového hospodářství dosáhnout. Těmi jsou zastřešující cíle navýšení výroby nízkouhlíkového vodíku, navýšení spotřeby nízkouhlíkového vodíku, připravenost infrastruktury na dopravu a skladování vodíku a rozvoj výzkumu, vývoje a výroby vodíkových technologií<sup>[9]</sup>. V březnu 2023 začaly práce na aktualizaci Vodíkové strategie České republiky, které primárně reflektují legislativní realitu podpory obnovitelného vodíku. Nově se počítá s prioritizací výroby obnovitelného vodíku elektrolyzou na území České republiky a s postupnou přípravou přepravní infrastruktury na přechod ze zemního plynu k vodíku. Přestože Česká republika nemá vhodné podmínky k výrobě obnovitelného vodíku, závazné cíle unijní legislativy zavazují všechny členské státy spotřebovávat obnovitelný vodík v sektorech průmyslu a dopravy, a to již v roce 2030. I z toho důvodu lze předpokládat, že Česká republika podpoří výrobu obnovitelného vodíku z finančních prostředků na dekarbonizaci tak, aby zvládla splnit závazné cíle do doby, než bude k dispozici funkční přepravní infrastruktura a dostatečné kapacity pro dovoz vodíku.

Pro lepší ilustraci možností výroby obnovitelného vodíku je ale nutné zmínit, že podle společnosti EGÚ Brno vyrábí průměrná solární elektrárna v ČR elektřinu v přepočtu na svůj špičkový instalovaný výkon asi 1 000 hodin ročně<sup>[10][11]</sup>. V porovnání, koeficient využití instalovaného výkonu je u elektrárny postavené ve velmi slunném Španělsku je až 2 000 hodin ročně<sup>[12]</sup>. Už jen z tohoto důvodu nelze předpokládat, že by na evropské úrovni elektřina z fotovoltaické elektrárny vyrábějící v České republice mohla konkurovat té španělské. Přestože do této rovnice promlouvají i další proměnné, jakými je například kapacita přenosové soustavy, hustota zalidnění a další aspekty, v porovnání s některými státy Evropské unie Česká republika nebude schopná dosáhnout obdobně nízké ceny u výroby obnovitelného vodíku.

[5] Ministerstvo životního prostředí, „Hejtmani uhelných regionů podepsali na Ministerstvu životního prostředí vodíkové memorandum. Cílem je větší mezikrajská spolupráce pro rozvoj vodíkových technologií“, 4. dubna 2023 [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20230404-Hejtmani-uhelných-regionů-podepsali-na-Ministerstvu-zivotního-prostředí-vodikove-memorandum-Cílem-je-větší-mezikrajská-spolupráce-pro-rozvoj-vodikových-technologií](https://www.mzp.cz/cz/news_20230404-Hejtmani-uhelných-regionů-podepsali-na-Ministerstvu-zivotního-prostředí-vodikove-memorandum-Cílem-je-větší-mezikrajská-spolupráce-pro-rozvoj-vodikových-technologií)

[6] Komunální ekologie, „Vznikl Vodíkový Klastr“, 4. července 2022 <https://www.komunalniekologie.cz/info/vznikl-vodikovy-klastr>.

[7] „Současné projekty“, oficiální stránka Dopravního podniku Ostrava, <https://www.dpo.cz/o-spolecnosti/dotace/soucasne-projekty.html>.

[8] Enviweb, „Teplárny Veolie Energie ve Frýdku-Místku a Krnově budou vyrábět i vodík“, 2. prosince 2021, <https://www.enviweb.cz/120697>.

[9] Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, *Vodíková strategie České republiky*, 2021, [https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Vodikova-strategie\\_CZ\\_G\\_2021-26-07.pdf](https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07.pdf).

[10] Egú Brno, *Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE*, [https://www.solarniasociace.cz/aktuality/20190107\\_oponentni-posudek-k-nkep-pro-fve.pdf](https://www.solarniasociace.cz/aktuality/20190107_oponentni-posudek-k-nkep-pro-fve.pdf).

[11] Obnovitelné zdroje vyrábí elektrickou energii téměř celoročně, ale jen menšinu času z roku vyrábí na plný instalovaný výkon.

[12] Cristobal Gallego-Castillo, Miguel Luis Heleno a Marta Victoria, „Self-consumption for energy communities in Spain: A regional analysis under the new legal framework“, *Energy Policy*, 2021, [https://www.researchgate.net/figure/Capacity-factors-representative-for-every-region-in-Spain-Average-values-over-the-39\\_fig2\\_349072887](https://www.researchgate.net/figure/Capacity-factors-representative-for-every-region-in-Spain-Average-values-over-the-39_fig2_349072887).

Podobně je na tom v České republice i využití větrných elektráren, a to například v porovnání s offshorovými elektrárnami stavěnými v Severním moři, které mohou vyrábět obnovitelnou elektřinu, potažmo v napojení na elektrolyzáry také obnovitelný vodík, za výrazně nižší cenu kvůli tomu, že vyrobí výrazně více elektrické energie ročně na jednotku instalovaného výkonu. České republice se navíc dlouhodobě nedaří efektivně nové větrné elektrárny stavět, postavit tak v podmínkách ČR jednu větrnou elektrárnu může trvat i déle než 10 let<sup>[13]</sup>.

Vodíková strategie České republiky právě z výše zmíněných důvodů přikládá význam i jiným výrobám vodíku, jmenovitě například výrobě elektrolyzou vody za použití jaderných zdrojů energie. Právě tento typ výroby legislativně docílí výroby nízkouhlíkového vodíku. Je ale nutné zmínit, že obnovitelný vodík má v unijní legislativě výrazně lepší postavení než vodík nízkouhlíkový, a to z toho důvodu, že pouze obnovitelným vodíkem lze plnit sektorové cíle směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů v průmyslu a dopravě (tzv. RED), zatímco nízkouhlíkový vodík plní pouze povinné cíle snižování emisí skleníkových plynů v dopravě.

Nezávisle na legislativně stanovených cílech na úrovni unijních institucí, řada společností v České republice již příležitost, kterou představuje vodíkové hospodářství, identifikovala. To se zrcadlí například v prudkém nárůstu počtu členů HYTEP, jež se během uplynulých dvou let rozrostla z méně než 30 na více jak 80 členů, kteří se specializují na většinu oblastí vodíkového hodnotového řetězce. Česká republika je například tradičně silná v technologiích na skladování vodíku zejména v plynné formě o různých tlacích, konkrétně lze zmínit například společnost Cylinders Holding, Východočeské plynárenské strojírně, Hydrogen Systems, Strojón, Rév Group a další. V oblasti dodávek technických plynů (i zkvalifikovaných) na českém území působí společnosti Linde Gas, Air Products či Chart Ferox nebo Messer Technogas. Z hlediska koncových produktů vodíkových technologií, jakými jsou systémy s palivovými články, nebo malé elektrolyzáry či testovací nástroje je nutné zmínit společnosti jakými jsou DEVINN, ÚJV, LeanCat, nebo Kolibrik. net. V oblasti vodíkové mobility na českém trhu působí a vyvíjí vodíkové městské autobusy například společnost Škoda Electric. Ve Vysokém mýtě zase v budoucnu předpokládá postavit výrobní závod na výrobu meziměstských vodíkových autobusů společnost Iveco Bus. V oblasti železniční mobility lze na českém trhu nalézt společnosti zabývající se přestavbou starých dieselových lokomotiv na vodíkový pohon, jakými jsou například firmy CZ Loko, nebo průmyslová skupina Thein Industry. Kromě oblasti železniční dopravy se řada menších i větších českých firem také zaměřuje na vývoj prototypů využívající palivové články. Například společnost Zebra Group počítá s vodíkem u vozidel komunálních služeb, česká společnost Tatra Trucks zase vyvíjí prototyp nákladního vozidla využívaného v těžkých podmínkách lomů na přepravu vytěženého materiálu.

