



Dovoz obnovitelného vodíku do ČR

Analýza možností a nákladů

Září 2024



Dovoz obnovitelného vodíku do ČR

Analýza možností a nákladů

Verze 1.0/září 2024

Šárka Waisová

Česká vodíková technologická platforma z.s.
Hlavní 130, Husinec – Řež, CZ 250 68

Prohlášení o vyloučení odpovědnosti

Tato studie slouží jako podklad pro diskusi o dovozu obnovitelného vodíku do ČR. Popisuje pět možných scénářů dovozu, které samozřejmě nemohou představovat celek všech možných scénářů. Studie vychází z údajů dostupných v září 2024. Údaje použité v této studii vycházejí z reálně existujících vodíkových projektů i z modelů a studií proveditelnosti. Tam, kde to bylo možné, jsme veškeré číselné i další údaje triangulovali. Je nutné brát v úvahu, že komercializace nových technologií může v budoucnu významným způsobem ovlivnit náklady na výrobu i přepravu vodíku. V textu je výslovně uvedeno, o jaký typ scénáře (optimistický/pesimistický) se jedná. V případě výpočtu nákladů na dovoz jsme vycházeli z optimistického scénáře. Tento dokument je vlastnictvím České vodíkové technologické platformy.

Doporučená reference

Waisová, Š. (2024): *Dovoz obnovitelného vodíku do ČR. Analýza možností a nákladů*. HYTEP: Husinec – Řež.



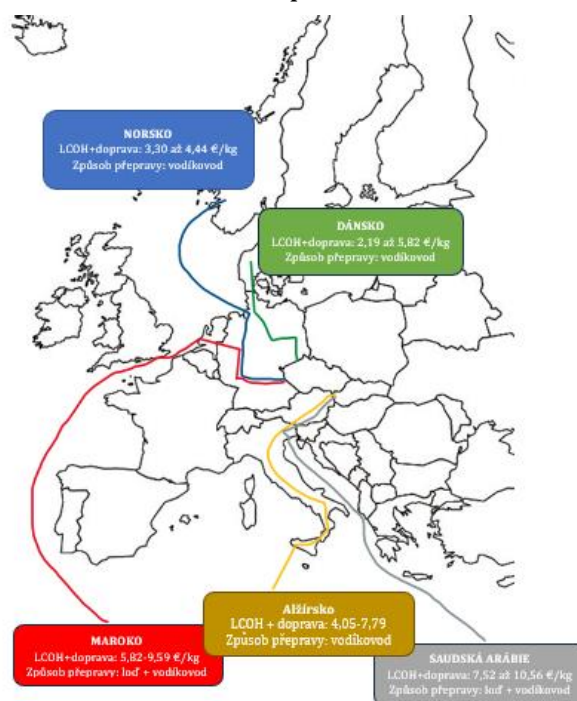
Obsah

Shrnutí a doporučení.....	4
Úvod.....	7
Cíle a motivace studie.....	8
Struktura studie a použitá metodologie.....	9
1. Hodnotový řetězec dovozu vodíku.....	12
2. Obnovitelný vodík: globální a evropský vývoj výroby, poptávky a obchodu.....	16
2.1 Vývoj výroby a poptávky po obnovitelném vodíku v Evropě.....	17
2.2 Současný obchod s vodíkem a jeho deriváty.....	18
3. Cena obnovitelného vodíku dnes a v roce 2030.....	20
3.1 Vyrovnané náklady na výrobu obnovitelného vodíku: co to je a jak se počítají.....	20
3.2 Náklady na výrobu obnovitelného vodíku v potenciálních dovozních destinacích.....	22
4. Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů dnes a v roce 2030.....	27
5. Dvozní scénáře pro ČR.....	32
5.1 Scénář 1: Dovož vodíku z Norska.....	34
5.2 Scénář 2: Dovož vodíku z Dánska.....	36
5.3 Scénář 3: Dovož vodíku z Maroka.....	37
5.4 Scénář 4: Dovož vodíku z Alžírska.....	38
5.5 Scénář 5: Dovož vodíku ze Saudské Arábie.....	39
6. Závěry, diskuse a doporučení.....	43
6.1 Doporučení.....	44
Zkratky.....	46
Zdroje.....	47

Shrnutí a doporučení

Tato studie analyzuje možnosti dovozu obnovitelného vodíku do ČR, zejména pak výrobní ceny obnovitelného vodíku v destinacích, odkud by Česko vodík mohlo potenciálně dovážet kolem roku 2030 a náklady na dovoz obnovitelného vodíku a jeho derivátů. Náklady na přepravu budou společně s cenou vodíku spoluurčovat rozhodování ČR o zdrojových destinacích, tj. odkud dovážet, i o rozvoji domácí výroby a jejím potenciálu obstát tváří v tvář dovozu.

Modelovali a hodnotili jsme **pět dovozních scénářů**: 1) dovoz vodíku z **Norska** prostřednictvím offshore a onshore vodíkovodů přes německé území (severozápadní trasa), 2) dovoz vodíku z **Dánska** prostřednictvím vodíkovodů přes německé území (severovýchodní trasa), 3) dovoz vodíku v podobě amoniaku lodí z **Maroka** přes nizozemské terminály, odkud bude po rekonverzi přepraven do Česka vodíkovodem přes Německo, 4) dovoz vodíku z **Alžírsko** přes Tunis a dále prostřednictvím podmořského vodíkovodu a onshore vodíkovodem přes italské a rakouské území, a 5) dovoz vodíku v podobě amoniaku ze **Saudské Arábie** lodí přes italský terminál v Ravenně, odkud bude po rekonverzi přepraven do Česka vodíkovodem přes Itálii a Rakousko.



Studie indikuje, že jako cenově nejlepší se jeví dovozu vodíku z Dánska a Norska. Jako ekonomicky přijatelný se jeví i scénář dovozu vodíku z Alžírsko a Maroka. Nejdražší z modelovaných scénářů je dovoz vodíku ze Saudské Arábie. V jejím případě cena dovozu v roce 2030 dosahuje ceny, které bude možné při výrobě obnovitelného vodíku dosáhnou v ČR.

Pokud ale kromě cen vezmeme v úvahu i jiné faktory, jako např. aktuální vývoj na daném trhu a jeho makroekonomický profil nebo stadium vývoje výstavby vodíkových projektů, pak je nutné poznamenat, že v Saudské Arábii je řada vodíkových projektů prakticky před dokončením, zatímco marocké a alžírské projekty jsou na samém začátku a jejich budoucnost bude záviset na získání zahraničního kapitálu a know-how. Fakt, že dovoz obnovitelného vodíku z Maroka a Alžírsko vycházejí v projekcích jako ekonomicky výhodnější ještě neznámá, že v dané destinaci bude v roce 2030 produkováno dostatečné množství vodíku na to, aby se dovozy za uvedené ceny mohly uskutečnit.



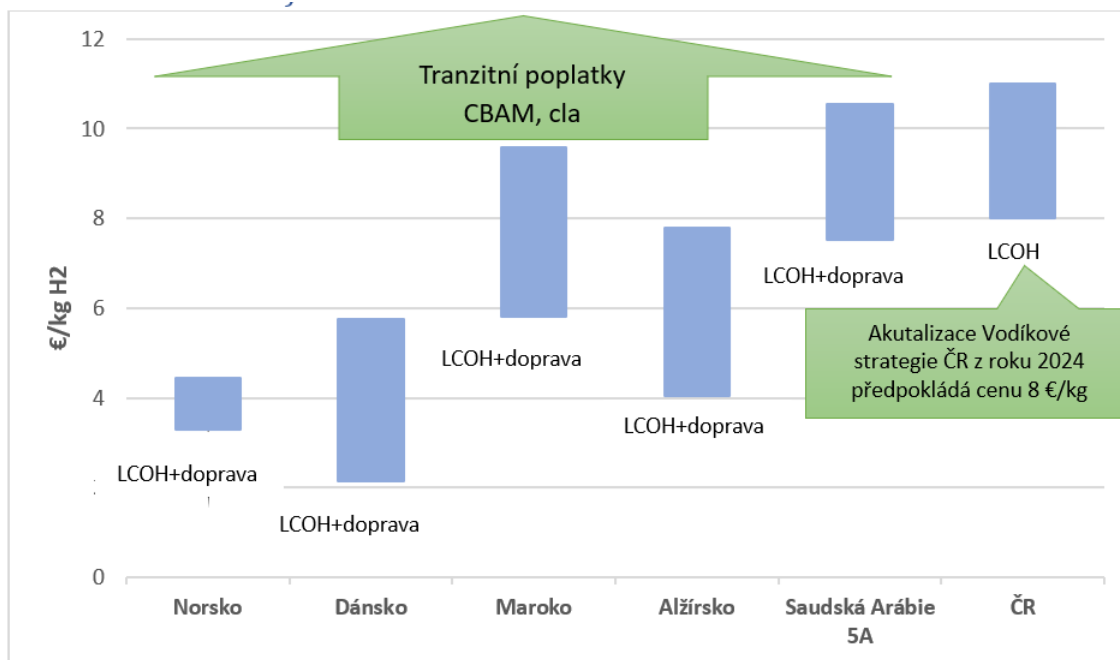
Podobná situace, co se týká vývoje vodíkových projektů, je i v ostatních zemích severní Afriky.

ČR bude vždy závislá nejen na podmínkách v exportních destinacích, ale také v tranzitních zemích; v případě dovozu vodíku to bude v první fázi zejména na dostavbě a kapacitě německé vodíkové sítě. Vzhledem k lokalizaci německého průmyslu v severozápadní části státu napřel Berlín svou aktivitu k budování vodíkové infrastruktury a propojení mezi Nizozemskem, Norskem, Dánskem a spolkovými zeměmi Dolním Saskem a Severním Porýní-Vestfálskem. Celoněmecká vodíková síť měla být dostavěna v roce 2032, v dubnu 2024 však došlo k novelizaci zákona o energetickém hospodářství, která zmiňuje, že některé části sítě mohou být dokončeny až v roce 2037. Dostavba jižního koridoru je plánována na rok 2032 a vodíkového propojení s terminálem v italské Ravenně je plánována na rok 2035.

České možnosti dovážet v blízké budoucnosti obnovitelný vodík budou limitovány faktem, že ČR zatím nemá uzavřené žádné předběžné dohody o odběru nebo memoranda o spolupráci v oblasti dovozu vodíku. To může vést k tomu, že na ceny, které jsme modelovali v této studii, Česko nedosáhne, nebo že vodík vyrobený ve zdrojových destinacích bude přednostně odebrán jinými aktéry.

Srovnání nákladů dovozních scénářů kolem roku 2030

(optimistický scénář přepravních nákladů + LCOH optimistický i pesimistický scénář, bez nákladů na krátkodobé skladování, cla a tranzitní poplatky)



Zdroj: vlastní výpočty na základě údajů uvedených v této analýze



Ve vztahu k budoucímu dovozu obnovitelného vodíku do České republiky předkládáme **pět doporučení**:

- 1** Pracovat na rozvoji evropské vodíkové přepravní infrastruktury se zacílením zájmu a úsilí na severní a severozápadní Evropu, kde se koncentruje několik potenciálních dovozců (vedle Norska a Dánska také Velká Británie /Skotsko/, Švédsko /jih/ či Estonsko) a kde se podmínky výroby obnovitelného vodíku jeví v perspektivě období 2032 až 2035 jako neoptimálnější (ceny OZE, nízká rizikovost kapitálu, makroekonomická stabilita, pokročilost výstavby vodíkových projektů).

- 2** S cílem posílit jistotu domácích spotřebitelů i energetickou bezpečnost ČR soustředit se na budování domácí výroby obnovitelného vodíku a takový rozvoj OZE a vodíkového sektoru, který povede ke snížení domácích výrobních nákladů. Zprávy o prodlužování termínů dostavby vodíkovodů v Německu a Nizozemsku (namísto roku 2032 rok 2037 resp. 2035) posilují význam rozvoje domácí výroby.

- 3** Vnímat cenu vodíku a náklady na přepravu z určité destinace pouze jako jedno z kritérií, které bude rozhodovat o dovozu z daného místa; i když tato studie nevěnuje pozornost bezpečnostnímu a geopolitickému vývoji, při úvahách o dovozu vodíku a jeho derivátů do ČR jej musíme brát v úvahu.

- 4** Vytvořit základní pilíře vodíkové dovozní politiky a zahájit zahraničně-politické kroky zajišťující bezpečnost vodíkového hodnotového řetězce a umožňující uzavřít předběžné dohody o odběru.

- 5** V souladu s vyjádřeními tzv. plynárenského balíčku podporovat agregaci vodíkové poptávky členských států EU a celounijní zajištění dovozu obnovitelného vodíku. To by mělo zahrnovat i jednání s Evropskou komisí o přípravě celounijní vodíkové dovozní strategie.



Úvod

Česká republika se v nejrůznějších deklaracích a dohodách zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů. Klimatické závazky pro Česko vyplývají také z politických cílů EU a platné unijní legislativy. Jednou z **možností, jak snižovat emise, je využití obnovitelného vodíku¹** a vytvoření dobře fungujícího vodíkového ekosystému. V současnosti hraje vodík zejména roli chemické suroviny, ale v budoucnosti by mohl plnit i roli paliva, zdroje vysokých teplot v průmyslu či sloužit k sezónnímu ukládání energie. O využití obnovitelného vodíku pojednává hned několik směrnic a nařízení EU (Tabulka 1).

Tabulka 1: Nařízení a směrnice EU týkající se využití obnovitelného vodíku

Zkratka/datum zveřejnění v Úředním věstníku EU	Plný název
RED 3 18.10. 2023	Směrnice pokud jde o podporu energie z obnovitelných zdrojů (L_202302413CS.000101.fmx.xml (europa.eu))
AFIR 13.9. 2023	Nařízení o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (L_2023234CS.01000101.xml (europa.eu))
ReFuelEU Aviation 18.10. 2023	Nařízení o zajištění rovných podmínek pro udržitelnou leteckou dopravu (Iniciativa pro letecká paliva ReFuelEU) (L_202302405CS.000101.fmx.xml (europa.eu))
FuelEU Maritime 13.9. 2023	Nařízení o využívání obnovitelných a nízkouhlíkových paliv v námořní dopravě (L_2023234CS.01004801.xml (europa.eu))
Plynárenský balíček 15.7. 2024	Nařízení o vnitřním trhu s plynem z obnovitelných zdrojů, se zemním plynem a s vodíkem (L_202401789CS.000101.fmx.xml (europa.eu)) Směrnice o společných pravidlech pro vnitřní trh s plynem z obnovitelných zdrojů, se zemním plynem a s vodíkem (L_202401788CS.000101.fmx.xml (europa.eu))

Každý potenciální uživatel obnovitelného vodíku stojí nicméně před otázkou, zda je vodík dostupný a za jakou cenu. Studie z posledních let indikovaly, že v krátké budoucnosti dojde jak k rozvoji výroby obnovitelného vodíku, tak k poklesu jeho ceny, neboť předpokládaly postupné snižování cen vodíkových technologií a nákladů na elektřinu z OZE. V současnosti se ale ukazuje, že 1) skutečné náklady na výrobu obnovitelného vodíku jsou vyšší, než se odhadovalo, a 2) že pokles nákladů na výrobu obnovitelného vodíku je pomalejší, než se předpokládalo.

Po vlně optimistických predikcí ohledně rozvoje výroby a cen obnovitelného vodíku se tak začaly ozývat kritičtější hlasy (např. Burchardt et al 2023, Guidehouse 2023,

¹ Za obnovitelný vodík považujeme vodík vyrobený elektrolýzou za využití obnovitelných zdrojů energie (slunce, vítr atd.). V legislativě EU spadá do kategorie tzv. obnovitelných paliv nebiologického původu (RFNBO). Více k otázce definování obnovitelného vodíku v rámci EU a jeho odlišení od kategorie tzv. nízkouhlíkového vodíku nabízí policy paper J. Sochora *Výroba vodíku v EU z pohledu unijní legislativy a jeho certifikace*, srpen 2024, HYTEP.



Hydrogen Council 2023, EÚD 2024, Wietschel et al 2024). Loňská zpráva Business Consulting Group (Burchardt et al 2023) uvádí, že „projekce, že by se obnovitelný vodík vyráběl za 3 €/kg, vycházely ze špatných dat“. Ke stejnému závěru ohledně dosažitelných cen dospěla i Světová banka (2024), která konstatuje, že 3 €/kg mohou dosáhnout jen výjimečné projekty v neoptimálnějších destinacích. V květnu 2024, když BloombergNEF hodnotil globální vývoj vodíkového trhu, uvedl, že poptávka roste pomaleji, než se čekalo, a jen 12 % projektů, které dosáhly konečného investičního rozhodnutí, má smlouvu o odběru.

Co se týká dostupnosti obnovitelného vodíku v EU, tak již první úvahy o evropské vodíkové transformaci počítaly s jeho dovozem. Evropská realita je totiž taková, že průmysl se nachází na místech, kde nejsou vydatné zdroje OZE (severozápad a střed Německa, Nizozemsko, severní Francie), naopak vydatné zdroje OZE se nacházejí tam, kde je koncentrace průmyslu menší (Španělsko, Portugalsko, Norsko, Dánsko, Estonsko). V evropských plánech na dovoz obnovitelného vodíku jsou jako potenciální zdrojové destinace zmiňovány Norsko, Španělsko, Dánsko, Velká Británie (zejména Skotsko) a dále také Čile, Kanada, Namibie, Maroko, Egypt, Saudská Arábie, Spojené arabské emiráty, Omán či Austrálie. Právě u těchto destinací se mělo za to, že výrobní cena obnovitelného vodíku bude nejpříznivější a kolem roku 2030 klesne až na 3 €/kg.

