

CHEMICKÝ PRŮMYSL

SOUČASNÉ A PLÁNOVANÉ VÝROBNÍ KAPACITY A VYUŽITÍ NÍZKOEMISNÍHO VODÍKU V EU

MARTIN ŠILHAN a PETR POLÍVKA

Centrum výzkumu Řež s.r.o., Hlavní 130, 250 68
Husinec-Řež
martin.silhan@cvrez.cz

Došlo 14.4.22, přijato 16.6.22.

Klíčová slova: vodík, elektrolyza vody, obnovitelné
zdroje, skladování energie

● <https://doi.org/10.54779/chl20220548>

Obsah

1. Úvod
2. Stávající výrobní kapacita vodíku v EU
 - 2.1. Současná elektrolytická výroba vodíku v EU
 - 2.2. Elektrolyzéry připojené do sítě elektriny
 - 2.3. Elektrolyzéry připojené přímo k obnovitelnému zdroji
3. Stávající spotřeba vodíku v EU
4. Plánovaný rozvoj výroby vodíku
5. Vývoj infrastruktury vodíku
6. Plány využití nízko- a bez-emisního vodíku v EU
 - 6.1. Průmyslová využití obecně
 - 6.2. Výroba e-paliv a rafinérský sektor
 - 6.3. Výroba amoniaku a methanolu
7. Situace v České republice
8. Závěr

1. Úvod

Rozličné vodíkové technologie jsou klíčové pro snižování emisí skleníkových plynů v energetice, průmyslu a dopravě. Cílem publikace je popsat současné hlavní trendy ve výrobě a spotřebě vodíku v EU, do značné míry na základě obsáhlého dokumentu *Clean Hydrogen Monitor* (cit.¹), který popisuje stav vodíkových projektů ke konci roku 2019 a plánované projekty v oblasti vodíkových technologií. Pro uchování přehlednosti příspěvku není tento zdroj opakovaně citován.

Vzhledem k očekávanému významu budoucí elektrolytické výroby vodíku je této technologii věnována zvýšená pozornost. Pokud je dále zmiňována elektrolyza, jedná se o elektrolytický rozklad vody, nikoliv o chlor-

alkalickou elektrolyzu, pokud není výslovně uvedeno jinak. Tato publikace se nezabývá možnostmi finanční podpory, ani podrobným popisem politik EU, nebo odlišnými přístupy jednotlivých států EU pro dekarbonizaci a stimulaci vodíkové ekonomiky. Dále je zde uveden aktuální stav v ČR se zaměřením na vodíkové technologie.

2. Stávající výrobní kapacita vodíku v EU

Ke konci roku 2019 bylo v EU 536 lokalit, které produkuje vodík. Jejich celková kapacita se pohybuje kolem 12,1 Mt/rok a průměrné využití výrobních kapacit dosahuje 80 %. Při vyloučení výrob vodíku z koksárenského plynu se pak jednalo o 504 lokalit s roční kapacitou 10,5 Mt vodíku. Největší producenti, tj. Německo, Nizozemsko, Polsko a Španělsko, vyrobili přibližně polovinu vodíku z celé EU (včetně Velké Británie). Například v materiálu z roku 2020 *Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu* (cit.²) se předpokládá v roce 2030 v EU výroba 10 Mt nízkoemisního vodíku, což je množství srovnatelné se současnou výrobou obvykle vysokoemisního vodíku. Současné sdělení (duben 2022) Evropské Komise *REPowerEU* (cit.³) v reakci na potřebu rychlého odklonu od ruského plynu plánuje v roce 2030 výrobu a dovoz celkem 20,6 Mt nízkoemisního vodíku.

V současnosti zhruba 90 % trhu s vodíkem v EU ovládají firmy Air Liquide, Air Products, Linde a Messer. Za 95,5 % objemu výroby vodíku dosud stojí termické způsoby výroby z fosilních paliv (parní reforming zemního plynu, parciální oxidace, autotermní reforming a další rafinérské a petrochemické procesy), 3,9 % bylo vyrobeno chlor-alkalickou elektrolyzou, reformingem se zachycováním vzniklého CO₂ pak 0,5 % (v pouhých 3 lokalitách) a elektrolyzou vody jen 0,1 %.