V neposlední řadě se v České republice pomalu začínají rozbíhat projekty, které počítají s výrobou a následným využitím zejména obnovitelného vodíku. Nejdále je s výstavbou elektrolyzáru společnost Solar Global, která již testuje 230 kW elektrolyzáry, jež bude napojený na fotovoltaickou elektrárnu ve zlínských Napajedlech a vyrábět vodík v ostrém provozu by měl začít na podzim 2023. Ve fázi realizace a získávání potřebných povolení jsou ale již další společnosti, které plánují do budoucna instalovat elektrolyzáry o celkových výkonech v jednotkách až desítkách MW. Mezi tyto společnosti patří Veolia, Teplárny Brno, Orlen Unipetrol, FOR H2ENERGY, ČEZ, Sev.en Energy, C-Energy planá, nebo distribuční společnost GasNet. Všechny tyto projekty jsou většinou spjaty s lokálním využitím vodíku poblíž místa výroby. Etablování plnohodnotného trhu s vodíkem bude postupně a skutečně masivní využití vodíku nastane až v 30. letech, kdy by měly začít fungovat první dedikované plynovody přepravující čistý vodík<sup>[14]</sup>.

Řada společností nicméně už dnes naráží na limity české i evropské legislativy, které realizaci pilotních projektů přibrzdí. Protože je Česká republika součástí vnitřního trhu a plnohodnotným partnerem v rámci Evropské unie, i zde bude možné nasazení vodíkových technologií buďto podpořeno, nebo přibrzděno v závislosti na výsledku jednání mezi členskými státy, Evropskou komisí a Evropským parlamentem. Přestože Evropská unie neustále aktualizuje své plány v otázce rozvoje celoevropského vodíkového hospodářství, a to i v souvislosti s geopolitickým děním na východ od členských států EU, strategie a plány nejsou vždy podpořeny adekvátními legislativními návrhy. Nově například

[13] Ekonews, „Proč se nestaví větrné elektrárny? Stavbu komplikují složité schvalovací procesy i obavy z hluku“, 21. června 2022, <https://www.ekonews.cz/proc-se-nestavi-vetrne-elektrarny-stavbu-komplikuji-slozite-schvalovaci-procesy-i-obavy-z-hluku/>.

[14] European Hydrogen Backbone, *European Hydrogen Backbone A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries*, <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf>.

Evropská komise v plánu REPowerEU počítá s výrobou až 10 milionů tun obnovitelného vodíku do roku 2030, stejné množství vodíku by mělo být do Evropy dováženo, patrně formou derivátů, jakými je obnovitelný metanol, amoniak, LOHC<sup>[15]</sup>, nebo ve formě zkapalněného vodíku<sup>[16]</sup>. Zda tento plán v zamýšleném rozsahu bude uskutečněn nelze v tuto chvíli s jistotou predikovat.

---

[15] Liquid Organic Hydrogen Carrier, jedná se o tekuté organické nosiče vodíku, které se podobají vzhledem i konzistencí ropným produktům.

[16] Evropská komise, *RePowerEU* (2022), [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF).



## 3. Výzkumné a vývojové trendy v oblasti vodíkových technologií

### 3.1 Výzkum a vývoj vodíkových technologií

Výzkum a vývoj vodíkových technologií a vodíku v České republice probíhá již desetiletí. V České republice bylo v době vydání tohoto dokumentu realizováno přibližně 500 projektů zaměřených na vodík, které byly z veřejných prostředků (národních i unijních) podpořeny, a které jsou dohledatelné prostřednictvím vyhledávače *Starfos*<sup>[17]</sup>, pracujícím s databází *Technologické agentury České republiky, Grantové agentury ČR apod.* Realizované či probíhající projekty se zaměřují na celou řadu aspektů vodíkových technologií od materiálových efektů vodíku na určité kovové slitiny, až po vývoj nových trailerů na přepravu vodíku, plnicích stanic, výzkum palivových článků, výzkum chování vodíku při úniku a celou řadu dalších aktivit.<sup>[18]</sup>

Prioritizaci výzkumných a vývojových aktivit zajišťuje v České republice Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci ČR (tzv. RIS3) 2021–2027<sup>[19]</sup>. Vodík je v této strategii zastoupen v řadě strategických témat, namátkou lze například zmínit technologie využívající vodík a další nízkoemisní stupy v rámci dekarbonizace průmyslové výroby (redukce železné rudy vodíkem), nebo výzkum a vývoj nových inovovaných materiálů odolných vodíku (produktovody). Vodík má v inovační strategii také vlastní zastoupení v rámci strategického tématu DS01CCI10: Vodíkové technologie pro podporu dekarbonizace energetiky a především průmyslu<sup>[20]</sup>. Speciální prostor tak strategie dává zejména technologiím pro výrobu vodíku s nízkou emisní stopou z fosilních zdrojů s technologií CCS/CCU, výrobě vodíku z jaderných zdrojů či ze zdrojů obnovitelných. Specificky také zmiňuje systémy skladování, přepravy, či technologie pro výrobu energie, jako mikro kogenerační jednotky, či vytápění vodíkem. Kromě výše zmíněného strategického tématu je vodík možné dohledat v řadě dalších témat, která se specificky nezaměřují pouze na vodíkové technologie. Například pojem elektrolyzér je možné dohledat ve strategickém tématu DS01VVI03 pod strojírenskými zařízeními a komponenty pro moderní energetiku. Níže zmíněné priority výzkumu a vývoje se zaměřují zejména na aplikovaný a experimentální výzkum a z toho důvodu většinou opomíjí základní výzkum vlastností vodíku bez použití v dané technologii.

### 3.2 Priority výzkumu a vývoje v oblasti vodíkových technologií

Spektrum technologií, které je vhodné z hlediska výzkumu a vývoje v současnosti i do budoucna podporovat je rozsáhlé. V praxi jedná především o:

- technologie zajišťující výrobu obnovitelného a nízkouhlíkového vodíku s dostatečnou účinností a velikostí produkce;
- technologie sloužící ke skladování vodíku, přepravě a distribuci vodíku;
- technologie zajišťující využití vodíku jako paliva nebo výroby tepla či energie.

Protože je Česká republika součástí Evropské unie je pro určitou prioritizaci výzkumu a vývoje nutné zohlednit i legislativní rámec Unie, která do značné míry definuje preferované technologie, ať už se jedná o výrobu elektrolýzou vody, až po využití palivových článků. Některé tyto technologie, které Unie do budoucna podpoří lze dohledat v nově

[17] Starfos, *Prozkoumejte svět českého výzkumu*, <https://starfos.tacr.cz/cs>

[18] Technologická agentura České republiky, *Starfos: Vodík*, [https://starfos.tacr.cz/vse?query=sswqaac15arq&search\\_collection=all](https://starfos.tacr.cz/vse?query=sswqaac15arq&search_collection=all)

[19] Ministerstvo průmyslu a obchodu, *RIS3 strategie*, <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/>

[20] Ministerstvo průmyslu a obchodu, *Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci České republiky*, prosince 2022, 13-14, <https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/ris3-strategie/2022/7/P1-Karty-tematickych-oblasti-V4.pdf>

vznikajícím nařízením nesoucí *Net Zero Industry Act (NZIA)*<sup>[21]</sup>, který má za cíl identifikovat pro Evropskou unii strategické technologie sloužící k dekarbonizaci hospodářství a podpořit jejich nasazení v praxi zjednodušeným legislativním prostředním, investičními pobídkami a podporou výstavby továren vyrábějící tyto technologie na území Evropské unie. Mezi klíčové technologie řadí NZIA solární fotovoltaické a solární termální technologie, větrnou energii na pevnině a obnovitelné zdroje na moři, baterie a skladování energie, tepelná čerpadla a geotermální energie, elektrolyzéry a palivové články, bioplyn a biometan, technologie na zachycování a ukládání uhlíku a technologie zajišťující správný chod elektrizační soustavy.

Strategická výzkumná agenda by nicméně neměla být omezena pouze na favorizované technologie, které jsou v Evropě ve většině případů podporovány pro jejich napojení na obnovitelné zdroje energie a z důvodu celkového zvyšování efektivity nakládání s energií. Tato kapitola proto vychází především z dokumentů zpracovaných institucemi *Joint Programme on Fuel Cells and Hydrogen (JP FCH)*<sup>[22]</sup> a *Clean Hydrogen Joint Undertaking*<sup>[23]</sup>, které definují výzkumné priority v oblasti vodíkových technologií do roku 2030 a poskytuje tak jakýsi kompas v otázce prioritizace výzkumných a vývojových aktivit na území České republiky.

### 3.2.1 Technologie zajišťující výrobu obnovitelného a nízkouhlíkového vodíku

Záměrem této kapitoly je popsat výzkumné aktivity, které se v současnosti rozvíjejí pro výrobu jak obnovitelného, tak nízkouhlíkového vodíku v Evropě<sup>[24]</sup>, a to technologie zajišťující dostatečnou účinnost a velikost produkce. Jednotlivé technologie výroby jsou níže rozřazeny do kapitol podle jejich legislativní podpory v rámci unijní legislativy.