Když uvažujeme o dovozu vodíku, musíme vzít v úvahu 1) reálné náklady na jeho výrobu, 2) že výrobní cena není totožná s cenou na trhu, a 3) že přepravní náklady navyšují koncovému spotřebiteli cenu vodíku. I v případě dovozu **se v současnosti ozývá, že je třeba přehodnotit otázku nákladů**, neboť se ukazuje, že inflace, která se rozběhla v post-covidovém období, a úzká hrdla dodavatelských řetězců prodražují vodíkové projekty i jeho přepravu.

Cíle a motivace studie

Cílem této studie je zjistit a analyzovat:

1. **výrobní ceny obnovitelného vodíku v destinacích, odkud by Česko vodík mohlo potenciálně dovážet kolem roku 2030,**
2. **náklady na dovoz obnovitelného vodíku a jeho derivátů, a**
3. **jaké destinace lze z ekonomického hlediska považovat za potenciální zdroje obnovitelného vodíku.²**

² Tato studie se nezabývá geopolitickými a bezpečnostními otázkami a nehodnotí politická, bezpečnostní a další rizika, kterým bude čelit budoucí dovoz. Studií, která si klade otázku ohledně bezpečnosti a stability potenciálních zdrojových teritorií, je např. německá studie Institutu Fraunhofer (Wietschel et al 2024). Technickoekonomické studie jednoznačně konstatují, že v roce 2030 by lidstvo mělo být bez problémů schopné vyrobit takové množství obnovitelného vodíku, že bude možno pokrýt narůstající poptávku v EU i v asijských průmyslových ekonomikách, studie beroucí v úvahu geopolitické, bezpečnostní a environmentální aspekty (mj. dostatečné zásoby vody) upozorňují, že některé destinace, s nimiž technickoekonomické studie počítají jako s velkými dodavateli (Maroko, Namibie), nejsou politicky, environmentálně



Vznik této analýzy byl motivován dvěma skutečностями: 1) i když se s dovozem vodíku do ČR počítá na různých úrovních,³ nemáme v Česku v současnosti veřejně dostupnou studii o možnostech a podmínkách dovozu obnovitelného vodíku do ČR, a 2) s tím, jak se v Česku začínají rozvíjet domácí projekty výroby obnovitelného vodíku, je na místě, aby (potenciální) domácí výrobci i státní úřady věděli, do jaké míry je kolem roku 2030 výroba v Česku udržitelná a konkurenceschopná.

Struktura studie a použítá metodologie

Tato studie je rozdělena do pěti kapitol. První kapitola pojednává o technologických možnostech přepravy vodíku a o hodnotovém řetězci dovozu vodíku a jeho derivátů. Tato kapitola vychází především z odborných a akademických textů, technických a podkladových studií (IRENA, Fraunhofer ISI, Agora Industry, Světová banka, OECD, výstupy německého projektu HYPAT ad.) a z informací a údajů konkrétních projektů.

Druhá kapitola představuje krátce současný vývoj výroby a mezinárodního obchodu s vodíkem s tím, že specificky představuje evropskou situaci a unijní poptávku a výrobní potenciál. Pro zpracování této kapitoly jsme využili zejména databází IEA, Eurostatu, GENA Methanol Institute, World Integrated Trade Solution (WITS) Světové banky a OEC. Data ohledně objemu výroby obnovitelného vodíku a objemu a směřování obchodu s touto komoditou není snadné získat, neboť statistické úřady včetně Eurostatu či WITS Světové banky zatím nerozlišují mezi vodíkem vyrobeným pomocí elektrolýzy a vodíkem produkovaným jinými postupy. Stejně tak nejsou rozlišovány ani deriváty vodíku. Vodík a jeho deriváty jsou, stejně jako ostatní obchodované komodity, statisticky zaznamenávány a mezinárodně obchodovány pod tzv. HS kódy.⁴ HS kód pro vodík a obnovitelný vodík je zatím tentýž.⁵ V současné době je jako způsob odlišení obnovitelného vodíku od vodíku vyrobeného jiným způsobem než elektrolýzou s využitím OZE, používán

ani ekonomicky stabilní a při zajišťování dodávek obnovitelného vodíku je třeba počítat s podobnými riziky, s nimiž se potýkaly dodávky ropy a zemního plynu (kartelové dohody, havárie plynovodů, teroristické útoky na plynovody či ropné tankery, pirátské útoky, uzavření klíčových přepravních tras /Suezský průplav/) či velké projekty výstavby solárních parků v oblasti severní Afriky, jako byl např. projekt Desertec. Ten vznikl v roce 2009 a měl zahrnovat výstavbu velkých solárních parků v zemích severní Afriky a obnovitelná elektřina vyrobená v těchto parcích měla proudit do jižní Evropy prostřednictvím podmořských kabelů. Z projektu sešlo v roce 2012 mj. i kvůli nepokojům, které se rozpoutaly v době tzv. Arabského jara.

³ Vodíková strategie ČR 2024; MZV ČR, 12.1. 2024 (mzv.gov.cz/dresden/cz/vzajemne_vztahy/sasko_a_ceska_republika_se_dohodly_na.html); NET4GAS, 6.5. 2024 (www.net4gas.cz/cz/media/tiskove-zpravy/zpravy/vodikove-projekty-net4gas-byly-potvrzeny-evropskym-parlamentem-evropskou-radou-jako-projekty-spolecneho-zajmu-pci.html).

⁴ Harmonizovaný kód (HS) je součástí mezinárodně standardizovaného systému názvů a čísel pro klasifikaci obchodovaných produktů. Tyto kódy vyvíjí a spravuje Světová celní organizace (WCO). Tento systém zajišťuje, aby všechny země při klasifikaci produktů před vývozem a dovozem používaly stejná pravidla.

⁵ Příslušné autority (v ČR se jedná o MPO) si jsou uvedené věci vědomy, iniciativa ke změně HS kódů se očekává od Evropské komise.



systém certifikace a záruk původu.⁶ Tyto údaje ale neslouží k identifikaci zboží v mezinárodním obchodě. Informace o objemu výroby obnovitelného vodíku a obchodu s ním jsou zatím získávány z informací konkrétních projektů.⁷

Třetí kapitola se zabývá cenou obnovitelného vodíku, zejména tzv. vyrovnanými náklady na výrobu vodíku (LCOH), kterých by mohlo být dosaženo v potenciálních zdrojových destinacích kolem roku 2030. Údaje o LCOH jsme v případě evropských států čerpali z šetření, výzkumů a výpočtů modelu H2PyPSA, který používají Agora Industry a Agora Energiewende. Údaje modelu jsme triangulovali a konfrontovali s výsledky a zjištěními Aurora Energy Research z let 2022 až 2024 a dalších akademických i neakademických zdrojů.⁸ Pro účely výpočtu nákladů na dovoz vodíku, které předkládáme v páté kapitole, jsme využili vždy nejnižší (optimistický scénář) i nejvyšší (pesimistický scénář) zjištěnou LCOH.

Čtvrtá kapitola analyzuje náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů. Vzhledem k množství údajů ohledně nákladů na dovoz jsme pro stanovení nákladů, které jsme pak započítávali při tvorbě dovozních scénářů, využili postup, který je označován jako kvalitativní metanalýza. Korpusem pro získání metadat bylo sedm studií. Tyto studie pocházejí z období 2022 až 2024 a vycházejí ze současných nákladových parametrů v Evropě, resp. v zemích odkud by do Evropy mohly být obnovitelný vodík a jeho deriváty dováženy:

- Agora Industrie & TU Hamburg (2023): *Wasserstoff-Import optionen für Deutschland. Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf.*
- Austrian Institute of Technology (2023): *Zusatzbetrachtungen zur Studie Importmöglichkeiten fuer erneubaren Wasserstoff. Endbericht.* Projektteam: J. Kapeller, S. Reuter & P. Ortmann (www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/importmoeglichkeiten.html).
- GASSCO, studie proveditelnosti výstavby norskono-německého vodíkovodu Kollsnes – Dornum (gassco.eu/wp-content/uploads/2023/11/GER-NOR-Joint-feasibility-study-report-Hydrogen-23.11.2023.pdf).

⁶ Aby bylo možné v Evropské unii certifikovat vodík jako „obnovitelný“ vodík, musí být udržitelnost vyrobeného vodíku prokázána certifikátem udržitelnosti, který je navázán na plnění velmi striktních pravidel. Aby mohl být vodík obnovitelný, musí být tato pravidla plněna i v zahraničí, odkud bude dovážén.

⁷ Viz *IEA Hydrogen production and infrastructure project database* (www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database).

⁸ Informace a data ohledně LCOH v různých částech světa poskytuje také např. IEA Levelised Cost of Hydrogen Map (www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/levelised-cost-of-hydrogen-maps). Údaje z této mapy jsme nepoužili ze dvou důvodů: zaprvé, výpočty berou v úvahu pouze solární a onshore větrné kapacity (v případě Norska i Dánska však budou významnou roli hrát i offshore vodíkové energetické ostrovy) a zadruhé, mapa neumožňuje generovat údaje na úrovni jednotlivých států případně větších geografických oblastí, a proto není pro účely posouzení nákladů na dovoz použitelná.



- Studie Climate Change X: Kerle, F., Herborn, M. & S. Prickett (2023): Cost reduction pathways of green hydrogen production in Scotland – total costs and international comparisons. *Climate Change*. <http://dx.doi.org/10.7488/era/3841>.
- Studie JRC: Ortiz Cebolla, R., F. Dolci a E. Weidner (2022): *Assessment of Hydrogen Delivery Options. Feasibility of Transport of Green Hydrogen within Europe*. JRC Technical Report.
- Studie ACATECH: Staiß, F.; Adolf, J.; Ausfelder, F.; Erdmann, C.; Hebling, C.; Jordan, T.; Klepper, G.; Müller, T.; Palkovits, R.; Poganietz, W.-R.; Schill, W.-P.; Schmidt, M.; Stephanos, C.; Stöcker, P.; Wagner, U.; Westphal, K.; Wurbs, S. & Fishedick, M. (2022): *Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030*. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, München, https://doi.org/10.48669/esys_2022-6.
- Studie DVGW: Staudt, Ch., Hofsaess, C., von Lewinski, B. & Moers, F. (2024): *Kurzstudie zur Transportoptionen von Wassertoff*. DVGW-EBI.

V páté kapitole jsme pak zpracovali výsledky a zjištění ohledně technologických řešení přepravy vodíku a jeho derivátů, výrobních cen a nákladů na dopravu do pěti potenciálních a dle našeho soudu nejpravděpodobnějších scénářů dovozu vodíku do ČR. Scénáře jsme vybírali tak, aby demonstrovaly různé druhy přepravy a jejich kombinace a ukázali výhody, nevýhody a rizika jednotlivých druhů přepravy a dovozu jako takového.

V závěru analýzy pak prezentujeme pět doporučení směřující k posílení české vodíkové ekonomiky.

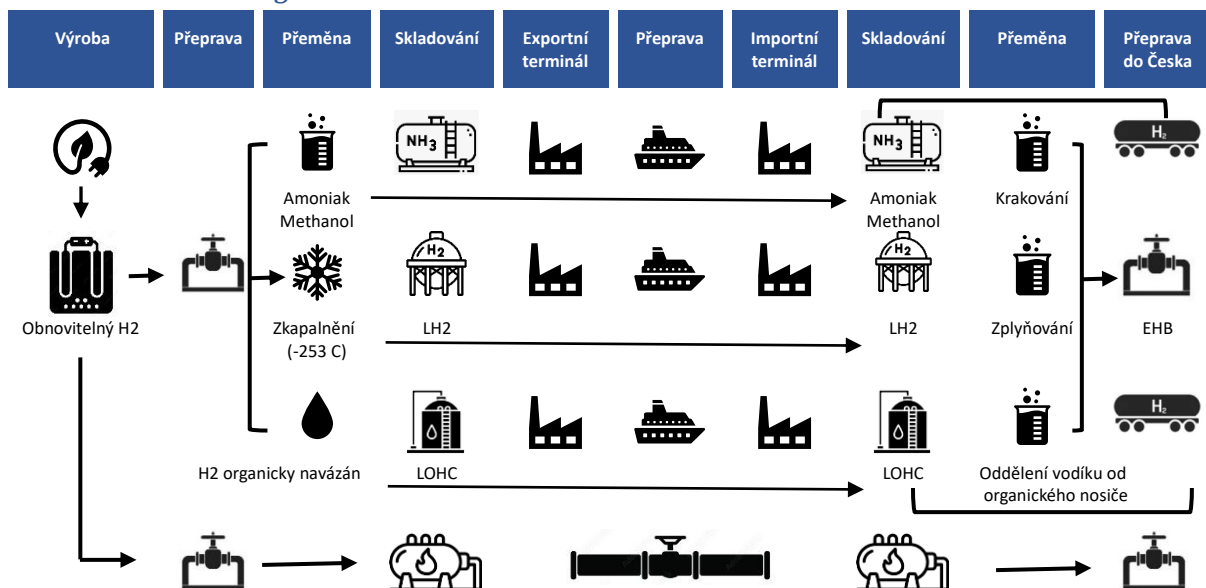


1. Hodnotový řetězec dovozu vodíku

Základem mezinárodní přepravy vodíku je hodnotový řetězec zahrnující více zemí, příslušnou infrastrukturu a všechna stadia od výroby vodíku až po jeho spotřebu koncovým uživatelem. V současnosti můžeme pro přepravu vodíku využít několik technologických řešení (Obrázek 1) a každé z nich má své výhody a nevýhody (Tabulka 2 a 3):

- **Potrubí:** Potrubím je vodík přepravován jako plyn, a to buď v podobě čistého vodíku nebo v podobě směsi vodíku a zemního plynu (tzv. *blending*). Přeprava čistého plynného vodíku potrubím je technologicky podobná přepravě zemního plynu a je snadno proveditelnou možností.
- **Amoniak (NH₃, čpavek):** Vodík lze přepravovat prostřednictvím amoniaku. V takovém případě je plynný vodík transformován Haber-Boschovým procesem na kapalný amoniak. Ten lze použít buď přímo jako surovinu a palivo, nebo jej můžeme krakováním přeměnit zpět na čistý vodík. Amoniak je dnes běžně mezinárodně obchodovanou komoditou.
- **Methanol (CH₃OH):** Vodík lze přepravovat prostřednictvím methanolu. Ten se vyrábí ze syntézního plynu, směsi vodíku, oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého. Tyto složky lze získávat ze široké škály surovin a s využitím různých technologických přístupů. Methanol lze skladovat, přepravovat a používat jako surovinu, palivo nebo jej lze znovu přeměnit na vodík.

Obrázek 1: Technologické možnosti dovozu vodíku



Zdroj: autorka



- **Zkapalněný vodík (LH2):** Ke zkapalňování vodíku dochází při ochlazení na teplotu minus 253 stupňů Celsia. Kapalný vodík lze skladovat, přepravovat a po převozu opětovně zplyňovat.
- **Kapalné organické nosiče vodíku (LOHC):** LOHC jsou nosné molekuly, na které lze v procesu tzv. hydrogenace navázat vodík v místě jeho výroby. Nosič lze skladovat, přepravovat a vodík lze z nosiče uvolnit (dehydrogenace) na požadovaném místě. Molekulu nosiče lze znovu použít.
- **Další deriváty:** Za deriváty obnovitelného vodíku jsou někdy považovány i zelená ocel či e-paliva (AIT 2023, Světová banka 2024: 7 a 16). V této analýze se jim však nevěnujeme, neboť neřeší situaci ČR při potřebě pokrýt poptávku po obnovitelném vodíku.

Tabulka 2: Výhody a nevýhody jednotlivých druhů přepravy vodíku: srovnání

	Výhody	Nevýhody
Čistý H ₂ , potrubí	<ul style="list-style-type: none"> • Nízké náklady na přepravu velkého množství • Stávající plynovody mohou být přestavěny, to výrazně sníží náklady 	<ul style="list-style-type: none"> • Výstavba nových vodíkovodů je zdlouhavá a drahá • Využití stávajících plynovodů vyžaduje pečlivou kontrolu a výměnu některých částí zařízení
Amoniak	<ul style="list-style-type: none"> • Dobré přepravní vlastnosti, zkušenosti s přepravou • Snadno skladovatelný • Energetická hustota 18,6 MJ/kg • Přepravní infrastruktura již existuje, i když je připravena jen na malé objemy • Může být využit přímo bez nutnosti konverze 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxický a hořlavý, v případě nehody závažné ekologické důsledky • Technologie krakování zatím není zcela komercializovaná • Zatím malé tankery, čeká se na vyrobení VLGC
Methanol	<ul style="list-style-type: none"> • Energetická hustota 20,1 MJ/kg • Zkušenosti s mezinárodní přepravou na velké vzdálenosti • Přepravní struktura již existuje • Snadno vyrobitelný i přepravitelný • Může být využit přímo bez nutnosti konverze 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxický, hořlavý, korozivní • Obsahuje CO₂ • Pro výrobu potřebuje velké množství CO₂, které poté musí být při rekonverzi skladováno a přepravováno samostatně
LOHC	<ul style="list-style-type: none"> • Pro přepravu lze využít přepravní infrastrukturu využívanou pro ropu 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižší energetická hustota než amoniak, methanol a LH₂ • (De)hydrogenace energeticky náročná
LH ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Energetická hustota 142 MJ/kg • Vysoká čistota přepravovaného H₂ • Není třeba konverze a rekonverze 	<ul style="list-style-type: none"> • Zkapalňování je energeticky náročný proces • Zchlazení na -253 C je vyžadováno po celou dobu přepravy • Velké energetické ztráty po celou dobu přepravy i skladování • Tankery na přepravu LH₂ zatím nejsou komerčně dostupné • Vysoce hořlavý

Zdroj: Staudt et al 2024, ECHA 2023



Dovoz vodíku do ČR ovlivní, jak se bude rozvíjet přepravní infrastruktura v exportních destinacích a tranzitních zemích. Česko bude v každém případě, pokud zdrojem obnovitelného vodíku budou země mimo EU, využívat multimodální přepravu. U vodíku to bude kombinace tankeru a potrubí, u kapalných derivátů přichází v úvahu i kombinace lodní a železniční přepravy.