2.1. Současná elektrolytická výroba vodíku v EU

Elektrolyzéry byly provozovány ve 129 lokalitách a měly celkový výkon 135 MW, 44 % této kapacity bylo postaveno v Německu (59,4 MW), Francii (11 MW), Švýcarsku (10 MW), Švédsku, Spojeném Království, Finsku (po 9 MW) a Rakousku (7 MW). Uvedená kapacita se mezi roky 2019–2021 navýšila o 45 MW. Mimo uvedených 135 MW existuje řada drobných elektrolyzérů, celková kapacita tak může být ještě o něco vyšší. Jen několik málo zprovozněných jednotek mělo kapacitu nad 1 MW. Analýza 89 elektrolyzérů s kapacitou 114 MW ukazuje, že mírně převažuje PEM elektrolyza⁴ (62 MW) nad alkalickou (50 MW) elektrolyzou⁴, zbytek jsou další elektrolytické technologie. Kapacita 85 MW se týká odběru elektriny ze sítě, 34 MW je přímo připojeno k obnovitelnému zdroji energie, 5 MW v uvedených podkategoriích kombinuje oba zdroje.

2.2. Elektrolyzéry připojené do sítě elektřiny

Náklady na elektrolytickou výrobu vodíku z elektřiny z distribuční sítě činily v roce 2020 3,75 EUR/kg vodíku (průměr zemí EU a Norska), nejnižší byly v Norsku (1,8 EUR/kg vodíku), jedny z nejvyšších pak v Německu (7,2 EUR/kg vodíku). To je způsobeno vysokým zdaněním elektrické energie, které představovalo 58 % nákladů na výrobu vodíku. Pro srovnání v Lucembursku, které má stejný trh se silovou elektrickou energií jako Německo, jsou náklady 2,27 EUR/kg vodíku. Emisní intenzita vyrobeného vodíku kopíruje energetické mixy jednotlivých zemí, téměř nulová je na Islandu, naopak nejvyšší (37,6 kg CO₂/kg vodíku) v Polsku.

2.3. Elektrolyzéry připojené přímo k obnovitelnému zdroji

Přímé připojení elektrolyzérů k obnovitelnému zdroji energie (OZE) je výhodné v tom, že vyloučí řadu nákladů, jako například poplatky spojené s využitím distribuční sítě elektrické energie nebo daně. Na druhou stranu je v takové konfiguraci výkon elektrolyzérů limitován dostupností energie z OZE a nemožností dodávky energie z distribuční sítě. Pro fotovoltaický zdroj se typicky jedná o 1000 hodin ročně podle místních klimatických podmínek. Autoři¹ odhadují cenu 3 EUR/kg vodíku pro oblasti jižní Evropy s vysokou mírou slunečního svitu nebo 2,5 EUR/kg vodíku pro oblasti Severní Evropy s dobrými přírodními podmínkami pro větrné elektrárny. Lze očekávat, že tento koncept bude stále levnější spolu s tím, jak bude docházet k masové výrobě a zlevnění elektrolyzérů. Autoři¹ dále zdůrazňují výhodu hybridních konceptů, např. využití doplňujících se OZE (fotovoltaika a větrná energie), nebo cílené poddimenzování elektrolyzérů vzhledem ke kapacitě zdroje energie a s tím spojené vyšší využití kapacity elektrolyzérů.

Uvedené ceny vodíku jsou ve shodě s naším nedávným příspěvkem (cit.⁵). Očekáváme, že klíčový faktor pro nákladovou cenu nízkoemisního vodíku z OZE budou místní klimatické podmínky dané země (sluneční svit, intenzita větru) a do značné míry také globální vývoj životnosti a cen elektrolyzérů.