#### *Elektrolýza vody (obnovitelný vodík)*

Více jak 96 % veškerého vodíku na světě je v současnosti vyráběno z fosilních paliv a jen přibližně 4 % se vyrábějí z vody elektrolýzou, a to primárně v rámci chlor-alkalické výroby elektrolýzou solanky.<sup>[25]</sup> Výroba elektrolýzou vody, která v kombinaci s obnovitelnými zdroji energie vede k produkci obnovitelného vodíku se musí stát v následujících letech konkurenceschopnou k výrobě z fosilních paliv. Podle dokumentu *Clean Hydrogen Joint Undertaking* by se cena vodíku na plnicí stanici musela snížit na úroveň přibližně 5 € za 1 kg vodíku, aby mohla konkurovat naftě a přibližně 2–3 € za 1 kg vodíku, aby byl obnovitelný vodík konkurenceschopný k náhradě šedého vodíku v průmyslu<sup>[26]</sup>. Zlepšení technologie elektrolýzy vody by se mělo zaměřit primárně na snižování ceny technologie, zvyšování elektrické účinnosti a zlepšování životnosti.

Elektrolytické technologie se dělí na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Mezi nízkoteplotní elektrolyzéry se řadí alkalické elektrolyzéry (AEL), elektrolyzéry s protonově vodivou membránou (PEMEL) a elektrolyzéry s anion selektivní membránou (AEMEL). Mezi vysokoteplotní elektrolyzéry spadá technologie elektrolýzy s elektrolytem na bázi pevných oxidů (SOEL). Jednotlivé technologie se nachází v různých stavech technologické vyspělosti, přičemž jejich vhodnost využití předurčuje režim provozu, ve kterém je vhodné tyto technologie využívat. Zatímco PEM elektrolyzéry jsou vhodné

[21] Evropská komise, *Návrh nařízení Evropského parlamentu a Rady, kterým se zřizuje rámec opatření pro posílení evropského ekosystému výroby produktů technologií pro nulové čisté emise (Net Zero Industry Act – Akt o průmyslu pro nulové čisté emise)*, [https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act_en).

[22] European Energy Research Alliance, *Joint Research Programme on Fuel Cells and Hydrogen Technologies (JP FCH)*, 21. června 2019, <https://www.eera-set.eu/component/attachments/task=download&id=253>

[23] Clean Hydrogen Partnership, *Clean Hydrogen Joint Undertaking (Clean Hydrogen JU)*, březen 2022, [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20AWP%202022\\_0.pdf](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20AWP%202022_0.pdf)

[24] Pro informace, co je obnovitelný a nízkouhlíkový vodík a jakým způsobem je na unijní úrovni definován navštivte dokument *Cestovní mapa rozvoje vodíkového hospodářství*, <https://www.hytep.cz/platforma/dokumenty-ke-stazeni>

[25] Mezinárodní agentura pro obnovitelnou energii, *Hydrogen*, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>

[26] Clean Hydrogen Partnership, *Clean Hydrogen Joint Undertaking (Clean Hydrogen JU)*, březen 2022, 20–21, [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20AWP%202022\\_0.pdf](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20AWP%202022_0.pdf)

pro výrobu vodíku v návaznosti na intermitentní obnovitelné zdroje, vysokoteplotní elektrolyzéry jsou vhodnější pro využití v kombinaci se stabilním zdrojem elektřiny a tepla. K roku 2023 jsou technologicky i komerčně nejvyspělejší technologie alkalické elektrolyzy vody a elektrolyzy vody využívající protonově vodivou membránu.<sup>[27]</sup> Výrobní kapacity elektrolyzérů na území Evropské unie v roce 2023 činily podle *European Clean Hydrogen Alliance*<sup>[28]</sup> přibližně 3,1 GW elektrolyzérů ročně.<sup>[29]</sup> Podle *Mezinárodní agentury pro energii (IEA)* se Evropa v roce 2023 na celosvětovém trhu s elektrolyzéry podílí přibližně z 30 %<sup>[30]</sup>. Evropští výrobci elektrolyzérů plánují do roku 2025 navýšit výrobní kapacity na 21 GW.

Systém elektrolyzérů zjednodušeně sestává z:

- systému pro úpravu vody
- elektrolytického svazku
- cirkulačních okruhů kapalin
- separace, sušení plynů
- výkonové a řídicí elektroniky
- subsystému dočištění vodíku.

### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje elektrolyzy vody v České republice:**

- výzkum a vývoj pevných i kapalných elektrolytů pro vysokoteplotní a nízkoteplotní elektrolyzu (například výzkum degradace elektrolytu, výzkum procesů transportu iontů a vody v elektrolytu apod.);
- výzkum a vývoj inovativních katalyzátorů pro vysokoteplotní a nízkoteplotní elektrolyzu (například výzkum nových materiálů katalyzátorů, snižování množství drahých kovů na katalyzátorech apod.);
- výzkum designu svazků a výroby jednotlivých komponent svazků (například výzkum bipolárních desek, membránových elektrod (MEA), difúzních vrstev, nových designů svazků apod.);
- výzkum a vývoj integrace celého systému elektrolyzérů (například výzkum a vývoj nových konceptů elektrolyzérů – systému, výzkum a integrace podpůrného systému elektrolyzérů, vývoj a integrace sensorů měřících například výkon svazku a podpůrných systémů.

U jednotlivých typů elektrolyzy vody se mohou mírně lišit priority výzkumu a vývoje. Primárním cílem výzkumu a vývoje by mělo být postupné zvyšování výkonu a účinnosti s navazujícím předpokladem snížení investiční i provozní ceny systémů. Kromě výše zmíněného by výzkum a vývoj měl vést k navýšování životnosti celého systému.

## **Zachytávání CO<sub>2</sub> a pyrolýza metanu (nízkouhlíkový vodík)**

Unijní legislativa kromě tzv. obnovitelného vodíku podporuje i nízkouhlíkový vodík. Nízkouhlíkový vodík je dle unijní definice vodík, který je vyroben z neobnovitelných zdrojů energie za předpokladu, že výroba 1 kg vodíku nevypustí do atmosféry více jak 3,38 kg CO<sub>2</sub>. Právě množství vypuštěných emisí předurčuje vhodné technologie pro výrobu vodíku v návaznosti na cíle snižování emisí skleníkových plynů. V praxi lze k výrobě nízkouhlíkového vodíku využít fosilní paliva při předpokladu zachycení emisí oxidu uhličitého prostřednictvím technologie ukládání oxidu uhličitého (CCS – *Carbon Capture and Storage*), případně pomocí technologie zachycení a využití oxidu uhličitého (CCU – *Carbon Capture and Utilisation*). Řada konceptů a výrobních postupů nízkouhlíkového vodíku dnes počítá primárně s využitím zemního plynu s následným zachycováním oxidu uhličitého, ať už pomocí parního či autotermálního reformingu

[27] Clean Hydrogen Partnership, *Programme review report 2022*, prosinec 2022, 24-25, [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-12/Programme%20Review%20Report%202022\\_1.pdf](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-12/Programme%20Review%20Report%202022_1.pdf)

[28] Evropská aliance pro čistý vodík sdružuje zástupce unijních institucí, soukromých společností, výzkumných asociací, neziskových organizací apod. Aliance byla založena v červenci 2020 a jejím cílem je rozvoj technologií produkujících a využívajících čistý vodík v Evropské unii. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en)

[29] European Clean Hydrogen Alliance, *Second European Electrolyser Summit State of play on the Joint Declaration*, 26. června 2023 <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/54935>

[30] Mezinárodní agentura pro energii, *Energy Technology Perspectives 2023*, leden 2023, 246–248, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>

zemního plynu. Potenciálně zajímavou technologií do budoucna se jeví technologie pyrolýzy zemního plynu, při níž nevzniká žádný oxid uhličitý, ale pouze pevný uhlík.

Klíčové výzkumné a vývojové aktivity budou rozepsány v jednotlivých podkapitolách, primárním cílem v otázce výzkumu výroby nízkouhlíkového vodíku by měla být především maximalizace zachytávání CO<sub>2</sub>, zvyšování energetické účinnosti a scale-up obou níže zmíněných technologií.