Zvýšení objemu mezinárodní přepravy čpavku a dalších kapalných derivátů vodíku bude vyžadovat zvýšení počtu lodí a tonáže. Nové velké tankery (tzv. VLGC, *very large gas carriers*) umožňující přepravu více než 60 tisíc m³ čpavku, methanolu či kapalného vodíku budou k dispozici kolem roku 2030.⁹ Překážkou budoucího rozvoje přepravy čpavku a dalších kapalných derivátů vodíku by mohla být malá kapacita přístavních terminálů a dalších zařízení, neboť ty v současnosti obsluhují pouze menší lodě. Zvýšení objemu mezinárodního obchodu s kapalnými deriváty vodíku bude vyžadovat vedle zvýšení lodní přepravní kapacity i přestavbu přístavních terminálů a navýšení přístavních skladovacích kapacit.¹⁰

Dobudována bude muset být i potrubní síť, neboť v rámci EU se počítá právě s využitím potrubní přepravy, která je na krátké vzdálenosti nejlevnější a nejefektivnější. Propojení celého území EU má zajistit projekt European Hydrogen Backbone (EHB) (viz dále). Z plánů na výstavbu EHB vyplývá (Obrázek 15), že i v případě dovozů z některých evropských zemí (Španělsko, Portugalsko), bude muset být ještě kolem roku 2030 využívána multimodální přeprava. Teprve po dokončení EHB bude možno obnovitelný vodík přepravovat napříč celou Evropou potrubím. **Výstavba vodíkovodů a přestavba stávajících plynovodů již byla v různých zemích zahájena**, stejně tak se na nárůst objemu mezinárodního obchodu s deriváty vodíku začaly **připravovat přístavy**. Současně ale došlo i k zastavení některých projektů (německo-norské vodíkovod plánovaný firmami Equinor a RWE¹¹), u některých dalších došlo k prodloužení data jejich dokončení (finalizace některých částí německé vodíkové ústřední sítě byla odložena z roku 2032 na rok 2037,¹² k prodloužení termínu dokončení došlo i v případě německo-nizozemského vodíkového propojení Delta Rhine Corridor, a to o 4 roky z roku 2028 na rok 2032¹³).

Vedle hmotné infrastruktury považujeme za součást hodnotového řetězce obchodu s vodíkem i dovozní politiku. Ta, společně s obchodními vztahy, zahrnuje smlouvy

⁹ DNV (www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/paving-the-way-for-large-scale-transportation-of-liquid-hydrogen/). Řada firem si již velké tankery objednala, jejich stavba však trvá cca 2 až 3 roky. Ammonia Energy Association (ammoniaenergy.org/articles/lloyds-register-vessel-aip-and-development-updates/).

¹⁰ Maritime Optima, 2023 (www.maritimeoptima.com/insights/will-the-ammonia-shipping-market-boom/). Více také viz LPG Bunkering Guide for LPG Marine Fuel Supply (www.worldliquidgas.org/wp-content/uploads/2019/10/LPG-Bunkering-2019.pdf).

¹¹ Reuters 21.9. 2024 (www.reuters.com/business/energy/norways-equinor-scraps-plans-export-blue-hydrogen-germany-2024-09-20/).

¹² Tisková zpráva Ministerstva hospodářství SRN, 24.4. 2024 (www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/04/20240412-gesetz-zur-wasserstoff-netzentwicklungsplanung.html).

¹³ NPVI, 9.7. 2024 (www.verduurzamingindustrie.nl/actueel/nieuws/2770336.aspx).



s výrobcí a přepravci, dohody o tranzitu vodíku a tranzitních poplatcích, dohody o využívání přístavních terminálů, krakovacích jednotek a skladovacích přístavních zařízeních. Cílem dovozní politiky by mělo být odstranit překážky dovozu vodíku (např. řešit otázky přidělování příslušných obchodních kódů či certifikátů původu), podpořit budování výrobních a vývozních kapacit ve třetích zemích (např. prostřednictvím rozvojové spolupráce podporující výstavbu nových kapacit OZE a elektrolyzérů) a zajistit výhodné cenové podmínky prostřednictvím kontraktů. Jinými slovy, **cílem dovozní politiky by mělo být zajištění dostatečného množství vodíku v přiměřeném čase a za přijatelnou cenu.** ČR dovozní politiku v oblasti obnovitelného vodíku a jeho derivátů teprve začíná vytvářet. Podobně to je i na úrovni EU. Evropská komise rozšiřuje program Global Gateway¹⁴ a v rámci energetické politiky uzavřela více než dvě desítky dohod o technologické spolupráci, společném zájmu budovat energetickou infrastrukturu a memoranda o porozumění v nejrůznějších oblastech energetiky vč. zajištění energetických surovin. Podle nedávno přijatého plynárenského balíčku by EU v budoucnu mohla obnovitelný vodík nakupovat v rámci celounijní agregované poptávky.

K přepravě vodíku, ať už v jakékoliv podobě, je zapotřebí celý hodnotový řetězec, tj. hmotný majetek a infrastruktura v exportní, importní a tranzitní zemi i obchodní vztahy a dovozní politika. Každý z těchto komponentů je důležitý a bez kteréhokoliv z nich se dovoz vodíku a jeho derivátů nebude moci rozvinout.

Tabulka 3: Přeprava vodíku a jeho derivátů: srovnání vybraných ukazatelů

Druh přepravy	Vodíkovod	Lod'	
Přepřavovaná komodita	Plynný čistý H ₂	Nosič H ₂	Derivát H ₂ k přímému použití
Druh komodity	Plynný čistý H ₂	Amoniak, LH ₂ , methanol, LOHC	Amoniak, methanol, e-paliva
Uhlíková intenzita Kg CO ₂ eq/kg H ₂	0,08	0,5-1,7	n/a
Technologická zralost klíčových komponentů (TRL 1/nejnižší-11/nejvyšší)	8 přestavba 10 nová výstavba	4 velká krakovací zařízení pro NH ₃ 7 tankery pro LH ₂ 3 tankování a skladování LH ₂ 6-7 hydrogenace LOHC	6-7 direct air capture 6 na H ₂ založená přímá redukce železa
Implikace pro infrastrukturu	Přestavba stávajících plynovodů + výstavba nových vedení	Viz vodíkovody + zvýšení kapacit přístavních terminálů a krátkodobého skladování	Přeprava možná po železnici i silnici

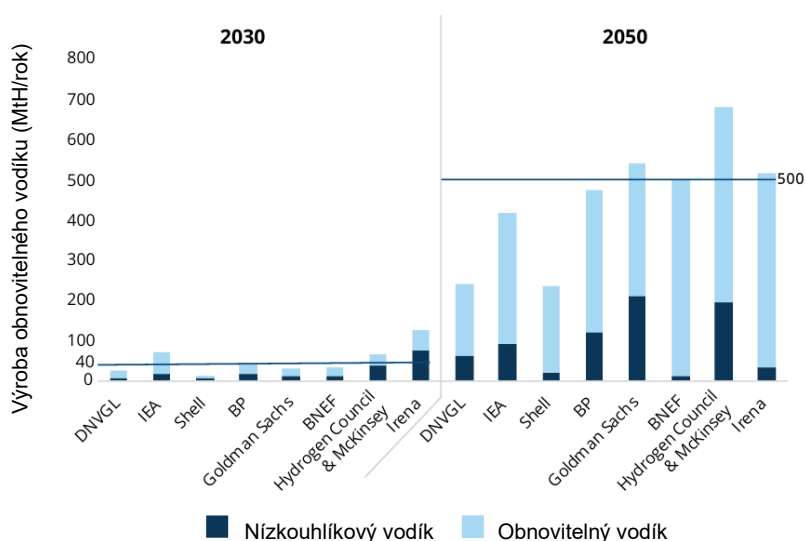
Zdroj: Agora Industry a TU Hamburg 2023: 8, upraveno autorkou

¹⁴ Některé rozvojové politiky EU financují výstavbu zařízení na výrobu obnovitelného vodíku. Global Gateway Investment Package (international-partnerships.ec.europa.eu/policies/global-gateway/initiatives-region/initiatives-sub-saharan-africa/eu-africa-global-gateway-investment-package_en).

2. Obnovitelný vodík: globální a evropský vývoj výroby, poptávky a obchodu

Ambice rozvíjet trh s obnovitelným a nízkouhlíkovým vodíkem vzrostly v souvislosti se snahou naplňovat klimatické cíle. Aplikace vodíku se jako vhodná ukazuje zejména při dekarbonizaci obtížně elektrifikovatelných odvětví či pro mezisezónní skladování energie. Řada zemí předložila plány a cíle pro začlenění vodíku do svých domácích energetických mixů, některé země již avizují, že se chtějí stát významnými světovými vodíkovými vývozci (Saúdská Arábie), jiné země naopak připravují strategie importu vodíku (Německo¹⁵, Japonsko). Podle údajů Světové banky (2024: 2) je v současnosti celosvětově vyrobeno a spotřebováno přibližně 100 Mt vodíku ročně. Jeho největším spotřebitelem je rafinérský a chemický průmysl. **Podíl obnovitelného vodíku na současné výrobě je odhadován na méně než 1 %.** Probíhající výstavba nových elektrolytických výrobních kapacit (např. projekt NEOM v Saúdské Arábii) však naznačuje, že **podíl obnovitelného vodíku v následujícím desetiletí poroste.** Jak ukazuje obrázek 2 odhady růstu a objemů budoucí výroby se ale různí.

Obrázek 2: Odhady nárůstu výroby obnovitelného a nízkouhlíkového vodíku



Zdroj: DNVGL 2022, IEA 2023, Shell 2023, BP 2023, Goldman Sachs 2022, Hydrogen Council & McKinsey 2023, IRENA 2023

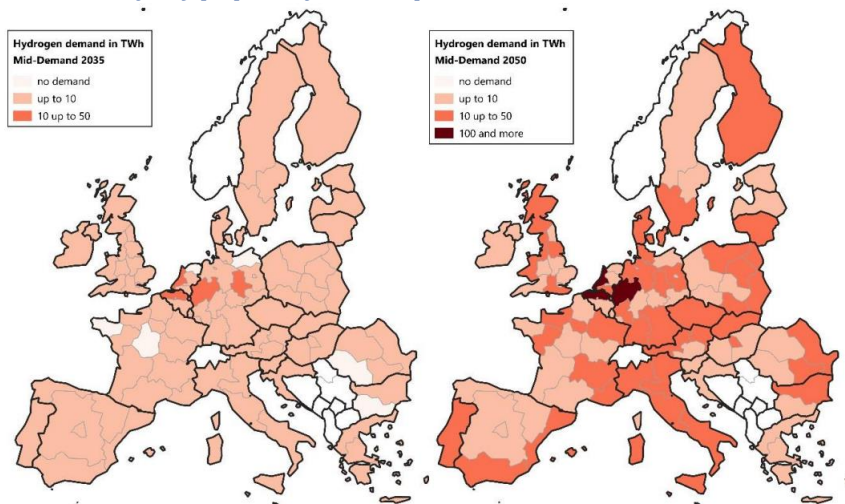
Výstavba nových elektrolytických kapacit probíhá v Severní Americe, EU, Číně, Austrálii a rozbíhá se i na rozvíjejících se trzích s dostatkem OZE. Právě tyto země by měly být kolem roku 2030 nejvýznamnějšími producenty obnovitelného vodíku (IEA 2024a, 2024b, Světová banka 2024, TransHyDe 2024, Ricardo 2023).

¹⁵ Berlín zveřejnil strategii importu vodíku v červenci 2024.

2.1 Vývoj výroby a poptávky po obnovitelném vodíku v Evropě

Významným **producentem i spotřebitelem obnovitelného vodíku se** v následující dekádě **stane EU**. Zatím posledním dokumentem, který zmiňuje evropský vodíkový cíl, je balík opatření REPower EU. Ten uvádí, že poptávka po obnovitelném vodíku by měla v EU v roce 2030 dosáhnout 20 Mt a v dalším desetiletí by měla nadále růst. **Vodík bude nejvíce poptáván v průmyslových oblastech severovýchodní Francie, Belgie, Nizozemska a v severozápadním Německu** (Obrázek 3). V uvedených oblastech má být také instalováno téměř 80 % celkové plánované kapacity elektrolyzérů (EÚD 2024: 27). Pokud vyjdeme z údajů národních vodíkových strategií, Belgie by měla v roce 2030 poptávat 2-6 TWh obnovitelného vodíku, Francie 23 TWh a Německo 95-130 TWh (IEA 2024b). Nizozemsko predikce poptávky pro rok 2030 neuvádí.

Obrázek 3: Vývoj poptávky v Evropě v období let 2035 až 2050



Zdroj: TransHyDe 2024: 20

Podle údajů Komise by EU měla v letech 2021 až 2027 do vodíkových projektů investovat 18,8 miliardy Euro, podle výpočtů Evropského účetního dvora (2024: 24) to však na pokrytí evropské poptávky stačit nebude. Problém nedostatku by měl vyřešit dovoz obnovitelného vodíku. V současné době neexistuje **žádná celoevropská dovozní strategie** a podle dostupných údajů Evropská komise zatím o přípravě takové strategie neuvažuje. O tom, jak si Komise dovoz obnovitelného vodíku představuje, lze usuzovat ze schválených vodíkových projektů IPCEI,¹⁶ plánů European Hydrogen Backbone, evropského rozvojového rámce Global Gateway z nějž jsou již dnes financovány projekty na výrobu obnovitelného vodíku v rozvíjejících se zemích a částečně také legislativní akty jako plynárenský balíček, byť vymezení zde je negativní. Balíček uvádí, že EU nebude

¹⁶ Podrobně k vodíkovým projektům IPCEI viz (ipcei-hydrogen.eu).

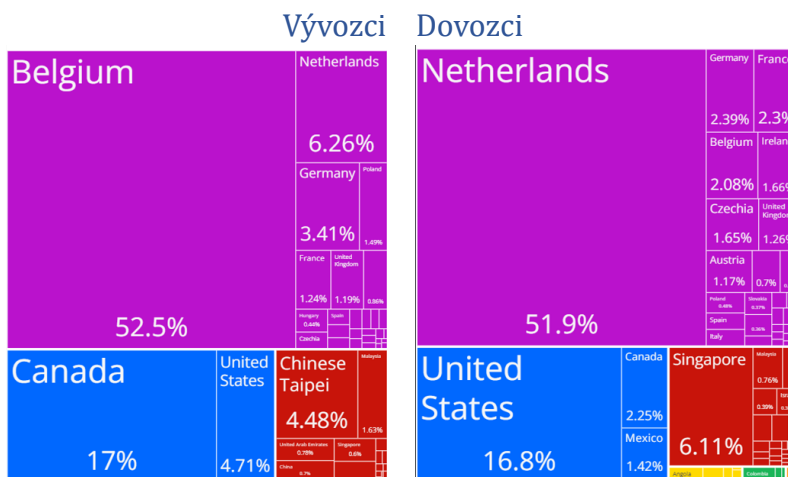


odebírat obnovitelný vodík z Ruska a Běloruska. Projekty IPCEI, EHB a Global Gateway naznačují, že kolem roku 2030 by hlavní směr dovozu měl jít ze severní a jižní Evropy, případně ze severní Afriky přes jižní Evropu.

2.2 Současný obchod s vodíkem a jeho deriváty

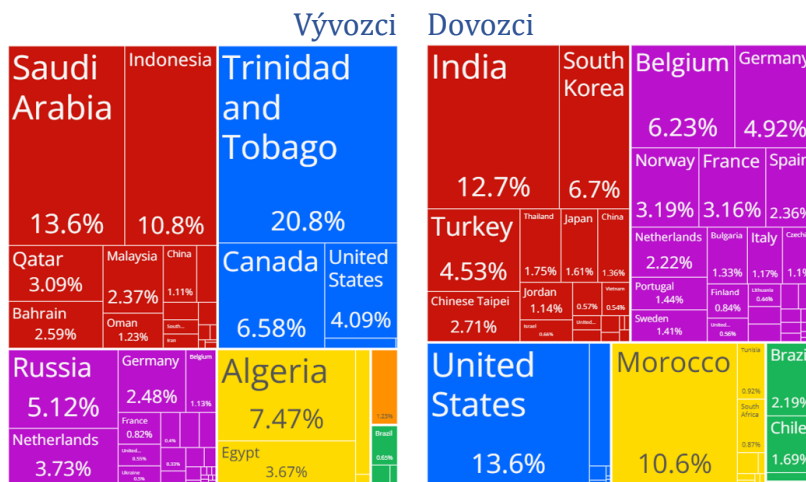
Mezinárodní obchod s vodíkem (HS kód 280410) je v současné době omezen pouze na země, které mají dedikované vodíkovody (Obrázek 4). Většina mezinárodního obchodu tak zatím probíhá mezi USA a Kanadou a Belgií a Nizozemskem. Objem obchodů s deriváty vodíku, konkrétně s amoniakem (HS kód 2814) a methanolem (HS kód 290511), je výrazně vyšší (Obrázek 5 a 6). Mnozí dopravci a přístavy již dnes mají zkušenosti s přepravou a skladováním čpavku a methanolu a část technologií umožňujících přepravu derivátů vodíku je ve fázi technologické zralosti i komerční využitelnosti.