3. Stávající spotřeba vodíku v EU

Celková spotřeba vodíku v EU v roce 2019 byla 8,4 Mt. Z toho se využilo 4,1 Mt v rafinériích, 2,6 Mt pro výrobu amoniaku a zbytek v dalších sektorech chemického průmyslu (například ve výrobě methanolu, peroxidu vodíku, cyklohexanu, anilinu, kaprolaktamu, oxoalkoholů, kyseliny adipové a chlorovodíkové). Významným spotřebitelem vodíku byly také průmysl metalurgický (vodík jako redukční činidlo nebo ve směsi s dusíkem jako inertní atmosféra) nebo sklářský průmysl (inertní, nebo ochranná atmosféra). Sektor dopravy spotřeboval pouhých 0,1 % vodíku. Nejvíce vodíku spotřebovaly Německo (20 %), Nizozemsko (15 %), Polsko (9 %) a Španělsko (7 %).

Zajímavé je, že mezinárodní obchod s vodíkem jak mezi státy EU, tak mimo EU, je zanedbatelný (dlouhodobý průměr cca 80 kt ročně), z pohledu mezinárodního obchodu je významný vodíkovod mezi Nizozemskem, Belgií a Francií, provozovaný firmou Air Liquide.

4. Plánovaný rozvoj výroby vodíku

Celková kapacita plánovaných elektrolyzních projektů s datem spuštění postupně v letech 2024, 2030 a 2040 byla 6 606 MW, 118 331 MW a 152 511 MW (pro 179, 420 a 429 projektů). Další kapacita 3 459 MW (pro 53 projektů) neměla specifikováno datum spuštění. Největší plánovaná kapacita k roku 2030 byla ve Španělsku (cca 74 GW), Nizozemsku (cca 11 GW), Řecku, Německu, Dánsku (všude cca 5 GW). Průměrná velikost projektu ve Španělsku je těžko představitelných více než 1000 MW, na rozdíl od Německa s plánovanou průměrnou kapacitou 93 MW. Trendem je příklon k velkým instalacím, k alkalické elektrolyze a k odpojení se od distribuční sítě elektrické energie. Překvapivý je vysoký podíl alkalických elektrolyzérů, mj. vzhledem k jejich mírně horším dynamickým vlastnostem oproti elektrolyzérům PEM, a také díky očekávanému masivnímu zlevnění PEM elektrolyzérů poté, co začnou být produkovány ve velkých sériích. Elektrolyzéry připojené přímo k OZE jsou typicky větší než ty připojené do distribuční sítě. Většina, tj. 68 %, resp. 75 % projektů, s datem spuštění 2024, resp. 2030, využije alkalickou elektrolyzu o průměrné kapacitě 42 MW, resp. 235 MW. Průměrná kapacita PEM elektrolyzních jednotek bude nižší, pro rok 2024 10 MW, v roce 2030 34 MW.

5. Rozvoj infrastruktury vodíku

Velkokapacitní infrastrukturu vodíku bude formovat především klíčová iniciativa *European Hydrogen Backbone* (cit.⁶), která předpokládá do roku 2030 vybudování 11 600 km vodíkovodu, který zpočátku propojí rozvíjející se vodíková údolí a klastry. V roce 2040 se předpokládá transformace na panevropskou síť o délce 39 700 km, sestávající z 69 % z upravených plynovodů (určených původně pro transport zemního plynu) a 31 % z nových plynovodů. Očekává se, že první transfery vodíku nastanou mezi Belgií, Nizozemskem a Německem. Do roku 2035 se plánuje připojení Francie, Itálie, Španělska a Skandinávie a v roce 2040 dojde prakticky k vodíkovému propojení celé EU.

6. Plány využití nízko- a bez-emisního vodíku v EU

6.1. Průmyslová využití obecně

Celková plánovaná roční spotřeba nízkoemisního vodíku v průmyslu EU k roku 2030 je 5,2 Mt. Největší podíl (38 %) plánuje Německo. Shodou okolností stejný

38% podíl je plánován na spotřebu v metalurgickém průmyslu v celé EU, přestože stávající technologie výroby oceli omezují spotřebu vodíku upřednostňováním výroby železa a oceli ve vysokých pecích s koksem a v elektrických obloukových pecích. Výrobci ocelí se však snaží vodík coby redukční činidlo do procesu výroby ocelí zakomponovat⁷.