### Zachycování či využívání oxidu uhličitého (CCS/CCU)

Technologie zachycování oxidu uhličitého při výrobě vodíku ze zemního plynu je v současnosti poměrně méně rozšířená. Podle IEA se na světě nachází přibližně 15 výroben vodíku, které zachycují oxid uhličitý, přičemž veškerý vodík je spotřebován v navazujících průmyslových procesech či pro navýšení zpracování ropy<sup>[31]</sup>. Projekty na zachycování a ukládání oxidu uhličitého se nachází v Severní Americe, Francii či Japonsku. Výrobní, které byly uvedeny do provozu v minulých letech jsou obvykle schopné zachytit přibližně 50–60 % veškerých emisí oxidu uhličitého<sup>[32]</sup>. Rozdíl v množství zachycování emisí oxidu uhličitého se liší v návaznosti na využitou technologii. V případě parního reformingu zemního plynu je možné v rámci celého procesu zachytit přibližně 85–90 % veškerých emisí oxidu uhličitého. Při využití autotermálního reformingu je potenciál zachycení vyšší než 90 %<sup>[33]</sup>.

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje zachycování a využívání vodíku v České republice:**

- výzkum geologických struktur na území České republiky schopných pojmout CO<sub>2</sub> z procesu výroby vodíku z fosilních paliv;
- výzkum a vývoj zaměřený na design nových výroben vodíku z fosilních paliv (autotermální reforming, parní reforming atd.) a zvyšování účinnosti zachytávání CO<sub>2</sub>;
- výzkum a vývoj monitorovacích nástrojů, modelů, senzorů a dalších přístrojů k účelu dlouhodobého skladování CO<sub>2</sub>.

Technologie spojené se zachytáváním oxidu uhličitého lze využít i mimo výrobu vodíku z fosilních paliv, a to k zachycování CO<sub>2</sub> v jiných procesech (například při výrobě oceli).

### Pyrolýza metanu

Pyrolýza metanu je technologie, během níž dochází k termálnímu rozkladu metanu na vodík a pevný uhlík. Během procesu pyrolýzy metanu nedochází k uvolňování oxidu uhličitého. Celková účinnost pyrolýzy metanu se odhaduje na přibližně 58 %<sup>[34]</sup>. Technologie pyrolýzy metanu nicméně není prozatím konkurenceschopná v porovnání s parním reformingem, přičemž výroba 1 tuny vodíku vyjde přibližně na 2 600 až 3 200 € v porovnání s 2000 € u parního reformingu<sup>[35]</sup>.

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje pyrolýzy metanu v České republice:**

- výzkum a vývoj nových katalyzátorů pro proces pyrolýzy v reaktorech;
- výzkum a vývoj reaktorů, kde probíhá chemická reakce;
- výzkum a vývoj designu systémů pyrolýzy metanu pro maximalizaci udržitelné výroby vodíku.

[31] Mezinárodní agentura pro energii, *Global Hydrogen Review 2022*, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022/executive-summary>

[32] Christian Bauer, Karin Treyer, Cristina Antonini a další, „On the climate impacts of blue hydrogen production“, *Sustainable Energy & Fuels*, září 2021, 1-4, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/se/d1se01508g>

[33] Minli Yu, Ke Wang, Harrie Vredenburg, „Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen“, *International Journal of Hydrogen Energy*, 15. června 2021, 21268, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921012684>

[34] Ibid., b-e

[35] Ibid., b-e

Cílem výzkumu a vývoje na poli pyrolýzy metanu by měla být maximalizace životnosti celého systému, snižování investiční i provozní náročnosti a optimalizace výroby v závislosti na poptávce.

### 3.2.2 Technologie sloužící ke skladování, přepravě a distribuci vodíku

Vodík je pro své fyzické vlastnosti, zejména nízkou energetickou hustotou na objem (3 kWh na 1 m<sup>3</sup> za normálních podmínek), plynem, který je nutné v případě skladování a přepravy stlačit, zkapalnit, nebo přeměnit do formy derivátů (čpavek, methanol, LOHC apod.) V době vydání této cestovní mapy je vodík primárně spotřebován v místě výroby, a to právě z výše zmíněného důvodu. Tato kapitola se zaměří na výzkum a vývoj technologií pro skladování, přepravu a distribuci vodíku. Jedná se především o výzkum podzemního skladování vodíku, nadzemních stacionárních uložišť a možností přepravy.

#### Nadzemní skladování stlačeného plynného vodíku

V současné době se v Evropě vodík nejčastěji skladuje a přepravuje ve stlačené formě. Vodík je skladován při různých tlacích v závislosti na finálním využití. V případě využití vodíku v mobilitě je vodík uskladněn standardně při tlacích 350 nebo 700 bar, a to v kompozitních tlakových nádržích<sup>[36]</sup>. Při skladování vodíku pro stacionární použití, nebo pro přepravu vodíku po silnici či železnici je využito standardně tlaku od 30 až do 500 barů, přičemž ke skladování i transportu se běžně využívají ocelové nádrže, v současné době, ale pro své vlastnosti získávají na oblibě i kompozitní materiály. V případě skladování vodíku ve stlačené formě je nutné zmínit i dodatečné technologie nutné k správné utilizaci samotných nádrží, jakými jsou například kompresory<sup>[37]</sup>.

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje nadzemního skladování pro stlačený plynný vodík v České republice:**

- výzkum a vývoj inovativních technologií komprese (například komprese využívající metal hydridy, elektrochemická komprese, či ionické kompresory);
- výzkum a vývoj kompozitních či ocelových materiálů pro skladování vodíku o vysokých tlacích (bezpečnost, spolehlivost, permeace vodíku);
- výzkum aspektů zvyšující únavu materiálu při skladování vodíku (vodíkové křehkost, vodíkem indukované praskání);
- výzkum a vývoj inovativních způsobů výroby stacionárních uložišť vodíku vedoucích k snižování ceny.

Primárním zaměřením výzkumu stacionárního skladování vodíku je snižování spotřeby komprese vodíku a výzkum vhodných materiálů vedoucích k snižování ceny za jednotku uskladněného vodíku.

#### Podzemní skladování stlačeného plynného vodíku

Skladování vodíku v podzemí je jedním z předpokladů pro úspěšné zavedení vodíkového hospodářství v Evropě. Vodík je možné ve stlačené formě skladovat buďto v solných jeskyních, v akviferech nebo porézních strukturách. Z hlediska technologické připravenosti jsou právě solné jeskyně potenciálním adeptem na skladování vodíku ve výši stovek GWh energie. Zatímco v solných jeskyních po světě již řada projektů probíhá, v případě dalších typů podzemního skladování je nutné potvrdit jejich vhodnost zejména lokálně.

[36] S Orlova, N. Mezeckis, V. P. K. Vasudev, „Compression of Hydrogen Gas for Energy Storage: A Review“ Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 15. dubna 2023, 5–7, <https://sciendo.com/article/10.2478/lpts-2023-0007?tab=pdf-preview>

[37] Ibid., 10-11

### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje podzemního skladování stlačeného plynného vodíku v České republice:**

- výzkum a vývoj designu podzemního skladování v solných jeskyních, porézních strukturách či akviferech;
- výzkum a vývoj nadzemních zařízení pro vtlačení/odebírání a kontrolu vodíku v podzemních strukturách (sušení vodíku, dočištění vodíku a další);
- výzkum chování vodíku v zásobnících dnes používaných pro zemní plyn při blendingu či použití čistého vodíku (z hlediska mikrobiální aktivity, integrity uskladnění, permeace, ztráty tlaku, spotřeba energie a další);
- techno-ekonomické analýzy optimalizace provozu skladování vodíku zejména v kontextu sezónního skladování a vyrovnávání elektrizační soustavy a navazující studie.

Primárním zaměřením výzkumu podzemního skladování stlačeného plynného vodíku je připravit energetické systémy dnes závislé především na zemním plynu na přechod na vodík, studie proveditelnosti daného řešení a optimalizace zejména v kontextu integrace sektorů plynárenství a elektroenergetiky.