Obrázek 4. Mezinárodní obchod s vodíkem v roce 2022



Zdroj: OEC (oec.world/en/profile/hs/hydrogen-6280410)

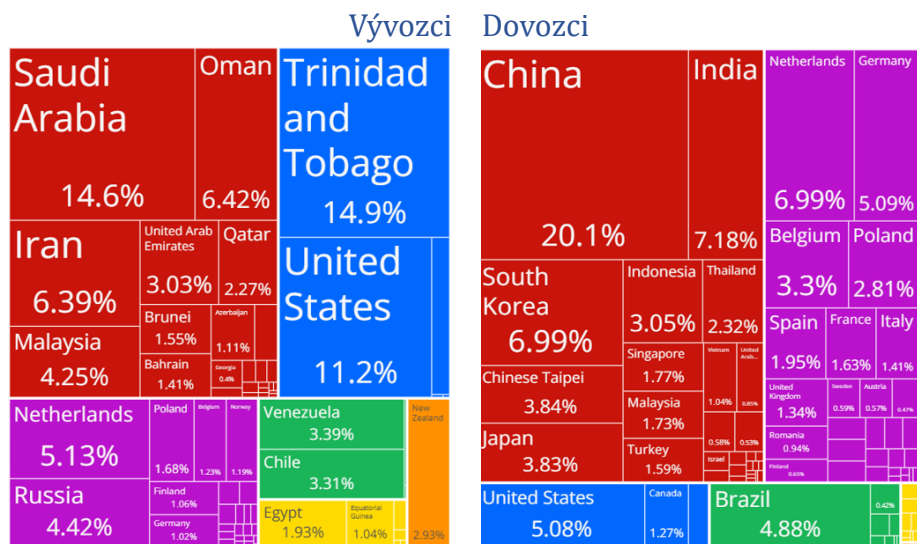
Obrázek 5: Mezinárodní obchod s amoniakem v roce 2022



Zdroj: OEC (oec.world/en/profile/hs/ammonia)



Obrázek 6: Mezinárodní obchod s methanolem v roce 2022



Zdroj: OEC (oec.world/en/profile/hs/methyl-alcohol)



3. Cena obnovitelného vodíku dnes a v roce 2030

Pro vyjádření hodnoty obnovitelného vodíku jsou používány různé ceny: výrobní cena, tzv. vyrovnané náklady na výrobu vodíku (*levelised cost of hydrogen*, LCOH) či tržní cena. Jednotlivé ceny se liší tím, jaké položky jsou zahrnovány do nákladů odrážejících se v ceně (Obrázek 7). K vyjádření budoucí ceny obnovitelného vodíku se v současnosti používá tzv. LCOH. Vyrovnané náklady na výrobu vodíku jsou, zejména z pohledu investorů, považovány za **nejtransparentnější identifikátor konkurenceschopnosti projektu**. V této kapitole nejprve vysvětlíme, co je podstatou metodologie výpočtu LCOH, poté se zaměříme na LCOH v ČR a v zemích, z nichž by Česko mohlo obnovitelný vodík potenciálně dovážet.

Obrázek 7: Jak vzniká cena vodíku

Metrika	Uživatelé	Využití	Zdroj dat
Tržní cena Výrobní cena ↑	Obchodníci a kupující	Transakce na trhu	Komerční
Realizované náklady na projekt	Investoři, developeři projektů	Zajištění financovatelnosti projektů specifických pro danou lokalitu v regionálním kontextu	Komerční, důvěrné
LCOH	Tvůrci politik	Studie proveditelnosti	Veřejně dostupné

Zdroj: Agora Industry 2024, doplněno autorkou





3.1 Vyrovnané náklady na výrobu obnovitelného vodíku: co to je a jak se počítají

Obnovitelný vodík zatím není běžně obchodován a jeho cenu tak lze stanovit poměrně obtížně. Místo tržní ceny je zatím při plánování projektů a posuzování jejich konkurenceschopnosti používána cena označovaná jako vyrovnané náklady na výrobu. Obvykle se uvádí v cenách za kilogram vodíku. **LCOH je definována jako průměrné čisté náklady na výrobu vodíku po dobu životnosti projektu.** LCOH lze chápat jako nejnižší možnou cenu, za kterou může výrobce prodat obnovitelný vodík, aby se mu zaplatily náklady na projekt a výrobu. Do LCOH jsou započítávány kapitálové náklady (tzv. CAPEX, zahrnují zejména nákup a instalaci elektrolyzérů a příslušných přílehlých zařízení jako elektrická a vodovodní přípojka či trafostanice), provozní náklady (tzv. OPEX, zahrnují náklady na provoz při výrobě vodíku, zejména náklady na elektřinu; ty tvoří asi 60 % provozních nákladů /Světová banka 2024: 28/) a amortizace zařízení (počet provozních hodin) (Obrázek 8). LCOH nezahrnuje zisk výrobce, celní poplatky, environmentální



stopu,¹⁷ rozvoj dopravní infrastruktury a elektrizační sítě v okolí elektrolyzérů nutných pro jeho provoz, náklady na dodatečnou výstavbu kapacit OZE ani náklady na přepravu vodíku.¹⁸

Obrázek 8: Metodologie výpočtu LCOH

LCOH (€/kg)			
CAPEX	OPEX		
Zařízení + instalace	Spotřeba energie	Voda	Počet provozních hodin
			

Zdroj: autorka

Je však vhodné uvést, že ani u LCOH neexistuje jediná akceptovaná metodologie výpočtu.¹⁹ V realitě to vede k tomu, že různé zdroje uvádějí v případě stejné destinace odlišné LCOH. Tento problém můžeme demonstrovat na případu Česka; jako LCOH byly v minulosti uváděny údaje jako 8 až 15 €/kg (studie proveditelnosti LEEF Technologies z roku 2022), 9 €/kg (studie „Analýza cen vodíku“ z roku 2023²⁰, která konstatuje, že toto je nejoptimističtější varianta, kdy do ceny nebyla započítána návratnost projektů), 4,50 až 4,75 €/kg (mapa ceny pro rok 2024 PwC²¹) nebo 5,1 až 6,3 €/kg v roce 2023 (Agora Industry 2024). **Při hodnocení dovozního potenciálu a srovnávání potenciálních**

¹⁷ Výpočty výrobní ceny obnovitelného vodíku i výpočet LCOH ovlivní např. to, zda bereme v úvahu i náklady na úpravu vody, zejména plánuje-li projekt využívat mořskou vodu. Tam, kde výroba vodíku počítá s využitím slané vody je třeba při vkládání vstupních údajů do modelů počítat s nárůstem spotřeby elektřiny, která je využita k čištění vody, a dále s náklady na likvidaci zbytkového slaného koncentrátu. Někteří autoři uvádějí, že skutečně správný výpočet výrobní ceny obnovitelného vodíku by měl vzít v úvahu i environmentální stopu – např. problémy vyplývající z vypouštění slaného koncentrátu zpět do moře a negativní vliv koncentrátu na místní faunu a flóru.

¹⁸ V současnosti se množí hlasy (např. Wietschel et al 2024, Arrigoni et al 2024, Ricardo 2023), že tyto náklady by do LCOH měly být zahrnuty, neboť teprve takový postup by indikoval reálné vyrovnané náklady na výrobu obnovitelného vodíku. Arrigoni (et al 2024) nebo Wietschel (et al 2024) zdůrazňují, že vhodné by bylo rozšíření výpočtu LCOH zejména u potenciálních vývozních destinací, které mají zatím minimálně rozvinutou dopravní a energetickou infrastrukturu (takovým případem je Namibie, s níž se počítá jako s významným exportérem obnovitelného vodíku). Pouhé LCOH mají podle uvedených autorů zavádějící informační hodnotu. Arrigoni et al (2024) či Agora Industry a Umlaut (2023) se shodují, že pokud bychom uvedené náklady vzali v úvahu, pak nejnižší uváděné LCOH v potenciálních exportních destinacích jako je Namibie, Maroko či Omán by měly být o 16 až 54 % vyšší (v závislosti na stavu infrastruktury a emisní intenzitě energetického sektoru).

¹⁹ Podrobně viz Agora Industry and Umlaut (2023): *Levelised cost of hydrogen. Making the application of the LCOH concept more consistent and more useful* (static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-12-10_Trans4Real/A-EW_301_LCOH_WEB.pdf).

²⁰ Národní centrum vodíkové mobility (www.cistadoprava.cz/files/NAHYC_DP002N-V008-Ceny_vodiku.pdf).

²¹ PwC (www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html).



dovozních destinací, je podstatné využívat LCOH vypočítané na základě stejné metodologie a současně takové metodologie, která se skladbou započítaných nákladů nejvíce blíží reálné situaci, v níž je projekt provozován.

3.2 Náklady na výrobu obnovitelného vodíku v potenciálních dovozních destinacích

V této kapitole nejprve identifikujeme potenciální dovozní destinace, poté se budeme zabývat LCOH na výtípaných místech. Dovozní potenciál destinace určuje několik faktorů: 1) existence výrobních kapacit v daném místě a vůle vyvážet, 2) cena, za kterou lze na daném místě vyrobit obnovitelný vodík, 3) existence přepravní infrastruktury a technologií umožňujících přepravu, a 4) náklady na dovoz. Pokud zkombinujeme uvedené faktory pak se jako **perspektivní zdrojové destinace** pro dovoz obnovitelného vodíku do ČR kolem roku 2030 jeví **Norsko, Dánsko, Španělsko** (bez Kanárských ostrovů), **sever Velké Británie a Estonsko**. Za určitých okolností lze jako o zdrojové zemi uvažovat i o **Ukrajíně**, kde se však spíše, než o vývozu obnovitelného vodíku, uvažuje o vývozu obnovitelné elektřiny.²² Ze vzdálenějších destinací připadají v úvahu **státy severní Afriky (Maroko, Alžírsko, Tunisko, Egypt), východní pobřeží Kanady, Omán a Saudská Arábie**. Uvedené země mají vydatné zdroje OZE a tudíž předpoklady pro dosažení nízké LCOH, vznikají zde nebo jsou plánovány menší i velké projekty výroby obnovitelného vodíku a jeho derivátů, byla zahájena nebo je plánována výstavba přepravní infrastruktury a tyto země deklarují, že obnovitelný vodík chtějí vyvážet. Pokud by byla agregována poptávka na úrovni EU, jak avizuje plynárenský balíček, mohla by být skupina zdrojových zemí větší. Pro účely této studie budeme nicméně vycházet z toho, že ČR bude muset svoji poptávku po obnovitelného vodíku zajistit sama.

V následující analýze se zabýváme LCOH u zemí, které budou zdrojem dovozu nejpravděpodobněji (viz výše). Do analýzy navíc zahrneme Namibii, i když její vzdálenost (cca 15 500 km Windhoek – Amsterdam) a stav přípravy vodíkových projektů nenaznačují, že by se mohla kolem roku 2030 stát vodíkovým vývozcem. V Namibii první projekty teprve vznikají,²³ její energetický sektor je značně emisně intenzivní a chybí přepravní infrastruktura, dostatečně rozvinutý energetický sektor a elektrizační soustava

²² V současnosti, v důsledku války a poškození energetické infrastruktury, Ukrajina elektřinu dováží, před ruským útokem v roce 2022 však patřila k zavedeným exportérům elektřiny. Největšími odběrateli ukrajinské elektřiny byli Polsko, Slovensko a Rumunsko. Ukrajina má dostatečné a vydatné kapacity OZE a po skončení války a obnově infrastruktury by se mohla opět stát významným vývozcem. Ukrainian Energy Exchange (www.ueex.com.ua/eng/presscenter/news/electricity-ukraine-and-europe-18-22-march-2024/). Více k ukrajinskému potenciálu vyvážet obnovitelný vodík viz např. studie Fraunhofer ISI a Fraunhofer ISE z roku 2023 „Ukrainian Hydrogen Export Potential: Opportunities and Challenges in the Light of the Ongoing War“ (Sukurova et al 2023).

²³ V době psaní této analýzy pouze u šesti projektů byly známy podrobnosti. Srovnej Green H2 Namibia (2024) (dechema.de/green_hydrogen_namibia_report/_/H2-Report_Green-H2_digital.pdf) a Altenburg, T., & Kantel, A. (2024): *Green hydrogen in Namibia: opportunities and risks*. IDOS Discussion Paper 6/2024. Bonn: German Institute of Development and Sustainability (IDOS), <https://doi.org/10.23661/idp6.2024>.



(Namibie dováží část elektřinu z JAR, kde dominantním zdrojem jsou uhelné elektrárny) a dostatečné kapacity OZE (více viz Ricardo 2023). Namibie je nicméně modelovým příkladem země, která má vydatné zdroje OZE, uvažuje o výrobě obnovitelného vodíku i jeho vývozu a má již uzavřeno několik memorand o vodíkové spolupráci a budoucích dodávkách s evropskými státy.

Do analýzy jsme nezahrnuli Ukrajinu, byť je někdy jako zdrojové teritorium v případě ČR uváděna, ale s ohledem na válku v zemi a masivní poškození průmyslu a dopravní a elektrické infrastruktury nelze dost dobře LCOH ani náklady na přepravu vodíku v současnosti spočítat. Jak jsme uvedli výše, v případě Ukrajiny by se spíše v první fázi, poté, co dojde k rekonstrukci energetické infrastruktury, jednalo o vývoz elektřiny.

Pro výpočty nákladů na dovoz musíme u potenciálních dovozních destinací zjistit LCOH. V tomto textu v případě evropských států používáme LCOH vypočítané think tankem Agora (Energiewende a Industry)²⁴ s použitím modelu H2PyPSA.²⁵ PyPSA optimalizuje náklady zdola nahoru; jako vstupy bere v úvahu různé technickoekonomické parametry včetně technologie elektrolyzátoru (PEM, AEM), dále CAPEX, OPEX a náklady na výstavbu přilehlé infrastruktury. Model navíc pracuje s celoroční optimalizací nákladů za daných technických omezení. Pro optimalizaci nákladů využívá dlouhodobé datové řady meteorologického modelu Copernicus, z nichž generuje informace potřebné pro výpočet výkonu OZE. Metodologie PyPSA je díky tomuto postupu přesnější než další modely, a navíc umožňuje modelovat **LCOH i na úrovni menších územních jednotek než pouze na úrovni států** (Obrázek 9). To v případě zemí, kde existují výrazné teritoriální rozdíly v dostupné kapacitě OZE, hraje velkou roli. Právě teritoriální rozdíly v kapacitách OZE stojí za tím, že LCOH je na úrovni států většinou uváděna jako hodnoty v určitém rozsahu. Nejnížší údaj o ceně bývá nejnížší LCOH dosažitelná za neoptimálnějších podmínek, vyšší údaj je zpravidla LCOH dosažitelná na základě průměrných reálných nákladů v místě a čase.

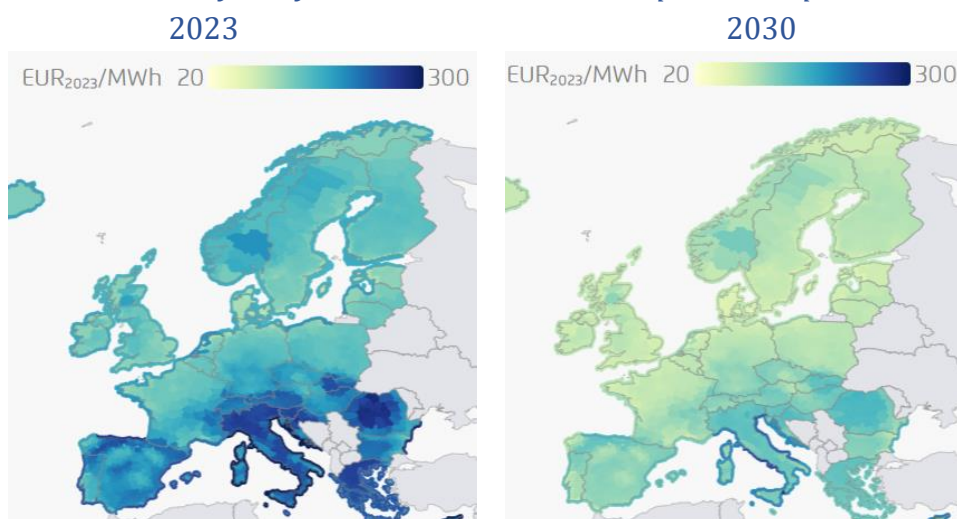
Zjištění modelu PyPSA indikují, že v Evropě lze nejnížší výrobní ceny dosáhnout na severních pobřežích Evropy, spíše než v oblastech jihu (Agora Industry 2024). Model tak **vyvrací obvyklou představu, že nejlevnější je výroba obnovitelného vodíku ve slunných částech jižní Evropy nebo v offshore oblastech**. Hlavní příčinou vyšší výrobní ceny na jihu Evropy a v offshore oblastech je fakt, že model PyPSA bere v úvahu i náklady na budování přilehlé infrastruktury a ty jsou v offshore oblastech vysoké kvůli podmořské

²⁴ Podrobně k metodologii LCOH viz Agora Industry, Agora Energiewende (2024): EU map of hydrogen production costs – documentation.

²⁵ Agora H2PyPPSA model (www.agora-industry.org/data-tools/agoras-eu-map-of-hydrogen-production-costs). Další modely poskytují např. European Hydrogen Observatory (observatory.clean-hydrogen.europa.eu/tools-reports/levelised-cost-hydrogen-calculator) nebo Agora Energiewende (www.agora-energiewende.org/data-tools/levelised-cost-of-hydrogen-calculator#downloads).

výstavbě, a vážený průměr nákladů kapitálu²⁶, kdy země jižní Evropy vykazují vysoké státní dluhy a vysokou inflaci, což zdražuje kapitál.

Obrázek 9: Náklady na výrobu obnovitelného H₂ s optimálním podílem OZE



Zdroj: Agora Industry 2024

Pro přesnou představu o dovozu nicméně potřebujeme konkrétní LCOH měřené v eurech za kilogram obnovitelného vodíku. Údaje o LCOH (Tabulka 4), kterého lze dosáhnout v evropských státech kolem roku 2030, jsme čerpali z modelu H₂PyPSA think tanku Agora (viz výše). Tyto údaje jsme triangulovali prostřednictvím výpočtů Aurora Energy Research z let 2022 až 2024. Uvedené zdroje bohužel neposkytují data k mimoevropským destinacím; ta jsme zjišťovali z jiných zdrojů. Nejčastěji se jednalo o výpočty Rakouského technologického institutu (AIT 2022, 2023). Údaje o LCOH ve vybraných destinacích jsme pak ověřovali a srovnávali s údaji uváděnými v akademických textech, v projektových dokumentacích či zprávách z konkrétních projektů a studií proveditelnosti. Odkazy na zdroje, z nichž jsme informace o LCOH čerpali, uvádíme u každého konkrétního případu. V horní části tabulky jsou uvedeny LCOH, jichž by mohly dosáhnout kolem roku 2030 projekty v evropských zemích, které budou vodík v budoucnu dovážet, v dolní zelené části tabulky jsou uvedeny LCOH, kterých by kolem roku 2030 mohli dosáhnout budoucí vývozci.