Vzhledem k současným vysokým a velmi proměnlivým cenám silové elektrické energie a zemního plynu v EU a dále ke skutečnostem, že OZE se často staví bez státních podpor pro produkovanou elektrickou energii (jinými slovy nákladová cena elektřiny z OZE je nezávislá na tržní ceně silové elektrické energie), a vzhledem k omezené schopnosti přenosových soustav absorbovat další intermitentní zdroje, je pravděpodobně stále vyšší míra výrob vodíku z OZE. Očekáváme, že tato skutečnost urychlí pronikání výroby vodíku do různých oblastí průmyslu včetně zrychlení produkce chemických látek vyrobených z nízkoemisního vodíku.

6.2. Výroba e-paliv a rafinérský sektor

Jako e-palivo jsou označována uhlovodíková paliva, ve kterých uhlíková složka pochází z CO₂, při jejich výrobě je využita nízkoemisní elektřina, a která mohou být využita ve spalovacích motorech. Očekává se, že první sériová produkce e-paliv začne v roce 2024 (se spotřebou vodíku 771 kt/rok) a do roku 2030 vzroste na 912 kt/rok. Zhruba 84 % plánované produkce případně na Španělsko, menší projekty budou realizovány v Německu, Švédsku, Rakousku a Belgii. V Německu je plánovaná spotřeba vodíku pro tento sektor pouhých 48 kt/rok, i když drážďanská firma Sunfire má výrobu e-nafty technologicky dobře zvládnutou již od roku 2015 (cit.⁸).

Rafinérský sektor představuje největšího spotřebitele vodíku v EU. V roce 2023 se očekává spotřeba 136 kt/rok, v roce 2030 už 568 kt/rok. Největší spotřebu plánuje Německo (205 kt/rok), dále pak Bulharsko a Nizozemsko.

6.3. Výroba amoniaku a methanolu

Výroba amoniaku představovala v roce 2019 druhou nejvyšší spotřebu vodíku. Amoniak je klíčová průmyslová a zemědělská komodita, kromě toho se z něj stává důležitý nosič energie. Do roku 2025 jsou v EU plánovány kapacity na výrobu amoniaku se spotřebou vodíku 376 kt/rok, do roku 2030 pak 697 kt/rok. Největší podíl představuje Norsko (40 %), Nizozemsko, Dánsko a Portugalsko, 12 kt/rok plánuje Slovensko. Ve výrobě methanolu jsou plánované kapacity 535 kt/rok v roce 2030, s největším podílem Německa 265 kt/rok.

7. Situace v České republice

Vodíková strategie České republiky (cit.⁹) předpokládá v ČR využívání především elektrolytické výroby vodíku. V ČR se v roce 2020 vyrobilo 125,6 kt vodíku⁷. Veškerá uvedená produkce pochází z chemického průmyslu¹⁰

(Litvínov, Kralupy, Ostrava, Valašské Meziříčí, Ústí nad Labem) a vyrobený vodík je také na místě dále zpracován. Očekává se, že spolu s rozvojem infrastruktury pro využití vodíku bude část uvedeného vyrobeného vodíku využívána v dopravě. Zde se nabízí využití především elektrolytické vyrobeného vodíku, neboť díky jeho vysoké kvalitě je následně čištění pro použití v dopravě poměrně nenáročné.

Z plánovaných výrobních kapacit je vhodné zmínit neratovický podnik SPOLANA s.r.o., který plánuje výstavbu chlor-alkalické elektrolýzy. Očekáváme, že půjde o podobnou kapacitu výroby vodíku, jaká je instalována v Ústí nad Labem, tj. cca 3 kt/rok (cit.⁷).