### **Skladování zkapalněného vodík (LH<sub>2</sub>)**

Vodík je možné skladovat i v kapalném stavu, a to za teplot okolo – 253 °C při atmosférickém tlaku. Zkapalněný vodík má značnou výhodu především ve vyšší energetické hustotě na objem, která se v tomto případě přibližuje 71 g uloženého vodíku na 1 litr kryogenní nádrže v porovnání se stlačeným vodíkem, kde je možné při 700 barech uložit přibližně 40 g do 1 litru nádrže.<sup>[38]</sup> Tato výhoda je značná zejména v případě distribuce vodíku, kde je možné na jednom traileru přepravit až 4 tuny vodíku (3,3 tun v EU).<sup>[39]</sup> Nádrže na zkapalněný vodík se standardně neplní do 100 %, ale přibližně 5–10 % celkového objemu zůstává uvolněno kvůli odpařování. Značnou nevýhodou je vysoká energetická náročnost zkapalňování, která v průmyslovém měřítku v době vydání této cestovní mapy spotřebuje od 15 do 43 MJ/1 kg vodíku, tedy okolo 30 % energie obsažené v samotném vodíku.<sup>[40]</sup> Trh se zkapalněným vodíkem je rozvinutý zejména ve Spojených státech amerických, a to z důvodu využití zkapalněného vodíku pro vesmírné mise NASA.

Nádrže na skladování zkapalněného vodíku jsou obvykle dvojvrstvé kryogenní nádrže, s vnitřní i vnější ocelovou stěnou, přičemž mezi vnitřní a vnější stěnou se nachází termálně izolační materiál. Značnou komplikací je odpařování vodíku, ke kterému dochází vlivem velmi nízké teploty varu ve zkapalněném stavu, to vytváří v nádržích tlak, který je nutné řešit ideálně přímo spotřebovat nebo ventilováním vodíku do ovzduší. Při zkapalňování vodíku a jeho stacionárním uskladnění je možné odpařený vodík zachytit a opět zkapalnit

### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje skladování zkapalněného vodíku v České republice:**

- výzkum a vývoj materiálů pro kryogenní nádrž (například zlepšení tepelné izolace, schopnost vystát zvýšený nakumulovaný tlak, tedy vyšší bezpečnost, vyšší životnost);
- výzkum a vývoj zkapalňovačů vodíku a zvyšování jejich celkové účinnosti;
- výzkum a vývoj tepelného kryomanagementu nádrží a navazujících materiálů (od nádrže až po čerpací stanici);
- výzkum efektů zkapalněného vodíku na materiál nádrže;
- výzkum a vývoj vedoucí ke zlepšení zachytávání odpařeného vodíku a jeho následného zkapalnění;
- výzkum a vývoj nádrží na stlačený kryo vodík (například vhodné designy nádrží, vhodné materiály k použití, systémy uskladnění zejména pro vodíkovou mobilitu);
- vývoj inovativního procesu výroby nádrží.

[38] Evropská komise, *Assessment of hydrogen delivery options*, 21. října 2022, 13, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130442>

[39] R. K. Ahluwalia, H. S. Roh, J-K Peng a D. Papadias, „*Liquid Hydrogen Technologies Workshop*“, 22 až 23. února 2022, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquid%20H2%20Workshop-ANL2.pdf>

[40] Evropská komise, *Assessment of hydrogen delivery options*, 21. října 2022, 13, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130442>

Hlavním zaměřením výzkum a vývoje v oblasti zkvalněného vodíku by mělo být obecné zlepšování celkové účinnosti zkvalněování a zacházení se zkvalněným vodíkem (snížení odparu) s cílem snižovat cenu výroby nádrží a zvyšování spolehlivosti.

### Deriváty/nosiče vodíku (čpavek, methanol, LOHC, syntetická paliva, metalhydridy)

Vodík ať už ve zkvalněné, nebo plynné formě není s ohledem na energetickou hustotu obsaženou na 1 m<sup>3</sup> (1000 litrů) příliš koncentrovaným palivem v porovnání například s fosilními palivy. Pro import vodíku ze vzdálených oblastí je v současnosti uvažováno i využití derivátů vodíku buďto ve formě čpavku, methanolu, nebo ve formě tzv. *Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)*. Značnou výhodou čpavku je jeho vysoká objemová hustota, přibližně 107,7 – 120 kg na 1 m<sup>3</sup> pro zkvalněný čpavek, kdy přibližně 17,65 % celkové hmotnosti čpavku tvoří vodík.<sup>[41]</sup> Čpavek se obvykle nachází v plynném skupenství za atmosférických podmínek, výhodou je, že při zkvalnění je nutné zchlazení čpavku pouze na – 33 stupňů celsia, což výrazně snižuje celkovou energetickou náročnost skladování i přepravy. Výhodou čpavku i absence uhlíku v jeho chemickém vzorci. Naopak nevýhodou je jeho značná toxicita. Methanol naproti tomu lze přepravovat a skladovat za normálních podmínek. Oba tyto nosiče lze vyrábět z obnovitelného vodíku v kombinaci buďto s atmosférickým dusíkem, nebo v případě methanolu vhodným zdroje CO<sub>2</sub>. LOHC jsou naproti napřímému využitelnému methanolu či čpavku pouze nosičem pro vodík, který je nutné ze substance zpětně získat pro následné použití. V praxi lze takovéto nosiče „nabít“ vodíkem a v místě spotřeby vodík z chemické látky uvolnit. Značnou výhodou LOHC je možnost využití fosilní infrastruktury (ropa) k plně záměně těchto paliv bez velkých dodatečných úprav. Metal hydridy reprezentují širokou paletu materiálů, které jsou schopné ve stabilní formě uskladnit vodík v koncentrované pevné podobě. Většinou poskytují největší objemovou hustotu uložené energie na 1 m<sup>3</sup> a vysokou bezpečnost, nicméně jejich značnou nevýhodou je vyšší hmotnost v porovnání s jinými způsoby přepravy vodíku.<sup>[42]</sup>

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje derivátů/nosičů vodíku v České republice:**

- výzkum a vývoj nových konceptů nosičů vodíku (nové chemické vazby s lepšími materiálními vlastnostmi pro LOHC, nové materiály schopné absorbovat vodík v podobě metal hydridů a další);
- výzkum a vývoj vhodných katalyzátorů k syntéze, katalýze a získání vodíku zpět z materiálových struktur či derivátů (zlepšování katalytické aktivity, životnosti, scale-up a snižování ceny);
- výzkum a vývoj skladování, distribuce a výroby derivátů vodíku (zlepšování účinnosti procesu, hledání vhodných antikoročních materiálů, zlepšování bezpečnosti v zacházení s deriváty vodíku);
- výzkum a vývoj vedoucí k zdokonalování procesu Fischer-Tropschovy syntézy k výrobě syntetických paliv.

Cílem výzkumu a vývoje by mělo být celkové zlepšování parametrů výroby (například účinnost), skladování i distribuce derivátů vodíku, hledáním vhodných variant nosičů vodíku a zdokonalování současných procesů (Haber-Bosch, Fischer Tropsch).

### Blending vodíku se zemním plynem a přeprava čistého vodíku v plynovodech

V rámci rozjezdu vodíkového hospodářství a postupného přechodu na čistý vodík je vhodné hledat alternativy k přepravě vodíku prostřednictvím trailerů, a to kromě plynovodů na čistý vodík i prostřednictvím blendingu vodíku se zemním plynem. Výzkumné aktivity zaměřující se na chování vodíku, životnost a chování potrubí včetně armatur a chování koncových spalovacích zařízení již probíhají, a to i v České republice v rámci aktivit pod Českým plynárenským svazem. Již dnes je technicky možné vtlačet v ČR do plynárenské soustavy přes 5 % vodíku, aniž by docházelo k výrazným komplikacím na straně distribuce a koncového využití. Kromě praktické výměny plynovodů za ty schopné pojmout čistý vodík je vhodné podporovat v této oblasti i výzkum a vývoj.

[41] The Oxford Institute For Energy Studies, *Hydrogen storage for a net-zero carbon future*, duben 2023, 7, <https://a9w7k6q9.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2023/04/ET23-Hydrogen-storage-for-a-net-zero-carbon-future.pdf>

[42] Ibid., 9.

### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje přepravy blendu a čistého vodíku v České republice:**

- výzkum a vývoj materiálů vhodných pro přepravu čistého vodíku, či blendovaného vodíku do předem určeného objemu;
- výzkum efektu vodíku na chování koncových spotřebičů;
- výzkum a vývoj vhodných nástrojů na měření kvality vodíku v plynovodech a výzkum vhodných nástrojů pro detekci úniků vodíku;
- výzkum a vývoj vhodných kompaktních zařízení pro vstřikování vodíku do plynovodů, či do směsi vodíku se zemním plynem;
- výzkum a vývoj technologií pro efektivní kompresi vodíku v plynovodech, regulačních stanic, filtrů, výměníků tepla, regulátorů tlaku a dalších souvisejících komponent;
- techno-ekonomické analýzy přepravy vodíku či blendu na celou soustavu včetně zátěže na koncové zákazníky;
- vývoj a výzkum vhodných technologií pro separaci a dočišťování vodíku v požadované kvalitě, a to až do úrovně vhodné pro palivové články<sup>[43]</sup> (PSA metody, membránové separace a další).