²⁶ Vážený průměr nákladů kapitálu (*weighted average cost of capital, WACC*) je úroková sazba, kterou firma v průměru musí platit těm, kdo financují její aktiva. Označuje se proto i jako průměrné náklady kapitálu, alternativní náklady kapitálu neboli jako průměrná cena, za kterou podnik využívá kapitál pro svoji podnikatelskou činnost. Tuto cenu v zásadě určuje trh, a nikoli vedení firmy, třebaže to spolurozhoduje, jak se firma bude financovat. Zároveň je WACC i minimální návratností firemních aktiv, kterou musí firma dosahovat, protože jinak by nebyla schopna svou činnost ve stávající podobě dlouhodobě udržet. Nedokázala by si totiž vydělat na kapitál, který při své činnosti využívá.



Tabulka 4: LCOH dnes a v roce 2030 ve vybraných destinacích (v €/kgH₂)

	LCOH 2023		LCOH 2030		
	Různé zdroje	H ₂ PyPSA ²⁷	Aurora, 2022	Aurora, 2023, 2024	Další zdroje
Česko	8,0-12,0 ²⁸	3,78-4,53			8,0-11,0 ²⁹
Německo		3,0-4,5	3,2-4,2	3,90-5,0	
Nizozemsko	10,0-13,69 ³⁰	2,94	3,9-4,5		8,30 ³¹
Rakousko		4,11			
Slovensko		4,84			
Norsko	5,53 ³²	3,47-4,09	3,0-3,3		
Španělsko³³		4,85-4,42	4,1-4,9	3,1	
Dánsko		2,07-2,62			3,7-4,7 ³⁴ 1,9-5,53 ³⁵
Skotsko	7,82 ³⁶	3,62	3,9-5,8		4,74-5,93 ³⁷
Maroko	6,9 ³⁸			3,2	3,2 ³⁹ 2,36-6,13 ⁴⁰
Alžírsko	4,5-5,0 ⁴¹				3,51-7,25 ⁴²
Egypt	4,08 ⁴³				2,45 ⁴⁴
Saudská Arábie	2,63 ⁴⁵				3,65-4,67 ⁴⁶ 1,63 ⁴⁷ 2,12-2,79 ⁴⁸
Namibie					3,98-4,97 ⁴⁹

²⁷ Agora Industry (www.agora-industry.org/data-tools/agoras-eu-map-of-hydrogen-production-costs#downloads)

²⁸ HYTEP 2023, Seznam Zprávy 2023 (www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-zeleny-vodik-na-startu-v-napajedlech-se-rozjel-prvni-komerčni-elektrolyzer-238931)

²⁹ PWC 2023

³⁰ Eblé a Weeda 2024

³¹ CE Delft TNO 2023: 2

³² Kerle et al 2023

³³ Bez Kanárských ostrovů

³⁴ Arthur Little Report 2023

³⁵ CIP Fonden 2023

³⁶ Kerle et al 2023

³⁷ Giampieri et al 2024

³⁸ Kerle et al 2023

³⁹ Agora Industry 2024

⁴⁰ Ourya et al 2023

⁴¹ Eichhammer et al 2024

⁴² Tebibel et al 2023, Messaoudi et al 2024, Wolf, Tanneberger a Höck 2024

⁴³ Alvarez and Marsal 2024: 3

⁴⁴ Alvaerz and Marsal 2024: 3

⁴⁵ Alvarez and Marsal 2024: 3

⁴⁶ AIT 2022

⁴⁷ Alvarez and Marsal 2024: 3

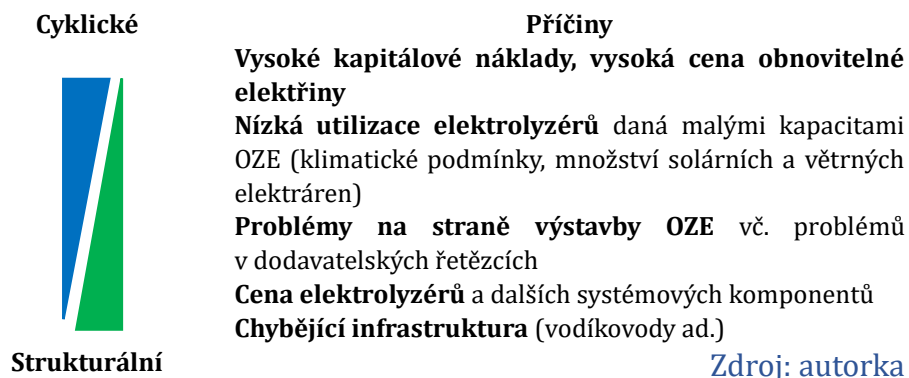
⁴⁸ Alhadhrami et al 2024

⁴⁹ AIT 2022



Uvažujeme-li o dovozu obnovitelného vodíku do Česka přibližně v horizontu roku 2030, je relevantní analyzovat ceny k tomuto datu. Téměř všechny odhady budoucích výrobních nákladů počítají s jejich poklesem; ten je podle různých modelů způsoben především nárůstem kapacit OZE a následně poklesem jejich cen. Počítá se také s poklesem cen elektrolyzérů (IEA 2024, Světová banka 2024). Stávající situace ale napovídá, že pokles cen OZE a elektrolyzérů bude pomalejší, než se předpokládalo, a že **do modelování cen budou daleko více promlouvat faktory jako rostoucí inflace, neklesající ceny elektrolyzérů či zadluženost některých států a rostoucí rizikovost kapitálu** (Obrázek 10). Ze stávajících španělských a portugalských projektů víme, že od roku 2020 inflace prodražila vodíkové projekty až o 2 € na kilogram.⁵⁰

Obrázek 10: Proč v Evropě neklesá výrobní cena obnovitelného vodíku?



Do ceny, za kterou by Česko mohlo kolem roku 2030 dovážet obnovitelný vodík, bude v budoucnu vstupovat ještě jedna skutečnost, a to že ČR na rozdíl od některých jiných států EU (Nizozemsko, Německo), nemá zatím uzavřené žádné předběžné dohody o odběru obnovitelného vodíku ze zahraničí a nemá uzavřená ani memoranda o porozumění či jiné formy deklarácí potvrzujících budoucí vztah výrobce a odběratele.

⁵⁰ Occo Roelofsen, CEO of renewable hydrogen company Power2X, S&P Global Commodity Insights in an interview (www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/092723-interview-inflation-pushes-europe-green-hydrogen-costs-up-by-eur2kg).



4. Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů dnes a v roce 2030

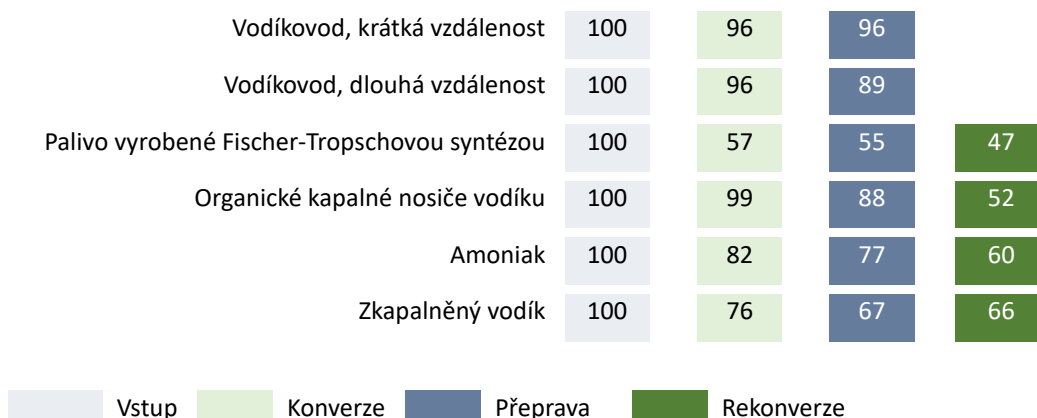
Vodík lze přepravovat několika způsoby (Obrázek 1) a v různých objemech, každý z druhů přepravy vyžaduje jiné technologické postupy a generuje jiné náklady. **Náklady na přepravu budou společně s cenou vodíku spoluurčovat rozhodování ČR o zdrojových destinacích, tj. odkud dovážet, i o rozvoji domácí výroby a jejím potenciálu obstát tváří v tvář dovozu.** Při studiu a zjišťování přepravních nákladů jsme využili kvalitativní metaanalýzu, jejímž základem se stalo sedm studií uvedených v úvodu (s. 9).

Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů jsou součtem několika nákladů:

- **Náklady na výstavbu a provoz příslušné infrastruktury** včetně zařízení a jejich amortizace: Infrastruktura a zařízení umožňující přepravu vodíku a jeho derivátů zahrnuje zejména vodíkovody, kompresory, přístavní terminály, tankery, dočasné skladovací kapacity, krakovací jednotky nebo další zařízení podle formy, v níž je vodík přepravován.
- **Náklady na úpravu vodíku a jeho případnou (re)konverzi a na krátkodobé skladování vodíku a jeho derivátů.** Tyto náklady jsou konstantní, k jejich snížení může dojít jen v důsledku technologických inovací, snížení investičních a/nebo provozních nákladů případně zvýšením kapacity zařízení. Energeticky nejméně náročná je přeprava čistého plynného vodíku potrubím na krátké vzdálenosti, energeticky nejnáročnější – a tedy nejdražší – je konverze plynného vodíku do kapalné podoby a následná rekonverze do plynného stavu (Obrázek 11). Zkapalnění vodíku, krakování amoniaku a dehydrogenace LOHC spotřebují mezi 10 až 12 kWh/kg H₂ (Staudt et al 2024). Snížení energetických ztrát a nároků při přepravě vodíku a jeho derivátů je jednou z největších výzev následujícího desetiletí, neboť teprve pokles těchto nákladů umožní ČR dovážet vodík a jeho deriváty ze vzdálenějších destinací. **Destinace jako Saudská Arábie, Čile či Namibie sice mají relativně nízké LCOH, pokud k nim ale přičteme náklady na přepravu, pak cena kilogramu H₂ není výrazně nižší než LCOH v Česku.**
- Náklady na příslušné certifikace a pojištění, náklady na lidské zdroje: Rozvoj mezinárodní přepravy vodíku a jeho derivátů bude vyžadovat pracovní síly s novou kvalifikací vybavené novými bezpečnostními postupy. Vedle uvedeného bude nutné rozvinout mezinárodní systém certifikace a záruk původu, které budou nezbytné jak v rámci EU pro vykazování plnění klimatických závazků, tak pro vstup daného zboží na trh EU poté, co začne platit Mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích (tzv. CBAM). Konečně je vhodné zmínit i náklady na pojištění kvůli případným haváriím a úniku vodíku.



Obrázek 11: Energetická účinnost při přepravě vodíku a jeho derivátů (%)



Zdroj: Agora Industry 2024, Staudt et al 2024

Vodík není v současnosti ve větších objemech přepravován. Mezinárodně obchodovány jsou amoniak a methanol. To znamená, že při úvahách o nákladech na přepravu můžeme u amoniaku a methanolu pracovat s údaji založenými na reálné zkušenosti, u ostatních možností, tj. zkapalněný vodík, tekuté organické nosiče vodíku a plyný vodík potrubím na velké vzdálenosti, jsou náklady modelovány na základě současných cen, dostupných informací a predikcí vývoje. **Při analýze přepravních nákladů vodíku a jeho derivátů je nutné vzít v úvahu, že i sebelepší dnešní výpočty nezohledňují zítřejší technologické inovace. Právě ty budou mít v budoucnu největší potenciál snížit náklady na přepravu.**

Budou-li zdrojovým teritoriím pro dovoz vodíku do ČR evropské státy, pak vodík nebude procházet konverzí a budou využity vodíkovody, budou-li zdrojem mimoevropská teritoria, pak bude kombinován námořní dovoz a potrubí a přeprava bude vyžadovat některou z kapalných podob vodíku. Uvažujeme-li o dovozu methanolu, amoniaku a dalších derivátů vodíku, které by neprocházely konverzí, ale byly využívány přímo, pak bude s největší pravděpodobností využita železniční doprava. Pro vnitrostátní přepravu vodíku na krátké vzdálenosti lze využít trailery o různé kapacitě. Nákladům na přepravu trailery se v této studii nevěnujeme.⁵¹

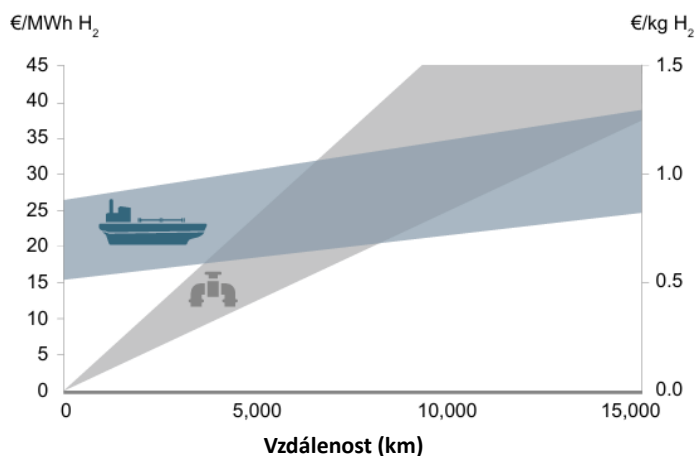
Z analýzy informací a poznatků ohledně přepravy vodíku a jeho derivátů vyplynulo, že **nejnižší náklady přináší přeprava plyného vodíku potrubím na kratší vzdálenosti. Po dosažení určité vzdálenosti však potrubní přeprava vodíku přestává být ve srovnání s přepravou derivátů vodíku konkurenceschopná.** U nich totiž se

⁵¹ Náklady na přepravu trailery o různé kapacitě a využívající různý tlak v lahvích počítala nedávná britská studie *Hydrogen transport and storage infrastructure* vydaná Ministerstvem energetické bezpečnosti a bezemisní politiky v roce 2023 (assets.publishing.service.gov.uk/media/64ca0e6c5c2e6f0013e8d92a/hydrogen-transport-storage-minded-to-positions.pdf).



vzdáleností rostou náklady na přepravu pomaleji. **Studie** a modely **se nicméně neshodují v tom, jaká vzdálenost přepravy je ekonomickou hranicí, do níž je potrubní přeprava nákladově konkurenceschopná** oproti jiným druhům přepravy. Zatímco projekt TransHyDe (2024: 29-31) Fraunhofer ISI a Galimova et al (2023: 12-15) jako hranici uvádějí 1400 km, Ortiz Cebolla, Dolci a Weidner (2022) ve studii JRC 6500 km a Staudt et al (2024: 72) dokonce hranici kolem 8 000 km.

Obrázek 12: Zjednodušené srovnání nákladů na přepravu vodíku kolem roku 2030

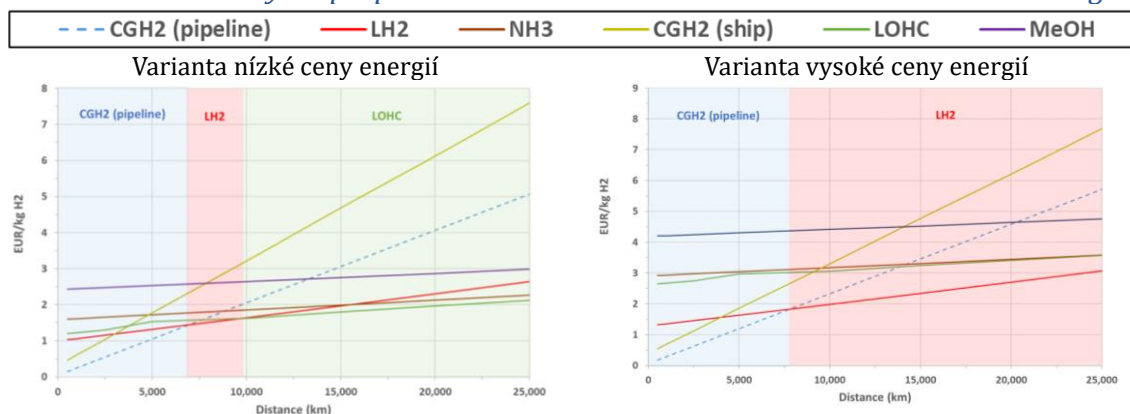


Náklady počítány pro vodíkovod 1200 mm (48 palců), nový a přestavěný, 12,7 GW a 8 bar

Zdroj: Guidehouse 2023

Na krátké vzdálenosti je vždy nejvhodnější potrubní přeprava, v určitém okamžiku však začnou náklady na potrubní přepravu strmě stoupat a výhodnější jsou jiné formy přepravy.