ČEZ, a.s. rozvíjí až 15 projektových záměrů výroby a využití vodíku. V šesti záměrech již koná konkrétní kroky, zejména ve využití vodíku ve veřejné dopravě. Mezi další tuzemské projekty zaměřené na spotřebu vodíku patří několik vodíkových plnicích stanic, vývoj (ve fázi studie proveditelnosti) železniční lokomotivy HydrogenShunter společností CZ LOKO, a.s. (cit.¹¹) nebo vyvíjený vodíkový nákladní automobil společností TATRA TRUCKS, a.s. (cit.¹²). Očekáváme, že vodíková akumulace nahradí bateriovou akumulaci u některých nově budovaných fotovoltaických elektráren. Společnost ORLEN Unipetrol RPA, s.r.o. plánuje v roce 2022 zprovoznit několik veřejných plnicích stanic (pod stávající značkou BENZINA) na stlačený vodík, jak pro osobní, tak i pro nákladní vozidla a autobusy. Společnost Vítkovice, a. s. v červnu v Ostravě uvedla do provozu první veřejnou vodíkovou plnicí stanicí v České republice. Uvedené aktivity v současné době představují příslovečné první vlaštovky, velké projekty na výrobu vodíku v České republice chybí. Dotační politika vodíkových technologií bude vycházet teprve z národní vodíkové strategie. Případné daňové zvýhodnění nebo investiční pobídky také chybí.

8. Závěr

V EU je připravována řada skutečně rozsáhlých projektů výroby, transportu a spotřeby nízkoemisního vodíku. Obecně platí trend, že spolu s pozdějším začátkem realizace roste výrobní kapacita projektů, pravděpodobnost využití alkalické elektrolýzy a přímé připojení elektrolyzérů k OZE. Spolu s výrobou je plánována velkokapacitní přeprava vodíku jak vnitrostátní, tak i mezi státy EU, a také využití vodíku v mnoha oblastech průmyslu a dopravy, jako jsou nákladní i osobní automobilová, železniční a lodní doprava. Podobně jako v zemích EU se v ČR očekává významný nárůst elektrolytické výroby vodíku a jeho distribuce. V ČR je v současné době většina vodíku vyrobena v chemickém průmyslu a současně i spotřebována na místě výroby. Výroba a využívání vodíku tak představuje vysoký potenciál k rozvoji zelené energetiky.

LITERATURA

1. *Clean Hydrogen Monitor 2021, Hydrogen Europe*, <https://hydrogeneurope.eu/reports/>, staženo 20. 4. 2022.

2. *Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů, COM (2020) 301.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>, staženo 4. 4. 2022.
3. *Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů, COM (2022) 108.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:52022DC0108>, staženo 13. 6. 2022.
4. Pinsky R., Sabharwall P., Hartvigsen J., O'Brien J.: *Prog. Nucl. Energy* 123, 103317 (2020).
5. Tocháčková A., Laciok A., Šilhan M.: *Chem. Listy* 115, 623 (2021).
6. *2020 European Hydrogen Backbone*, https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/, staženo 4. 4. 2022.
7. <https://bellona.org/news/climate-change/2021-03-hydrogen-in-steel-production-what-is-happening-in-europe-part-one>, staženo 1. 6. 2022.
8. E-Diesel = Water + Air? It's True, Know More, <https://carbiketech.com/water-air-e-diesel/>, staženo 1. 6. 2022.
9. *Vodíková strategie České republiky*, Ministerstvo průmyslu a obchodu, https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2021/8/Vodikova-strategie_CZ_G_2021-26-07_2.pdf, staženo 4. 4. 2022.
10. *Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR, Česká vodíková platforma*, <https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/TF-a-IAP-vodik-v-energetice-a-prumyslu-CR.pdf>, staženo 4. 4. 2022.
11. CZ LOKO vyvíjí lokomotivu na vodíkový pohon, <https://www.czloko.cz/aktuality/aktuality/cz-loko-vyvi-ji-lokomotivu-na-vodikovy-pohon.htm>, staženo 1. 6. 2022
12. Hadrava J., Šilhan M., Kejla A., Polák L.: Vývoj nákladního vozidla s vodíkovým palivovým článkem, All for Power, přijato 5/2022.

**M. Šilhan and P. Polívka (Research Centre Řež):
Current and Planned Hydrogen Production Projects
and Use of Low-Emission Hydrogen within the EU**

The article describes existing as well as planned projects of hydrogen production and consumption in the EU. Hydrogen production is planned mainly in connection with low-emission sources, the use of hydrogen in transport and various areas of industry, such as the refining or petrochemical sector.

Keywords: hydrogen, water electrolysis, renewable, e-fuel, energy storage

- Šilhan M., Polívka P.: *Chem. Listy* 116, 548–551 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220548>