Zaměřením výzkum a vývoje v této oblasti by měla být zejména příprava soustavy k přechodu na čistý vodík, a to v kontextu regionálních specialit každého členského státu.

### **Přeprava vodíku v nádržích po silnici či železnici**

Jednou z alternativ k ocelovým nádržím, která je využívána zejména v oblasti mobility (skladování vodíku v nádržích v automobilech), ale s možností využití i pro přepravu vodíku jsou vodíkové nádrže vyrobené z kompozitních materiálů. Z hlediska pevnosti se jedná o typy skladovacích nádob, které se zpravidla využívají pro uskladnění vodíku při vyšších tlacích o 300 barech a výše<sup>[44]</sup>. Při skladování vodíku v mobilních aplikacích se literatura věnuje celkem 4 typům uložišť, které se liší především použitými materiály, a tedy svými vlastnostmi.

**Typ 1 vodíkových nádrží** – celý vyrobený z oceli či hliníku s relativně nízkými náklady a nejvíce rozšířený, zároveň s tím ale i nejtěžší.

**Typ 2 vodíkových nádrží** – vyrobený zpravidla z oceli a vyztužený kompozitními materiály v kulovitých místech, využívající vnitřní vložku většinou z hliníku k udržení vyšších tlaků<sup>[45]</sup>. Typ 2 je přibližně o 50 % dražší jak typ 1 ale o 30–40 % lehčí<sup>[46]</sup>.

**Typ 3 vodíkových nádrží** – využívající ocelovou či hliníkovou vložku natolik zúženou, že již není ocel hlavním materiálem udržujícím vysoký tlak, nádrž je kompletně obalená v kompozitních materiálech, a to v uhlíkových či skleněných vláknech, typ 3 je přibližně o 50 % lehčí jak typ 2, ale stojí minimálně 2x tolik<sup>[47]</sup>. Typ 3 je relativně rozšířeným zejména u větších vozidel (například autobusy) využívající nádrže na vodík o 350 barech.

**Typ 4 vodíkových nádrží** – využívající vložku z polymerů, nádrž je kompletně obalená uhlíkovými či skleněnými vlákny s epoxidovou pryskyřicí, přičemž tento typ nádrží je nejdražší a také nejlehčím typem ze všech výše zmíněných, který je schopný udržet vodík o vysokých tlacích, v osobních automobilech okolo 700 barů.

[43] ČSN 14687 – kvalita vodíkového paliva

[44] HyFind, *What is hydrogen tank*, <https://hyfindr.com/hydrogen-tank/>

[45] Hyun Kyu Shin a Sung Kyu Ha, „A Reveiw on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles“, *Energies*, 7. července 2023, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/13/5233>

[46] *Ibid.*, 4-7

[47] *Ibid.*, 4-7



### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje přepravy vodíku v nádržích po silnici či železnici v České republice:**

- výzkum a vývoj kompozitních materiálů vhodných pro přepravu čistého vodíku za vysokých tlaků přes 200 bar (materiály s vysokou odolností vůči vodíku a tlaku, a které jsou lehčí jak ocelové, jejich svařování);
- výzkum a vývoj nových konceptů přepravy stlačeného vodíku;
- výzkum a vývoj optimalizace přepravy a skladování vodíku;
- výzkum vodíkové permeace a vodíkového křehnutí či vodíkem indukovaného praskání;
- výzkum a vývoj inovativních způsobů výroby kompozitních nádrží pro přepravu vodíku.

Úkolem výzkumu a vývoje na poli přepravy stlačeného vodíku v trailerech by měla být maximalizace kapacity trailerů, jejich bezpečnosti a snižování pořizovacích nákladů na jednotku uskladněného vodíku s cílem dosažení vysoké životnosti trailerů.

### **Čerpací stanice sloužící k distribuci vodíku**

V současné chvíli je nejvíce čerpacích/plnicích stanic vydávající vodík na území Evropské unie zaměřených primárně na sektor osobní mobility. V České republice jsou k datu vydání tohoto dokumentu k dispozici celkem 4 veřejné plnicí stanice. Vzhledem k pokračující elektrifikaci osobní dopravy je potenciál vodíku v budoucnu pro využití vodíku v mobilitě akcentován zejména v sektorech nákladní, lodní a letecké dopravy. Právě dálková nákladní doprava si vyžádá pro efektivní funkčnost celého procesu výzkum a vývoj nových konceptů plnicích stanic, patrně postavených na technologii výdeje 700 barů. Takovéto plnicí stanice se sice již na světě staví, jejich masový rozvoj je, ale stále na začátku.

### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje plnicích stanic pro výdej vodíku v České republice:**

- výzkum a vývoj designů plnicích stanic (s cílem umožnění vyššího výdeje pro více vozidel najednou) a s cílem snižování investiční náročnosti výstavby a provozu (investiční náklady, provozní náklady snižováním energetické náročnosti stanic);
- výzkum a vývoj zlepšování jednotlivých komponent plnicích stanic zejména pro rychlé plnění při vyšších tlacích pro nákladní mobilitu (kompresory, systém chlazení vodíku, plnicí hadice a dalších);
- Výzkum a vývoj senzorů a měřidel pro výdej vodíku a zajištění bezpečnosti.
- vývoj nových plnicích protokolů pro těžkou nákladní dopravu.

Hlavním zaměřením by z hlediska výše zmíněných aktivit mělo být aktivní snižování investiční a provozní náročnosti plnicích stanic, integrace jednotlivých komponent a standardizace procesů.

## **3.2.3 Technologie, které zajišťují využití vodíku jako paliva a suroviny pro výrobu tepla a energie**

Tato kapitola se zaměří na využití vodíku jako paliva a související technologie. Jedná se primárně o palivové články, jednotlivé komponenty a kogenerační jednotky. Kromě výše zmíněných technologií lze konstatovat, že řada aplikací vodíku mimo energetiku či mobilitu zaměřující se na využití vodíku jako suroviny se v průběhu dekad obecně zaměřovala na zvyšování energetické účinnosti a optimalizaci využívaných navazujících procesů<sup>[48]</sup>.

Rostoucí zájem o vodík nejen v chemickém sektoru, tedy zejména v oblasti mobility je možné pozorovat již od roku 2001. Podle IEA byl počet patentů zaměřený na oblast mobility vyšší než u všech ostatních navazujících technologií (kombinovaně) využívající vodík jako surovinu<sup>[49]</sup>. Obecně ale zájem o technologie pro oblast mobility, konkrétně palivové články, začal být znatelnější ve vlnách již od 70. letech 20. století, a to v té době vlivem dvou

[48] Mezinárodní agentura pro energii, *Hydrogen Patents for a Clean Energy Future*, leden 2023, 59, <https://www.iea.org/reports/hydrogen-patents-for-a-clean-energy-future>

[49] *Ibid.*, 62

ropných krizí. Komerčně dostupné se vodíková vozidla pro osobní mobility stala v 1. dekádě 21. století s modely nabízenými značkami Hyundai, Toyota či Honda<sup>[50]</sup>.