Obrázek 13: Náklady na přepravu vodíku v závislosti na vzdálenosti a cenách energií



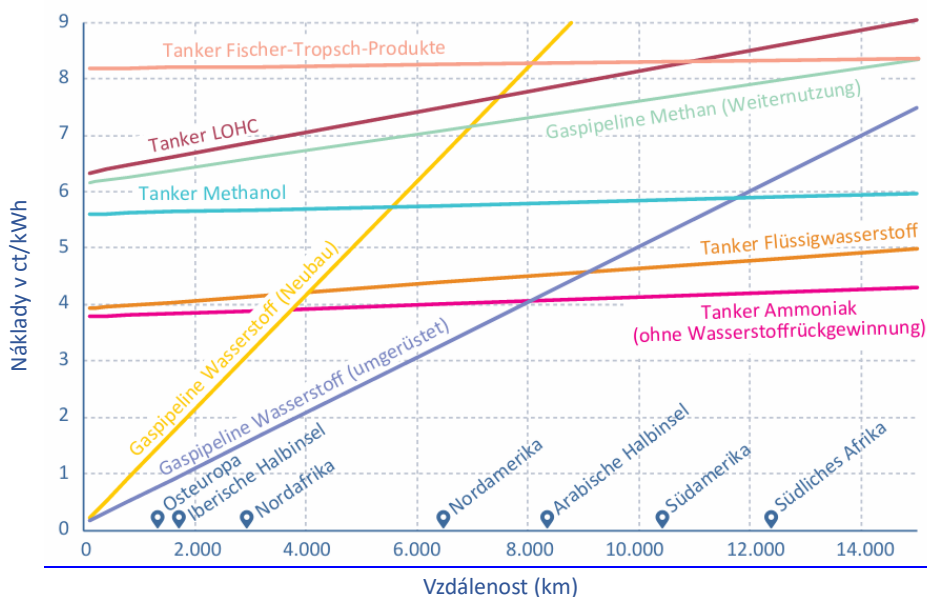
Zdroj: Ortiz Cebolla, Dolci a Weidner 2022: 64-65

Při nízkých cenách energie se jako nejméně nákladná jeví přeprava vodíku ve zkapalněné podobě (LH2), pokud však vezmeme v úvahu nezralost technologií a fakt, že v současnosti nemáme k dispozici vysokokapacitní lodě pro přepravu vysoko zchlazeného vodíku a ceny energií jsou vysoké, a v případě LOHC



technologickou nezralost (TRL), pak se jako nejvhodnější jeví amoniak. Ten má vysokou energetickou hustotu a ve srovnání s ostatními deriváty vodíku nejmenší energetické ztráty. V případě ČR by se jednalo o transport vodíku ze zámoří při kombinaci přepravy amoniaku lodí a po vykládce a krakování, poté plynného vodíku potrubím. Podrobnější vhlad do nákladových rozdílů přepravy vodíku a jeho derivátů poskytují obrázek 13 a obrázek 14.

Obrázek 14: Náklady na přepravu a konverzi vodíku



Zdroj: Staiss et al 2022: 39

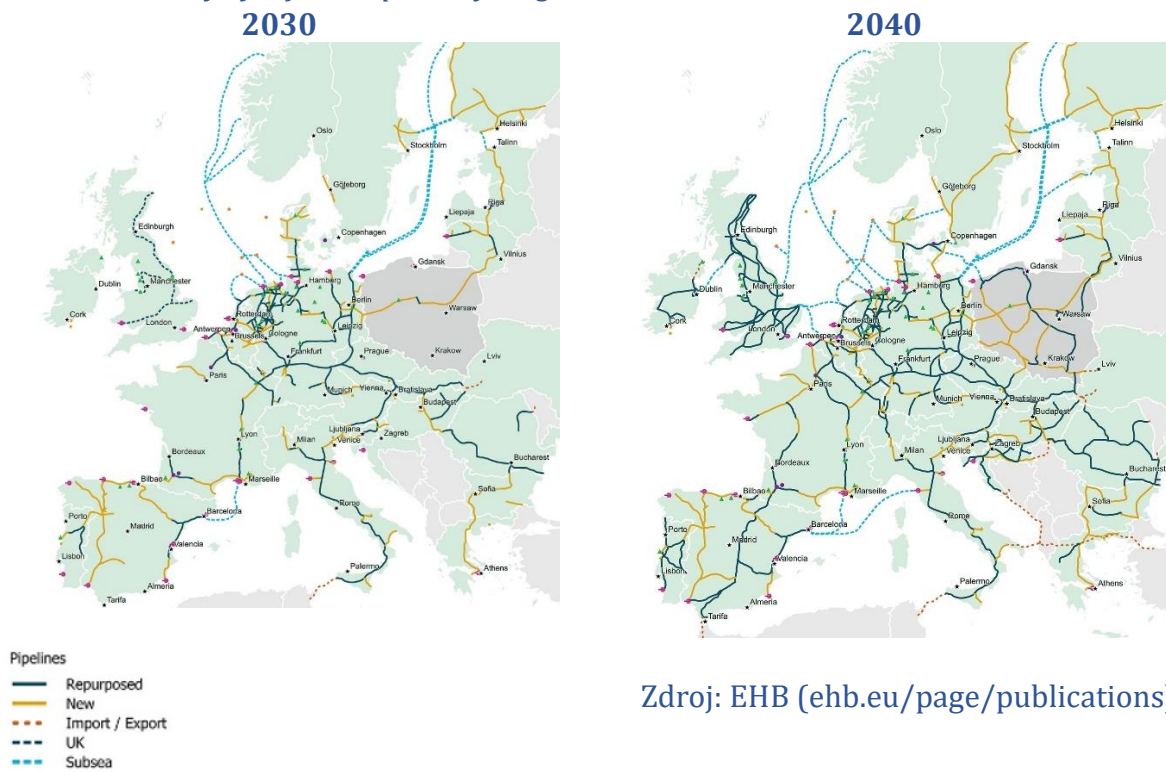
Pomocí metaanalýzy sedmi vybraných studií jsme stanovili nejnižší a nejvyšší náklady na přepravu vodíku (Tabulka 5). Tyto náklady pro nás budou složít jako východisko pro výpočet jednotlivých scénářů dovozu vodíku do ČR.

Tabulka 5: Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů v roce 2030 (započítané jsou ztráty při konverzi, nezapočítané jsou tranzitní poplatky)

Komodita	Druh přepravy	€/kg na 1000 km	€/kg na 10000 km
Plynný H ₂	nový vodíkovod Ø 48 palců	0,21 – 0,30	1,0 (2000 km)
Plynný H ₂	přestavený plynovod	0,12 – 0,14	
Amoniak	tanker	1,70 – 3,00	2,0 – 5,0
LH ₂	tanker	1,50	2,0 – 5,0
LOHC	tanker	1,60	2,0 – 5,0

Zdroj: metaanalýza zdrojů uvedených v úvodu

Obrázek 15: Plány vývoje European Hydrogen Backbone



Zdroj: EHB (ehb.eu/page/publications)



5. Dovošní scénáře pro ČR

Tato kapitola předkládá pět dovošních scénářů, na jejichž příkladu analyzuje náklady na dovoz. Jak jsme uvedli výše, geopolitická a bezpečnostní rizika jako např. pravděpodobnost politického převratu, vypuknutí občanské války či útoky pirátů a teroristů nehodnotíme. Je nicméně nutné zdůraznit, že tyto hrozby jsou u řady zemí a přepravních tras reálné.⁵²

Vzhledem k fyzicko-geografické poloze ČR a existující infrastruktuře můžeme při úvahách o dovozech vodíku do Česka uvažovat o třech dovošních variantách:

1. vodíkovody (přestavěné i nové);
2. kombinace lodní přepravy a vodíkovodu;
3. v případech, kdy amoniak či methanol budou spotřebovávány přímo, lze uvažovat i o kombinaci lodní a železniční (silniční) přepravy.

První varianta, tedy dovoz vodíkovody, bude využívána v případech, kdy obnovitelný vodík bude vyráběn v Evropě. **Kolem roku 2032-2035 bude pro dovoz připravena severozápadní větev EHB vedoucí z Nizozemska a severozápadního Německa do střední Evropy, v letech 2030 až 2032 by měla být dokončena severní větev vedoucí ze severovýchodního Německa do ČR.**⁵³ Stavební práce na některých trasách již začaly probíhat. Mezi lety **2030 až 2035** by měla být dokončena také **jižní větev** směřující z Itálie přes Rakousko do střední Evropy. Ve druhém a třetím případě, tj. scénáře, kdy bude kombinována lodní a další přeprava, se bude jednat o dovozy z mimoevropských teritorií nebo ze vzdálených okrajů Evropy. **Jako zdrojové země připadají pro ČR v období 2030 až 2035 v úvahu Norsko a Dánsko**, z mimoevropských destinací pak **Maroko a Alžírsko** (případně další země severní Afriky), **Saudská Arábie** a případně Kanada a východní pobřeží USA. I když někdy bývají jako potenciální dovošní destinace uváděny i Austrálie a Chile, je vzhledem ke vzdálenosti málo pravděpodobné, že by tyto dvě země měly kolem roku 2030 na evropských dovozech větší podíl. Za určitých okolností by se zdrojovou zemí mohla stát Namibie, s níž počítají nizozemské a německé dovošní plány. Role Namibie jako zdrojové destinace bude záviset na rychlosti rozvoje vodíkových projektů v zemi.

Česko se na dovoz obnovitelného vodíku již začalo připravovat, kromě aktualizace Vodíkové strategie se připravuje přestavba části plynárenské sítě (Net4Gas⁵⁴) a vláda již

⁵² Příkladem je zablokování Suezského průplavu v roce 2021 kontejnerovou lodí Ever Given, kdy téměř 370 lodí nabralo několikadenní zpoždění, útok na podmořský plynovod Nord Stream I. v roce 2023 nebo opakované raketové a další útoky na tankery a kontejnerové lodě páchané v roce 2024 jemenskými Húťí v Rudém moři.

⁵³ V dubnu 2024 byla schválena aktualizace německého zákona a energetickém hospodářství, která uvádí, že výstavba vodíkové sítě může trvat až do roku 2037. Další údaje o německé vodíkové síti včetně její mapy v roce 2032 viz FNB Gas (fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/).

⁵⁴ Viz Desetiletý plán rozvoje přepravní soustavy ČR 2025-2034 (www.net4gas.cz/cz/projekty/rozvojove-plany/).



uzavřela několik dohod s Německem o výstavbě přeshraničních interkonektorů.⁵⁵ V blízké budoucnosti bude Česko muset také řešit přístup k přístavním terminálům a přístavním skladovacím kapacitám a zahájit jednání o rezervaci příslušných kapacit v terminálech i na přepravních trasách. Jak jsme uvedli výše, v první fázi to budou terminály na severozápadní a severní větvi EHB.

Nákladová východiska pro jednotlivé scénáře jsou uvedena v tabulkách 6 a 7.

Tabulka 6: LCOH v potenciálních dovozních destinacích kolem roku 2030 (€/kgH₂)

Zdrojová destinace	Optimistický scénář	Pesimistický scénář
Norsko	3,00	4,09
Dánsko	1,90	5,53
Saúdská Arábie	1,63	4,67
Maroko	2,36	6,13
Alžírsko	3,51	7,25

Zdroj: metaanalýza zdrojů uvedených pro tabulku 4

Tabulka 7: Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů kolem roku 2030 (€/kg/1000 km)

Komodita	Druh přepravy	Optimistický scénář	Pesimistický scénář
Plynný H ₂	nový vodíkovod Ø 48 palců	0,21 ⁵⁶	0,30
Plynný H ₂	přestavěný plynovod	0,12 ⁵⁷	0,14
Amoniak	tanker	1,70	3,00
LH ₂	tanker	1,50	2,00
LOHC	tanker	1,60	2,00

Zdroj: metaanalýza sedmi studií uvedených v úvodu

Jako modelové příklady počítáme pět nejpravděpodobnějších dovozních scénářů:

- 1) dovoz vodíku z Norska prostřednictvím offshore a onshore vodíkovodů přes německé území,
- 2) dovoz vodíku z Dánska prostřednictvím onshore vodíkovodů přes německé území,

⁵⁵ MZV ČR, 31.1. 2024 (mzv.gov.cz/dresden/cz/obchod/inovativni_vodikove_projekty_v_sasku.html), MPO ČR, 11. 1.2024 (www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/sasko-a-ceska-republika-se-dohodly-na-dalsi-spolupraci-v-oblasti-vodiku--279184/).

⁵⁶ U vodíkovodu o průměru 20 palců jsou odhadovány náklady na přepravu 0,55 eur na 1000 km (Global Hydrogen Review 2024): 113.

⁵⁷ Náklady v ČR by mohly být cca o 10 centů nižší a pohybovat se kolem 0,11 eur na 1000 km. Této ceny lze podle Net4Gas v ČR dosáhnout proto, že většina plynovodů jsou nová zařízení, jejichž přestavba bude méně nákladná než přestavba starších západoevropských plynovodů. Druhým důvodem je pak skutečnost, že na území ČR nebude nutné budovat kompresorovou stanici na udržení tlaku v potrubí. Kompresorové stanice budou buď na německém, nebo na rakouském území. V této studii počítáme s náklady 0,12 eur, neboť před vstupem na české území bude vodík dopravován vodíkovody vyžadujícími vyšší investice.



- 3) dovoz vodíku v podobě amoniaku z Maroka přes nizozemské terminály, odkud bude po rekonverzi přepraven do Česka vodíkovodem přes Německo,
- 4) dovoz vodíku z Alžírsko prostřednictvím offshore and onshore vodíkovodů přes italské, rakouské a slovenské území,
- 5) dovoz vodíku v podobě amoniaku ze Saudské Arábie přes italský terminál v Ravenně, odkud bude po rekonverzi přepraven do Česka vodíkovodem přes italské a rakouské.

Do nákladů na přepravu není započítána doprava z místa výroby do přístavního terminálu, doprava po překročení české hranice, ani cla, daně nebo v případě amoniaku náklady na krátkodobé skladování v místě konverze. **Ve všech scénářích jsme počítali nejnižší možný nákladový scénář, tj. pracujeme s náklady uváděnými jako optimistický scénář.** Jako základní sazbu pro 1 kg vodíku jsme využili 0,12 € na 1000 km u přestavěného vodíkovodu⁵⁸ a 0,21 € na 1000 km u nového vodíkovodu. Při přepravě přes německé území jsme počítali 60 % nákladů jako přepravu přestavenými plynovody a 40 % nákladů jako přepravu novými vodíkovody (FNB Gas, červenec 2024), při přepravě přes italské a rakouské území pak poměr 70 % přestavěné plynovody a 30 % nové (Snam 2024). U přepravy amoniaku jsme počítali se sazbou 1,7 €/kg na 1000 km. Tato částka zahrnuje i náklady na výrobu amoniaku v zemi původu a krakování v cílové destinaci.

5.1 Scénář 1: Dovoz vodíku z Norska

Norsko aktivně buduje vodíkové výrobní kapacity a vláda plánuje, že vývoz obnovitelného vodíku a jeho derivátů by měl tvořit jeden z pilířů norské obchodní politiky (DNV 2023).⁵⁹ Norsko bude dobře propojené vodíkovody s celou oblastí severozápadu Evropy. Pro výstavbu přímého německo-norského propojení (projekt H2T) již existuje studie proveditelnosti. A existují i plány na propojení mezi Norskem, Spojeným královstvím, Dánskem, Belgií a Nizozemskem a také projekty na výrobu vodíku přímo v Severním moři, ve větrných offshore parcích. Energie z větrných turbín se bude přímo na moři využívat k elektrolýze a vodík bude potrubím (projekt Aquaductus) dopravován na pevninu. Tento projekt se stal v roce 2024 jedním z tzv. IPCEI projektů.⁶⁰ V provozu by měl být v roce 2035. Plánuje se také propojení potrubí Aquaductus s Norskem a Spojeným královstvím. Bude sloužit jako spojovací bod, kde se mohou sbíhat další podmořské plynovody v Severním moři. V Německu bude potrubí ústít v oblasti Wilhelmshavenu, kde se napojí na potrubní síť H2ercules.

⁵⁸ Pro české území uvádí Net4Gas sazbu 0,11 € na 1000 km. Důvodem nižších nákladů pro české území je novost plynovodů, tudíž potřeba nižších investic do přestavby, a fakt, že v ČR nebude třeba budovat kompresorové stanice, ty budou na území Rakouska a Německa (Net4Gas, osobní komunikace, září 2024).

⁵⁹ Srovnej např. Business Norway (businessnorway.com/articles/norway-poised-to-lead-green-hydrogen-market), RWE (www.rwe.com/en/research-and-development/project-plans/hydrogen-pipeline-in-the-north-sea/) nebo Equinor (www.equinor.com/magazine/clean-hydrogen-to-europe).

⁶⁰ AquaDuctus (aquaductus-offshore.de).



Pro dovoz vodíku z Norska přicházejí kolem roku 2030 v úvahu dvě trasy⁶¹ (spojení Kolín – Waidhaus/Rozvadov by mělo být podle FNB Gas dokončeno v roce 2032):

- První trasa (Scénář 1A) začíná v terminálu Kollsnes (NOR) odkud povede nový podmořský vodíkovod (730 km) kopírující trasu existujících plynovodů Europipe II a Statpipe. Na německé území vstupuje vodíkovod v přístavních interkonektorech Dornum nebo Wilhelshaven s tím, že přeprava dále probíhá vodíkovody sever-jih až do Kolína a odtud západovýchodní trasou kopírující plynovod Magal do hraničního bodu Waidhaus/Rozvadov.
- Druhá trasa (Scénář 1B) začíná v terminálu Kollsnes (NOR) odkud povede nový podmořský vodíkovod (950 km) přes podmořské křížení Draupner S/E kopírující trasu plynovodů Zeepipe II B a Europipe. Na německé území vstupuje vodíkovod v přístavních interkonektorech Dornum nebo Wilhelshaven s tím, že přeprava dále probíhá vodíkovody sever-jih až do Kolína a odtud západovýchodní trasou kopírující plynovod Magal do hraničního bodu Waidhaus/Rozvadov.

Spojení Kollsnes (NOR) a Dornum/Wilhelmshaven (GER) počítáme jako nový plynovod, neboť studie proveditelnosti realizovaná norským Gassco a německý FNB Gas počítá s výstavbou nového vodíkového spojení. V některých úvahách a německo-norských jednáních se však objevuje i návrh na přestavbu plynovodu Europipe.