## Palivové články

Palivové články jsou technologií, o kterou trvalo narůstá zájem pro jejich vysokou efektivitu a bezemisní využití vodíku s jedinou odpadní látkou, kterou je demineralizovaná voda či vodní pára<sup>[51]</sup>. Palivové články se v principu rozdělují na stacionární a mobilní a nízkoteplotní a vysokoteplotní. Podle elektrolytu se palivové články dělí podobně jako elektrolyzéry na palivové články s alkalickým elektrolytem, s protonově výměnnou membránou, kyselinou fosforečnou, taveninou z alkalických uhlíčanů či s pevným oxidickým elektrolytem<sup>[52]</sup>. V oblasti vodíkové mobility se se jako primární technologie uchytily především palivové články s protonově vodivou membránou (PEMFC) pro jejich skladnost, výkonovou flexibilitu, nižší teplotu provozu, vyšší životnost a rychlý start a relativně vysokou elektrickou účinnost v porovnání se spalovacími motory (v průměru 50 %, ale schopné i elektrické účinnosti vyšší jak 60 % při nižším zatížení)<sup>[53]</sup>. Nevýhodou je nízká tolerance k znečištění vstupních plynů (vodíku a vzduchu) dodávaných do článku. Palivové články jsou relativně komplexní zařízení, které pro správný chod vyžadují řadu navazujících komponentů. Kromě samotných svazků, ve kterých probíhá elektrochemická reakce je součástí systému palivových článků, výkonová elektronika, plynové rozvody a regulace, vzduchový kompresor či zvlhčovač vzduchu<sup>[54]</sup>. V samotném svazku palivových článků se nachází řada komponent, které tvoří samotný svazek. Jedná se především o bipolární desky, plynově difúzní vrstvy a kompozit membrány s nanesenými elektrodami (MEA)<sup>[55]</sup>. Právě vlastnosti jednotlivých komponent jsou dlouhodobým zaměřením výzkumných snah o celkové snižování ceny palivových článků a zlepšování jednotlivých parametrů.

### Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje palivových článků v České republice:

- výzkum a vývoj nízkoteplotních a vysokoteplotních palivových článků jak pro stacionární, tak pro mobilní použití (zvyšování elektrické účinnosti, zlepšování životnosti, snižování ceny systému);
- vývoj a výzkum komponent systému palivových článků (výkonová elektronika, plynové rozvody a regulace, vzduchové kompresory, zvlhčovače plynů, filtrace vzduchu);
- vývoj a výzkum svazku palivové článku (bipolární desky, plynově difúzní vrstvy, kompozit membrány s nanesenými elektrodami – MEA a další);
- vývoj a výzkum inovativních katalyzátorů a alternativních materiálů k platině;
- vývoj a výzkum metod sériové výroby palivových článků;
- optimalizace palivových článků pro různé režimy provozu (od mobilních po stacionární).

Hlavním cílem výzkumných aktivity by mělo zvyšování efektivity jak svazků, tak celého systému palivových článků s cílem zvyšování životnosti, vytváření inovativních designů vedoucích k zmenšování palivových článků a snižování ceny.

## Kogenerační jednotky (turbíny, kotle, spalovací motory)

S postupným přechodem k vodíku je nezbytné pracovat na vývoji a výzkumu možností spalování vodíku jako náhrady za zemní plyn, a to buďto v plynových turbínách, v kotlích či obecně ve spalovacích motorech. Zvláště vhodné

[50] Hyun Kyu Shin a Sung Kyu Ha, „A Review on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles“, *Energies*, 7. července 2023, 5, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/13/5233>

[51] Česká vodíková technologická platforma, *Základní informace o vodíku*, <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>

[52] Zdeněk Porš, „Palivové články“, Ústav Jaderného Výzkumu Řež, 2002, 26-35, <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>

[53] Oficiální stránka Department of Energy Spojených států amerických, *Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

[54] Oficiální stránka Department of Energy Spojených států amerických, *Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

[55] Oficiální stránka Department of Energy Spojených států amerických, *Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office – Parts of Fuel Cell*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

se může jevit využití vodíku pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla s ohledem na schopnosti molekuly vodíku uskladnit energii v čase a prostoru, tento faktor může v budoucnu hrát významnou roli v regulaci elektrizační soustavy, ať už na distribuční, či přenosové úrovni. V současnosti se u výše zmíněných technologií testuje jak možnost spalování čistého vodíku, tak spalování mixu vodíku se zemním plynem. Výhodou spalování vodíku je vyšší tolerance k nečistotám v plynu.

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje kogeneračních jednotek v České republice:**

- výzkum a vývoj vedoucí k možnosti záměny zemního plynu za vodík či jeho směsi v plynových turbínách (fyzikální vlastnosti plamene, stabilita, dynamika spalování);
- vývoj nových designů plynových turbín schopných relativně levné výměny některých komponent k záměně spalování ze zemního plynu na vodík;
- výzkum a vývoj kotlů a spalovacích motorů schopných spalovat čistý vodík (minimalizace škodlivých  $\text{NO}_x$ , monitorování plamene, optimální mix vodíku a vzduchu, materiálový výzkum apod.);
- výzkum vlivu vodíku a vyššího tlaku na komponenty výše zmíněných technologií.

Optimálním zaměřením výzkumu by mělo být zvyšování spolehlivosti, účinnosti a dalších důležitých aspektů u výše zmíněných technologií.

### *Komponenty vodíkových technologií*

Česká republika má dlouhou tradici a s tím spojené know-how v oblasti strojírenské výroby, elektrotechniky i výroby materiálů, včetně sektoru automotive. Vodíkové technologie vedle svazků elektrolyzérů a palivových článků vyžadují širokou škálu zařízení nutných pro funkci systémů. Jedná se o kompresory, dmychadla, filtrace, regulace tlaku a průtoků plynů, separátory, zvlhčovače, tepelné výměníky atp. V oblasti výkonové elektroniky pak jde o měniče napětí, usměrňovače, senzory atp. V případě materiálů jde například o žáruvzdorné materiály pro vysokoteplotní aplikace, materiály vhodné pro skladování a transport vodíku, filtrační materiály a sorbenty pro čištění vodíku i vzduchu. Pozornost výrobců se bohužel zaměřuje jiným směrem a jen okrajově vznikají produkty „hydrogen ready“. To představuje nevyužitý potenciál tuzemského průmyslu, kdy zaplnění současných mezer na trhu může pro řadu z nich představovat možnost získání pozice na vznikajícím mezinárodním trhu. Především v oblasti výroby komponent pro spalovací motory lze očekávat útlum výroby a současní výrobci teď mají šanci vytváření nových obchodních vztahů v době, kdy trh ještě není zcela nasycen. Mezi komponenty vodíkových technologií lze zařadit i systémové komponenty nutné k provozu vodíkových vozidel.

#### **Klíčové aktivity v kontextu výzkumu a vývoje palivových článků v České republice:**

- vývoj komponent pro vodíkové technologie s ohledem na vysokou míru recyklovatelnosti a udržitelnosti;
- výzkum a vývoj jednotlivých komponent s cílem snižování užívání vzácných kovů (snižování ceny);
- vývoj nových způsobů automatizace výroby komponent vodíkových technologií;
- podpora zlepšování dovedností a výcvik kvalifikovaných pracovníků.

## 4. Vzdělávání v oblasti vodíkových technologií

Základní podmínkou zavádění vodíkových technologií je zajištění dostatečného množství kvalifikovaného personálu na všech úrovních vzdělávání. Rámcové vzdělávací programy pouze definují témata a je na jednotlivých institucích, jak podrobně se budou danému tématu věnovat. To popisuje školní vzdělávací program. Vzhledem ke způsobu tvorby studijních programů je složení učebních osnov kompetencí samotných vzdělávacích institucích.

Nicméně tyto instituce si musí samy zajistit kvalifikované lektory a studijní materiály. To činí rozvoj vzdělávání ve vodíkových technologiích víceméně náhodné a závislé do značné míry na nadšení jednotlivců. Situace se v České republice pomalu začíná měnit na základě tlaku řady společností, které v rámci své spolupráce se vzdělávacími institucemi prosazují zavedení vodíkových technologií do výuky. Za vzorový případ lze považovat projekt podpory společnosti Orlen Unipetrol na středních školách v Ústeckém kraji, kde společnost financovala nákup modelů RC autíček poháněných vodíkem v soutěži Horizon Hydrogen Grand Prix<sup>[56]</sup>. Cílem těchto akcí je podnítit zájem o studium technických věd se zaměřením na vodík. Obecně lze problematiku vzdělávání rozdělit podle stupňů vzdělání.

### Základní školství

Na této úrovni je třeba aby žáci získali dostatečné všeobecné základy v oblasti matematiky, fyziky a chemie. Zároveň by měli obdržet základní informaci o existenci vodíkových technologií. Základním problémem na této úrovni je nedostatek kvalifikovaných pedagogů technických předmětů schopných dalšího vzdělávání. To je mimo jiné zapříčiněno nedostatečným platovým ohodnocením, kvůli čemuž potenciální vyučující často odcházejí ze školství do soukromé sféry. Vlivem této reality úroveň znalostí v oblasti technických oborů u absolventů základních škol dlouhodobě klesá. Většinou základní informaci o existenci vodíkových technologií získávají žáci v rámci demonstračních hodin, které zajišťují dobrovolníci z vysokých škol. Nejedná se ale o systematickou činnost a významnou část informací získávají žáci z veřejných zdrojů, ve kterých je úroveň informací často pochybná.

### Střední školství

Střední školy do značné míry kopírují problémy základních škol. Zvláště na všeobecně zaměřených gymnáziích je výuka technických oborů závislá na schopnostech daných pedagogů, tj. kvalita technického vzdělání na jednotlivých školách je značně rozdílná. Výrazně lepší situace je na technicky zaměřených školách (průmyslové školy, odborná učiliště), která jsou již specializačně zaměřená. Tento typ škol má zpravidla navázanou dlouhodobou spolupráci s průmyslovými podniky a technickými vysokými školami a částečně reflektuje jejich požadavky na kvalifikaci absolventů. Základní bariérou je nedostatek výukových materiálů a nutnost naplnit výukové osnovy, ve kterých je možná časová dotace pro výuku vodíkových technologií značně limitovaná. Zvláštním problémem nově zaváděných technologií je jejich multioborový přesah. To vyžaduje rozšíření výuky o části z jiných specializací např.: částečné vzdělání v elektrotechnice pro instalatéry plynových zařízení a naopak. To vyžaduje provedení změn na úrovni rámcových vzdělávacích programů pro jednotlivé obory a případně vznik nových profesí. Bez těchto přesahů bude servis, instalace a údržba zařízení typu kogeneračních jednotek, elektrolyzérů atp. problematická.

### Vysoké školství

Vysoké školy disponují značnou volností v oblasti tvorby studijních programů. To jim umožňuje modifikovat stávající nebo akreditovat zcela nové studijní programy. Základním a dlouhodobým problémem je otázka financování vysokých škol na základě množství přijatých uchazečů. Pro vysoké školy není mnohdy výhodné zavádět specializační

[56] Orlen Unipetrol Nadace, *Horizon Hydrogen Grand Prix*, 2022, <https://www.nadaceorlenunipetrol.cz/CS/Programy/Stranky/Horizon-Hydrogen.aspx>.

programy s malým počtem studentů. Současný zájem studentů nedosahuje takové úrovně, jako konkurenční obory. Výuka vodíkových technologií je tak často přidružena k hlavnímu výukovému programu formou volitelných předmětů. Absolventi technických vysokých škol tak vedle všeobecného technického základu získávají pouze obecnou informaci o vodíkových technologiích. Pouze omezené množství vysokých škol se specializačně věnuje hlubšímu pochopení vodíkových technologií. To je zpravidla ovlivněno výzkumnými aktivitami na těchto školách. Vzhledem k relativní novosti vodíkových technologií a dynamickému vývoji je pro poskytnutí relevantních informací studentům nutný trvalý kontakt pedagogů s výzkumnou a výrobní sférou. HYTEP může tento kontakt do značné míry zabezpečit.

### *Navazující vzdělávání*

Nedílnou součástí na úrovni středního a vysokého školství je následné vzdělávání v oblasti vodíkových technologiích. Tento segment vzdělávání v České republice prakticky neexistuje. Následné rekvalifikace na úrovni techniků jsou většinou zabezpečovány samotnými společnostmi. Učitelé by měli mít možnost získat informaci o vodíkových technologiích pro začlenění do výuky. Zatímco na západ od České republiky dle asociace Hydrogen Europe je rekvalifikačním příkladem zásadní význam, systematická reedukace v oblasti vodíku v ČR zatím chybí.

### *Osvěta veřejnosti*

Pozitivní přístup veřejnosti k vodíkovým technologiím je klíčovým aspektem pro rozvoj vodíkového hospodářství napříč všemi sektory. Zvláště pak v době, kdy je šíření nepravdivých informací prostřednictvím sociálních sítí na vzestupu. Všeobecné přijetí vodíkových technologií je pro zavedení do praxe zcela zásadní a promítne se i do všech stupňů vzdělávání. Trvalé působení ve veřejném informačním sektoru zdůrazňujícím význam vodíku pro transformaci hospodářství, bezpečnostní otázky atp. je pro přijetí veřejností zásadní. Na rozdíl od předchozích úrovních školství se vzdělávání veřejnosti poměrně daří především za přispění subjektů sdružených v HYTEP a státní správě.

## 5. Doporučená opatření pro rozvoj výzkumu a vývoje vodíkových technologií v České republice

Na základě prioritizace konkrétních vodíkových technologií je v této kapitole shrnuta řada doporučení pro Českou republiku v otázce výzkumu a vývoje.

1. Česká republika by měla **dlouhodobě podporovat rozvoj výzkumu a vývoje vodíkových technologií prostřednictvím národních i evropských podpůrných mechanismů.**
2. Česká republika by měla aktivně podporovat zejména aplikovaný a experimentální výzkum, včetně využití **výjimek pro společnost a ustanovit pro definované vodíkové technologie tzv. „regulační pískoviště“** k podpoření inovací.<sup>[57]</sup>
3. Česká republika by se měla zaměřit na **daňové a další finanční či nefinanční pobídky pro výrobce klíčových vodíkových technologií** a přilákat je tak k zvážení výstavby výrobních kapacit zejména pro palivové články, elektrolyzéry a navazující technologie na českém území a využít tak synergií mezi nástupem nových technologií a stávající výrobou zejména pro sektor automotive. S výrobními kapacitami by do České republiky mělo přijít i know-how a navýšit se objem výzkumných kapacit.
4. **Česká republika by měla posílit technické vzdělávání na základních školách** a poskytnout učitelům dostatek výukových materiálů vztaheným k praktickému využití technické vzdělávání v jednotlivých sektorech, včetně vodíkového hospodářství. A to zejména prostřednictvím spolupráce se zájmovými skupinami a technologickými platformami.
5. Na **středních školách by měla být poskytnuta dostatečná kvalita vzdělávacích materiálů**, včetně **metodické podpory výuky vodíkových technologií**. Zásadním je poskytnout kombinované vzdělávání s částečnou kvalifikací v dalších oborech.
6. Na vysokých školách by mělo dojít zejména k **zvýšení zájmu studentů o vodíkové technologie pomocí podpory náborových akcí a PR kampaní** podporující obory s vysokou přidanou hodnotou. Tyto náborové akce se nemusí nutně týkat jen vodíku, ale je možné je souhrnně financovat v balíčku společně s dalšími rozvíjecími se technologiemi.
7. Česká republika by dlouhodobě měla **podporovat zavádění možnosti rekvalifikaci** na vodíkové technologie, stavět granty a způsoby ověření této rekvalifikace.

---

[57] Rada EU, *Regulační pískoviště*, 16. listopadu 2020, <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2020/11/16/regulatory-sandboxes-and-experimentation-clauses-as-tools-for-better-regulation-council-adopts-conclusions/>

# Seznam zkratek

Zkratka	Definice
AEFC	Alkalický palivový článek
AEL	Alkalický elektrolyzér vody
AEMEL	Elektrolyzér s anionselektivní membránou
CCS	Zachytávání a ukládání oxidu uhličitého
CCU	Zachytávání a využívání oxidu uhličitého
CRL	Úroveň komerční připravenosti
DMFC	Palivový článek přímo využívající methanol
HYTEP	Česká vodíková technologická platforma
CHG	Stlačený plyný vodík
CHP	Clean Hydrogen Partnership
IEA	Mezinárodní agentura pro energii
IPCEI	Důležité projekty společného evropského zájmu
IRENA	Mezinárodní agentura pro obnovitelnou energii
LH2	Zkapalněný vodík
LNG	Zkapalněný zemní plyn
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
MEA	Kompozit membrány a elektrod
NZIA	Net Zero Industry Act
PEMEL	Elektrolyzér vody s protonově vodivou membránou
PEMFC	Palivový článek s protonově vodivou membránou
POX	Parciální oxidace ropných zbytků
RED	Směrnice EU o obnovitelných zdrojích.
RIS3	Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci ČR 2021–2027
SOEL	Vysokoteplotní elektrolyzér vody s elektrolytem na bázi pevných oxidů
SOFC	Vysokoteplotní palivový článek s elektrolytem na bázi pevných oxidů
TRL	Úroveň technologické připravenosti



EVROPSKÁ UNIE  
Evropský fond pro regionální rozvoj  
Operační program Podnikání  
a inovace pro konkurenceschopnost

PROJEKT „ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA 2023“  
CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_369/0025119