Náklady na přepravu vodíku z Norska do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)	
Trasa 1A: Kollsnes (NOR) – Dornum/Wilhelmshaven (GER) (kopíruje trasu plynovodů Europipe II a částečně Statpipe) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu MAGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ)	Náklady na přepravu 1 kg H ₂
Kollsnes- Dornum/Wilhelmshaven: nový offshore vodíkovod 730 km	
Dornum – Waidhaus: 950 km /60 % repurposed plynovod, 40 % nový vodíkovod	
570 km repurposed + 1100 km nový vodíkovod → 0,0684 €/kg + 0,231 €/kg	0,30 €
Trasa 1B: Kollsnes (NOR) přes Draupner S/E – Dornum/Wilhelmshaven (GER) (kopíruje trasu plynovodů Zeepipe II B a Europipe) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu MAGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ)	
Kollsnes – Dornum/Wilhelmshaven přes Draupner S/E: nový offshore vodíkovod 950 km	
Dornum – Waidhaus: 950 km /60 % repurposed plynovod, 40 % nový vodíkovod	
570 km repurposed + 1330 km nový vodíkovod → 0,0684 €/kg + 0,2793 €/kg	0,35 €

Ve scénáři 1 se v případě trasy 1A a 1B dovozní náklady pohybují v rozmezí 0,30-0,35 €/kg (viz tabulka níže). Přičteme-li k tomu LCOH 3,00-4,09 €/kg (Tabulka 6) pak by

⁶¹ Technické a geografické údaje o norské plynárenské soustavě byly získány z interaktivní mapy Gassco (map.gassco.eu/map), údaje o německé plynárenské soustavě byly získány z desetiletého plánu FNB Gas (Netzentwicklungsplan 2022-2032, FNB Gas; fnb-gas.de/wp-content/uploads/2022/07/2022_07_06_NEP-Gas-2022-2032-Zwischenstand.pdf).



se při dovozu obnovitelného vodíku z Norska do ČR cena v roce 2030 pohybovala pro trasy 1A a 1B minimálně v rozmezí 3,30 až 4,44 €/kg.⁶²

5.2 Scénář 2: Dovoz vodíku z Dánska

Druhou potenciální zdrojovou destinací pro dovozy obnovitelného vodíku do ČR by mohlo být Dánsko. To aktivně buduje vodíkové výrobní kapacity a jako jedna z prvních zemí EU uspořádalo národní vodíkovou aukci. Jak jsme uvedli v případové studii výše, Dánsko bude napojeno na vodíkové projekty v Severním moři (Aqueductus). Další dánské plány počítají s propojením dánských vodíkovodů s oblastí Baltského moře. Plánují se dvě centrální trasy: trasa přes pevninu z Finska přes pobaltské státy a Polsko a offshore trasa přes Baltské moře do Německa a Dánska. Ústředními projekty jsou zde seversko-baltský vodíkový koridor a vodíkový kolektor v Baltském moři, který zahrnuje také využití větrného potenciálu Baltského moře na moři prostřednictvím tzv. energetických ostrovů. Nedávno byly zveřejněny podrobnosti o německo-dánské dohodě o energetické spolupráci, která mj. uvádí, že obě země by měl propojit vodíkovod nejpozději do roku 2028. Hlavním spojením by měl být vodíkovod z Jutského poloostrova (Danish Backbone West) do Šlesvicko-Holštýnska.

Podle plánů FNB Gas zveřejněných v červenci 2024 by spojení Dánsko – Německo – Česko přes severovýchod Německa (Ellund – Brémy – Magdeburg – Berlín – Drážďany – Deutschneudorf/CZ) mělo být dobudované v roce 2031. Pro účely dovozního scénáře roku 2030 jsme modelovali právě tuto cestu, která by měla být dokončená o rok dříve, než spojení Wilhelmshaven – Kolín – Bavorsko (Waidhaus/Rozvadov).

Ve scénáři 2 se dovozní náklady pohybují kolem 0,233 €/kg. LCOH by v Dánsku měla kolem roku 2030 dosahovat 1,9-5,53 €/kg (Tabulka 6), pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku z Dánska do ČR pohybovala cena v roce 2030 minimálně na úrovni mezi 2,13 až 5,76 €/kg.**

Náklady na přepravu vodíku z Dánska do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)	
Trasa: Jutský poloostrov, Aalborg (DK) (Danish Backbone West) – Ellund (DK/GER) (Hyperlink 3) – Brémy – Walsrode – Magdeburg (kopíruje trasu plynovodu Magal) – Bobbau – Berlín – Drážďany (kopíruje trasu plynovodů Eugal/Opal) – hraniční bod Deutschneudorf/VIP Brandov (CZ)	Náklady na přepravu 1 kg H ₂
Jutský poloostrov - Ellund: nový vodíkovod 550 km	
Ellund – Deutschneudorf: 750 km /60 % repurposed plynovod, 40 % nový vodíkovod	
450 km repurposed + 850 km nový vodíkovod → 0,054 €/kg + 0,179 €/kg	0,233 €

⁶² Studie DNV (van Wingerden et al 2023), která počítala trasu dovoz obnovitelného vodíku z větrných farem ze Severního moře do středního Německa a do ceny započítával i náklady na krátkodobé skladování vodíku uvádí jako LCOH na trase 4,69 – 4,97 €/kg.



5.3 Scénář 3: Dovoz vodíku z Maroka

Maroko získalo podporu několika evropských zemí (Německo, Nizozemsko) a zahájilo přípravu na výstavbu nových kapacit OZE a vodíkových výrobních kapacit včetně desalinizačních zařízení.⁶³ Vedle toho počítá s výrobou vodíkových derivátů včetně tzv. e-paliv (AHK 2024). I když má Maroko vhodné klimatické podmínky, je LCOH kolem roku 2030 odhadována na 3,2 €/kg. Vyšší cena je způsobena zejména vyšší WACC vyplývající z politických a bezpečnostních rizik a náklady na desalinizaci vody a zpracování zbytkového slané koncentráty. Kolem roku 2030 však ještě nebude dokončené potrubní spojení Maroko – Španělsko – centrální EHB. Informace, které přicházejí ze Španělska a Francie navíc indikují, že problémem nebude jen výstavba spojení Maroko – Španělsko, ale také propojení Španělska s EHB. Studie proveditelnosti ukázaly, že výstavba vodíkovodu přes Pyreneje je ekonomicky nepřijatelná a že jedinou možností propojení Španělska s Francií a dále s Německem a střední Evropou bude prostřednictvím podmořského vodíkovodu vedoucího z Barcelony do Marseille (BarMar). V případě transportní cesty Španělsko – Francie – Německo však do hry vstupují i další faktory: 1) Španělsko je hráčem s velkými ambicemi a velkou dynamikou, pokud jde o oznamování projektů, harmonogram výstavby vodíkovodů (H2med a BarMar) je však nejistý, neboť dosud nebyly dokončeny potřebné studie technické proveditelnosti a posouzení dopadů. Analýza navíc ukázala, že současné projekty elektrolýzy postačí výhradně na pokrytí místních průmyslových požadavků a podle Španělska jsou tyto projekty ve střednědobém horizontu prioritní (Scholtz et al 2024). 2) Ohledně výstavby vodíkovodu BarMar navíc panují neshody mezi Španělskem a Francií, což brzdí postup prací.

Dovoz vodíku z Maroka do EU tak bude v první fázi možný pouze lodí v podobě derivátů, případně LH2. Třetí dovozní scénář modelujeme jako dovoz amoniaku s využitím trasy Tanger (MAR) – Rotterdam (NLD), a dále s využitím vodíkovodu Rotterdam – Kolín (GER) – hraniční bod Waidhaus/Rozvadov.

Náklady na přepravu vodíku z Maroka do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)	
Trasa: Tanger (MOR) – Rotterdam (NIZ) – Zevanaar (NIZ) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu MAGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ) Kombinace vodíkovod a přeprava amoniaku lodí	Náklady na přepravu 1 kg H ₂
Amoniak lodí Tanger – Rotterdam: 1950 km	3,32 €
Rotterdam – Waidhaus: 870 km /60 % repurposed plynovod, 40 % nový vodíkovod 522 km repurposed + 348 km nový vodíkovod → 0,063 €/kg + 0,073 €/kg	0,136 €
	3,46 €

⁶³ Reuters, 11.2. 2024 (www.reuters.com/sustainability/morocco-dedicate-1-mln-hectares-green-hydrogen-projects-2024-03-11/).



Ve scénáři 3 se dovozní náklady pohybují kolem 3,46 €/kg. V roce 2030 by se LCOH v Maroku měla pohybovat v rozmezí 2,36-6,13 €/kg (Tabulka 6) a pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku z Maroka do ČR pohybovala cena v roce 2030 v rozmezí 5,82-9,59 €/kg.**

5.4 Scénář 4: Dovoz vodíku z Alžírsko

Alžírsko je vedle Maroka druhou severoafrickou zemí, se kterou se počítá v evropském dovozu obnovitelného vodíku. Alžírsko se objevuje jak v plánech Evropské páteřní vodíkové sítě, tak v plánech vodíkového dovozu jednotlivých evropských států. Že se s Alžírskem ve vodíku počítá dokládá např. vodíková pracovní skupiny, která vznikla mezi Alžírskem a Německem v únoru 2024. Obě země také uzavřely dohody o budoucích dodávkách alžírského vodíku do Německa.⁶⁴ Alžírsko ve svých vodíkových plánech i vodíkové strategii z roku 2024 deklaruje, že bude připraveno na velkoobjemový vývoz vodíku kolem roku 2040 s tím, že menší vývozní kapacity bude mít již mezi lety 2030 až 2035. V roce 2035 by se mělo jednat o 15 TWh, v roce 2050 o 100 TWh⁶⁵. Země se však potýká s podobnými obtížemi jako Maroko, kdy velká část elektrické energie je zatím generována z fosilních zdrojů. Přechod na výrobu obnovitelného vodíku tak bude vyžadovat urychlení výstavby OZE. Země deklaruje, že v roce 2035 bude schopna z OZE generovat 15 tisíc MW elektrické energie, což bude tvořit asi 30 % instalované kapacity.⁶⁶

Alžírské vývozní kapacity budou napojeny na vodíkovody SouthH2 a SunsHyne. Jedná se o kombinaci offshore a onshore potrubí vedoucího z Alžírsko přes Tunis a dále pod mořem do Itálie odtud do Rakouska a Německa nebo přes hraniční bod v Lanžhotu i do ČR. Vodíkovod bude dlouhý 3 300 km, přičemž 70-80 % bude tvořit přebudovaná infrastruktura zemního plynu.⁶⁷ Potenciál vodíkovodu je plánován na 4 miliony tun vodíku ročně.

Náklady na přepravu vodíku z Alžírsko do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)	
Trasa: Alžírsko (Arzew/Oran, Hassi R'Mel – Tunisko – offshore potrubí – Mazara-del Vallo (IT) – Messina – Gallese – Tarvisio (IT/AT) – Baumgarten (AT) – Lanžhot (CZ/SK) 3700 km	Náklady na přepravu 1 kg H2
Mazara-del Vallo – Lanžhot: 2200 km (85 % repurposed)	
Tunis – Arzew: 1200 km (70 % repurposed)	
Tunis – Mazara-del Vallo: 300 km (nový vodíkovod)	
Nové vodíkovody 990 km, repurposed 2710 km → 0,21 €/kg + 0,325 €/kg	0,535 €

⁶⁴ Spolkové ministerstvo hospodářství, 8. 2. 2024 (www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240208-germany-and-algeria-set-up-hydrogen-taskforce.html)

⁶⁵ Eichhammer et al 2024

⁶⁶ EU News, 24. 4. 2024 ([/www.eunews.it/en/2024/04/24/chabane-aprue-algeria-launched-maxi-investment-in-green-hydrogen-export/](https://www.eunews.it/en/2024/04/24/chabane-aprue-algeria-launched-maxi-investment-in-green-hydrogen-export/))

⁶⁷ SouthH2 Corridor (www.south2corridor.net)



Ve scénáři 4 se přepravní náklady pohybují kolem 0,54 €/kg. V roce 2030 by se LCOH v Alžírsku měla pohybovat v rozmezí 3,51-7,25 €/kg (Tabulka 6) a pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku z Alžírsku do ČR pohybovala cena v roce 2030 v rozmezí 4,05-7,79 €/kg.**

5.5 Scénář 5: Dovoz vodíku ze Saudské Arábie

Saudská Arábie chce být kolem roku 2030 jedním z největších světových producentů a vývozců obnovitelného vodíku. Mezi největší realizované projekty patří NEOM budovaný v Akabském zálivu. Již v roce 2026 by měl produkovat 600 tun obnovitelného vodíku denně.⁶⁸ V první fázi by měl být vyrobený vodík přepravován tankery prostřednictvím amoniaku. Rozvoj výroby obnovitelného vodíku a amoniaku bude závislý na schopnosti Saudské Arábie zvyšovat výrobu obnovitelné elektřiny. Podle dostupných údajů však tempo výstavby OZE začíná v zemi zpomalovat a zpoždění má i výstavba krakovacích zařízení, kde navíc zaostává i výzkum a vývoj řešení, která by zvýšila efektivitu krakování a snížila energetické ztráty (Scholtz et al 2024). Objevují se sice úvahy o výstavbě vodíkovodu z Kataru přes Saudskou Arábii, Egypt až do Řecka, jedná se však o projekt v perspektivě roku 2040. Cílovými destinacemi saudskoarabského amoniaku by měly být kolem roku 2030 Nizozemsko, Německo a Velká Británie. Uvedené státy však uvádějí, že jejich přístavní terminály budou na velkoobjemový obchod s amoniakem připraveny až kolem roku 2040. S ohledem na kapacity projektu a vysoký stupeň realizace, lze o Saudské Arábii, zejména projektu NEOM, uvažovat jako o potenciálním budoucím českém dodavateli. Nicméně s ohledem na technologický vývoj a výstavbu terminálů se bude jednat až o období 2035-2040.

V rámci scénáře dovoz amoniaku do ČR ze Saudské Arábie jsme počítali dvě přepravní cesty:

- Trasa 5A: Lodí z přístavu Oxagon (SA) do Ravenny (IT) a dále po zkrakování vodíkovodem do Baumgartenu (AT), Lanžhotu (SK) a Břeclavi (CZ). Plány na výstavbu vodíkové infrastruktury v italské Ravenně zatím nemají přesné kontury; v únoru 2024 zahájila firma Snam, která je provozovatelem energetické infrastruktury ravennského přístavu, průzkum budoucí vodíkové poptávky v Itálii, který se má stát podkladem pro případné vybudování vodíkového terminálu a dalších vodíkových zařízení.⁶⁹ Podle plánů EHB by terminál v Ravenně nebo alternativní terminál v jižní části Itálie měly být dokončeny v letech 2035-2040.

⁶⁸ NEOM (nghc.com).

⁶⁹ Offshore Energy, 5.2. 2024 (www.offshore-energy.biz/snam-gauging-market-interest-in-hydrogen-and-co2-transport-and-storage/) nebo Snam (fsruiitalia.it/ravenna/).



- Trasa 5B: lodí z přístavu Oxagon (SA) do Rotterdamu (NLD) a dále po zkrakování vodíkovodem přes Německo do hraničního bodu Waidhaus (GER)/Rozvadov (CZ).

Při výpočtech jsme v tomto scénáři do nákladů nezapočítávali poplatky za průplav Suezským kanálem; ty se v roce 2023 pohybovaly mezi 400 až 700 tisíc USD/lod'. Pro cestu Suezským kanálem je třeba vzít také úvahu, že jeho kapacita je omezena, a to jak na určitý počet lodí, tak jejich kapacitu. Tzv. Suezmax tankery mají max. 285 metrů na délku a 45 metrů na šířku. V současnosti je v provozu cca 570 tankerů Suezmax.⁷⁰ Celá oblast je navíc v poslední dekádě trvale pod tlakem somálských pirátů a hnutí povstalců z Jemenu.⁷¹

V pátém scénáři se při dovozu obnovitelného vodíku dostáváme na ceny pohybující se mezi 5,89 až 11,7 €/kg. Je zjevné, že přeprava amoniaku z Oxagonu (SA) do Rotterdamu (NLD) nedává ekonomicky smysl. Jediná smysluplná přepravní cesta je kombinace loď a vodíkovod s využitím terminálu v italské Ravenně případně jiného terminálu na italském pobřeží. LCOH se v Saudské Arábii bude kolem roku 2030 pohybovat mezi 1,63-4,67 €/kg. Pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku ze Saudské Arábie přes italskou Ravennu do ČR pohybovala cena v roce 2030 minimálně mezi 7,52 až 10,56 €/kg.**

Náklady na přepravu vodíku ze Saudské Arábie do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)

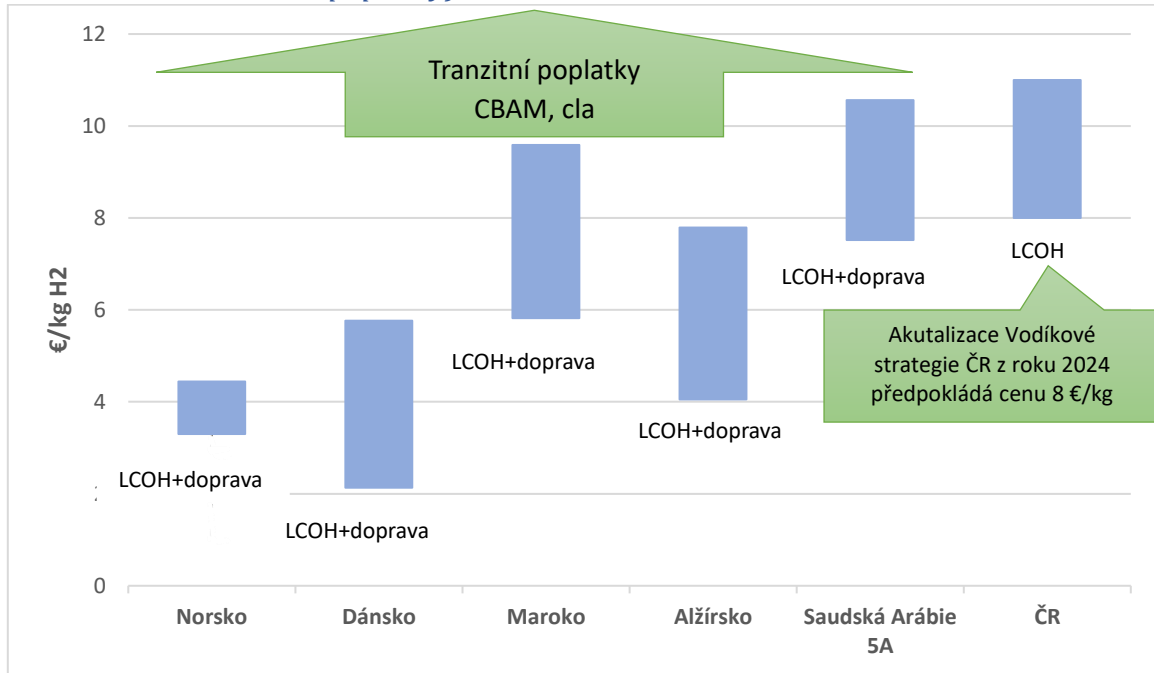
Trasa 5A: Sindalah/Oxagon NEOM (SA) – Suezský kanál – Ravenna (IT) – Flaibano – Tarvisio – Klagenfurt – Baumgarten (AT) – Lanžhot (SK) – Břeclav (CZ) Kombinace vodíkovod a amoniak lodí	Náklady na přepravu 1 kg H ₂
Amoniak lodí SA – Ravenna: 3400 km	5,78 €
Ravenna – Břeclav: 850 km /90 % repurposed plynovod, 10 % nový vodíkovod	
765 km repurposed + 85 km nový vodíkovod → 0,09 €/kg + 0,02 €/kg	0,11 €
	5,89 €
Trasa 5B: Sindalah/Oxagon NEOM (SA) – Suezský kanál - Rotterdam (NLD) – Zevanaar (NLD) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu MAGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ) Kombinace vodíkovod a přeprava amoniaku lodí	
Amoniak lodí Oxagon – Rotterdam: 6800 km	11,56 €
Rotterdam – Waidhaus: 870 km /60 % repurposed plynovod, 40 % nový vodíkovod	
522 km repurposed + 348 km nový vodíkovod → 0,063 €/kg + 0,073 €/kg	0,136 €
	11,7 €

⁷⁰ Podrobnosti viz DNV 2024, Strong outlook for the tanker market in 2024 (www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/strong-outlook-for-the-tanker-market-in-2024-and-beyond/).

⁷¹ IMF PortWatch (portwatch.imf.org/pages/573013af3b6545deaeb50ed1cbaf9444).

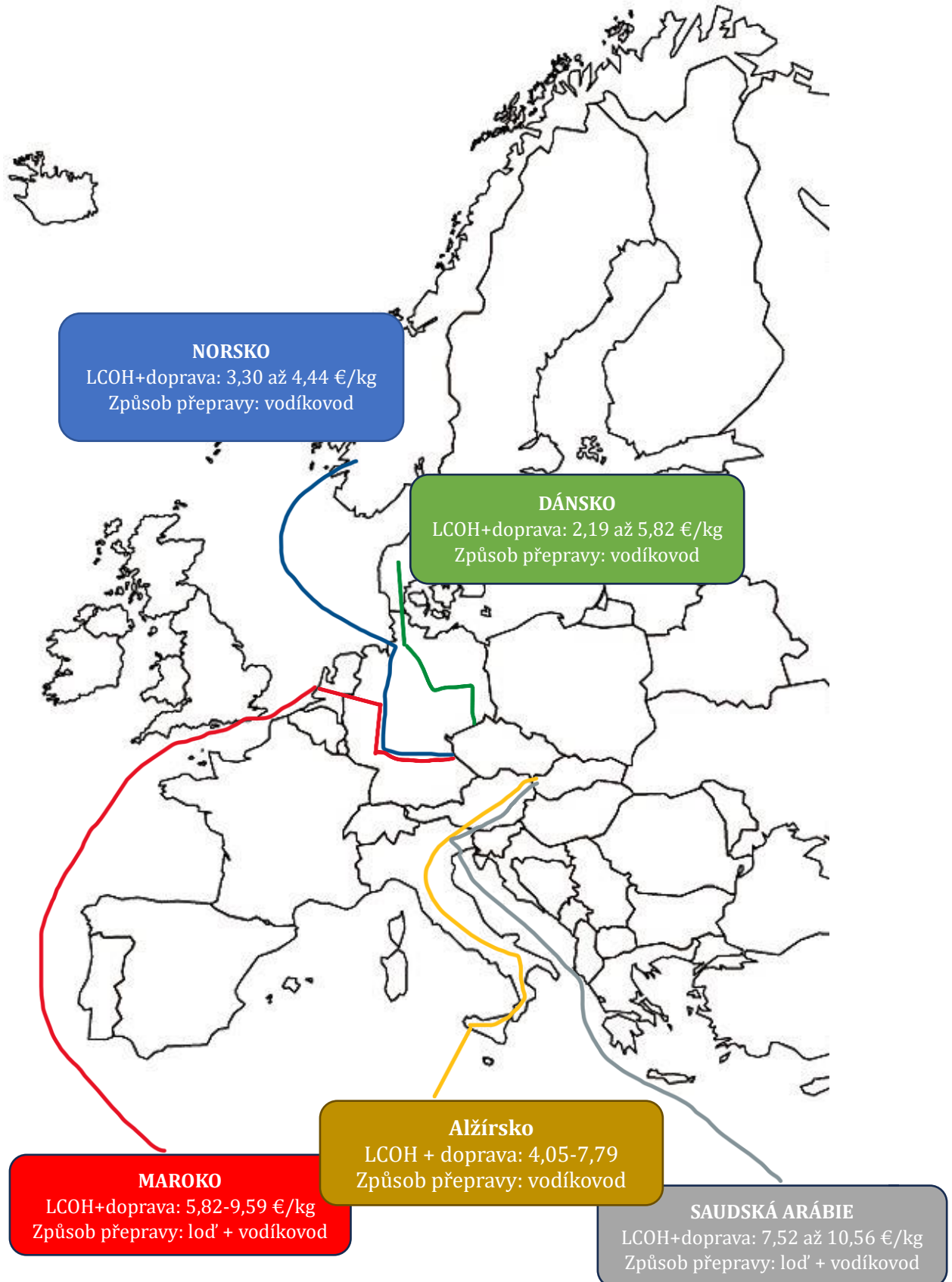


Obrázek 16: Srovnání nákladů dovozních scénářů kolem roku 2030 – optimistický scénář přepravních nákladů + LCOH optimistický i pesimistický scénář (bez nákladů na krátkodobé skladování, cla a tranzitní poplatky)



Zdroj: vlastní výpočty na základě údajů uvedených v této analýze

Obrázek 17: Dovoz obnovitelného vodíku do ČR kolem roku 2030. Pět scénářů





6. Závěry, diskuse a doporučení

Obchod s obnovitelným vodíkem a jeho deriváty bude v příštích letech hrát – obzvláště v Evropě – důležitou roli. Využití obnovitelného vodíku a jeho derivátů umožní evropským státům snížit emise skleníkových plynů a dosáhnout klimatických cílů, které si vytýčily. V současnosti je pouze malá část poptávky po vodíku a jeho derivátech pokryta obchody na mezinárodní úrovni, většina je uspokojována z domácích zdrojů. ČR i další státy dnes stojí před otázkou, zda obnovitelný vodík vyrábět na domácím trhu, nebo jej dovážet. Cílem této studie bylo zjistit, jaké má ČR možnosti a zda bude domácí výroba v případě rozvoje dovozu konkurenceschopná. Z naší analýzy vyplynulo **několik závěrů**:

- S ohledem na rozvoj technologických řešení přepravy, infrastruktury European Hydrogen Backbone, kapacit v evropských přístavech a výrobních kapacit vodíku jsou potenciálními dovozními destinacemi pro ČR kolem roku 2030 Norsko, Dánsko, Velká Británie, Španělsko a případně Saudská Arábie. Kolem roku 2035 by to pak mohly být i země severní Afriky, zejména Maroko a Alžírsko.
- Ekonomicky nejvýhodnější bude dovoz obnovitelného vodíku ze zemí severní a severozápadní Evropy, neboť z těchto oblastí povedou vodíkovody, z nichž jen část bude nově postavená a přepravní vzdálenosti výrazněji nepřesahují 1000 km. Výhodou dovozu ze severní a severozápadní Evropy není jen cena, ale i to, že se jedná o politicky a ekonomicky stabilní destinace, které jsou členy Evropského hospodářského prostoru a vztahují se na ně pravidla vnitřního trhu EU.
- Jako druhá myslitelná dovozní varianta se jeví dovozy ze severní Afriky a Blízkého východu. Scénáře ukázaly, že dovoz vodíku a jeho derivátů z Maroka a Alžírska je ekonomicky příznivější než dovozy za Saudské Arábie. Je nicméně třeba vzít v úvahu, že zatímco Maroko a Alžírsko ještě výstavbu vodíkových projektů nezačalo, zahájení výroby v Saudské Arábii by mělo dojít již v roce 2026. Všechny kroky, které podniká Saudská Arábie v rámci projektu NEOM, svědčí o tom, že daný termín bude dodržen.
- I když cena obnovitelného vodíku v místě výroby mimo EU bude klesat, náklady na dovoz budou cenu obnovitelného vodíku prodražovat. Při rozvoji domácí výroby nebudou dovozy ze vzdálenějších destinací (rádius nad cca 3500 km) dávat ekonomicky smysl. Dovozy z jižní Ameriky, jihu Afriky nebo Austrálie nelze v nejbližší dekádě považovat za konkurenceschopné vůči domácí výrobě v ČR.
- Do cen, za něž bude ČR kolem roku 2030 kupovat obnovitelný vodík a jeho deriváty na světové trhu, je třeba promítnout i náklady, které tato studie nemohla zahrnout, jako náklady na uhlíkové vyrovnání na hranicích, cla anebo poplatky za tranzit (Suezský kanál).
- Do ceny, za kterou by Česko mohlo kolem roku 2030 dovážet obnovitelný vodík, může v budoucnu vstupovat i skutečnost, že ČR zatím nemá uzavřené žádné předběžné dohody o odběru obnovitelného vodíku ze zahraničí a nemá uzavřená



ani memoranda o porozumění či jiné formy deklarací potvrzujících budoucí vztah výrobce a odběratele.

- Náklady na úpravu vodíku a jeho případnou (re)konverzi a na krátkodobé skladování vodíku a jeho derivátů nejsou závislé na vzdálenosti přepravy.
- Nejnižší jsou náklady na přepravu plynného vodíku potrubím na kratší vzdálenosti. Po dosažení určité vzdálenosti přestává být přeprava vodíku potrubím ve srovnání s přepravou derivátů vodíku, u nichž se vzdáleností náklady na přepravu rostou jen minimálně, konkurenceschopná. Přepravu potrubím prodražuje budování kompresorových stanic a výstavba nových vodíkovodů.
- V případě lodní přepravy budou jako nosiče vodíku využívány nejrůznější deriváty. Při nízkých cenách energie se na krátké vzdálenosti jako nejméně nákladná jeví přeprava vodíku ve zkapalněné podobě (LH2), při vysokých cenách energie ve zdrojových destinacích je nejvhodnějším způsobem přepravy vodíku amoniak. Ten má navíc vysokou energetickou hustotu a ve srovnání s ostatními deriváty vodíku nejmenší energetické ztráty.
- Náklady na dopravu může snížit pokles cen energií a významná technologická inovace zlevňující energeticky náročnou výrobu derivátů vodíku a jejich rekonverzi.

6.1 Doporučení

Ve vztahu k budoucímu dovozu obnovitelného vodíku do České republiky doporučujeme pět kroků:

- 1) **Pracovat na rozvoji evropské vodíkové přepravní infrastruktury se zacílením zájmu na severní a severozápadní Evropu, kde se koncentruje několik potenciálních dovozců** (vedle Norska a Dánska také Velká Británie /Skotsko/, Švédsko /jih/ či Estonsko) a kde se podmínky výroby obnovitelného vodíku jeví v perspektivě období 2032 až 2035 jako neoptimálnější (ceny OZE, nízká rizikovitost kapitálu, makroekonomická stabilita, pokročilost výstavby vodíkových projektů).
- 2) **S cílem posílit jistotu domácích spotřebitelů i energetickou bezpečnost ČR soustředit se na budování domácí výroby obnovitelného vodíku a takový rozvoj OZE a vodíkového sektoru, který povede ke snížení domácích výrobních nákladů.** Destinace jako Čile či Namibie sice mají relativně nízké LCOH, pokud k nim ale přičteme náklady na přepravu, pak cena kilogramu H₂ není výrazně nižší než LCOH v Česku kolem roku 2030. Zprávy o prodlužování termínů dostavby vodíkovodů v Německu a Nizozemsku (namísto roku 2032 rok 2037 resp. 2035) posilují význam rozvoje domácí výroby.
- 3) **Vnímat cenu vodíku a náklady na přepravu z určité destinace jako jedno z kritérií, které bude rozhodovat o dovozu z daného místa; i když tato studie**



nevěnuje pozornost bezpečnostnímu a geopolitickému vývoji, při úvahách o dovozu vodíku a jeho derivátů do ČR jej musíme brát v úvahu.

- 4) **Vytvořit základní pilíře vodíkové dovozní politiky** a zahájit zahraničně-politické kroky zajišťující bezpečnost vodíkového hodnotového řetězce a umožňující uzavřít předběžné dohody o odběru.
- 5) V souladu s vyjádřeními tzv. plynárenského balíčku **podporovat agregaci vodíkové poptávky členských států EU** a celounijní zajištění dovozu obnovitelného vodíku. To by mělo zahrnovat i jednání s Evropskou komisí o přípravě celounijní vodíkové dovozní strategie.



Zkratky

AIT	Rakouský technologický institut
BNEF	Bloomberg NEF
CAPEX	Kapitálové náklady
CBAM	Mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích
DVGW	Německé sdružení pro plyn a vodu
EHB	Evropská vodíková páteřní síť
EU	Evropská unie
H ₂	Čistý vodík v plynném stavu
CH ₃ OH	Methanol
IEA	Mezinárodní energetická agentura
IPCEI	Významné projekty společného evropského zájmu
IRENA	Mezinárodní agentura pro obnovitelnou energii
JAR	Jihoafrická republika
LCOH	Vyrovnané náklady na výrobu vodíku
LCOHT	Vyrovnané náklady na přepravu vodíku
LH ₂	Zkapalněný vodík
LNG	Kapalný (zkapalněný) zemní plyn
LOHC	Kapalné organické nosiče vodíku
LPG	Zkapalněný ropný plyn
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
Mt	Milion tun
MW	Megawatt
NH ₃	Amoniak (čpavek)
OEC	Observatoř ekonomické komplexnosti
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
OPEX	Provozní náklady
OZE	Obnovitelné zdroje energie
TU	Technická univerzita
TWh	Terawatthodina
VLGC	Velmi velký tanker pro přepravu plynu
WACC	Vážený průměr nákladů kapitálu
WITS	Světové integrované obchodní řešení



Zdroje

Abdelshafy, A., Lambert, M., & Walther, G. (2024): *MENA region as a potential hydrogen supplier for the European market: analysing a prospective route between Kingdom of Saudi Arabia and Germany*. Oxford Institute for Energy Studies.

Agora Industry (2024): *EU map of hydrogen production costs*. Model version 1.0, Berlin, 11.06.2024

Agora Industrie & TU Hamburg (2023): *Wasserstoff-Import optionen für Deutschland. Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf*.

AHK (2024): *Marokko. Wasserstoff aus Solar- und Windenergie*. Zielmarktanalyse 2024. AHK a BMWK.

Alhadhrami K., A. Albalawi, S. Hasan a A. M. Elshurafa (2024): *The Cost of Green Hydrogen Production in Saudi Arabia and Germany: A Model-Based Approach*. KAPSARC.

Alvarez and Marsal (2024): *Green hydrogen. India's opportunity for a strategic shift in global energy trade*.

AIT (Austrian Institute of Technology) (2023): *Zusatzbetrachtungen zur Studie Importmöglichkeiten fuer erneubaren Wasserstoff. Endbericht*. Projektteam: J. Kapeller, S. Reuter & P. Ortmann (www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/importmoeglichkeiten.html).

AIT (2022): *Importmöglichkeiten für erneuerbaren Wasserstoff*. Projektteam: J. Kapeller, S. Reuter & P. Ortmann (www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/importmoeglichkeiten.html).

Arrigoni, A., Dolci, F., Ortiz Cebolla, R., Weidner, E., D'agostini, T., Eynard, U., Santucci, V. & Mathieux, F. (2024): *Environmental life cycle assessment (LCA) comparison of hydrogen delivery options within Europe*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/5459, JRC137953.

Breitschopf, B.; Thomann, J.; Fragoso Garcia, J.; Kleinschmitt, C.; Hettesheimer, T.; Neuner, F.; Wittmann, F.; Roth, F.; Pieton, N.; Lenivova, V.; Thiel, Z.; Strohmaier, R.; Stamm, A. & Lorych, L. (2022): *Import von Wasser stoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer*. HYPAT Working Paper 02/2022. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.).

Burchardt, J., Hegnsholt, E., Holm, M., Klose, F., Ritter, D. & S. Schönberger (2023): *Turning the European Green Hydrogen Dream into Reality: A Call to Action*. White paper, Boston Consulting Group.

CE Delft, TNO. (2023): *Afnameverplichting groene waterstof*. Delft: CE Delft.

CIP Fonden (2023): *Markedsvurdering Danmarks muligheder i en fremtidig brintøkonomi* Marts 2023.



DNV (2023): Energy transition Norway 2023. A national forecast to 2050. Norsk Industri.

DNVGL (2022): *Hydrogen Forecast to 2050*. (<https://www.dnv.com/news/hydrogen-at-risk-of-being-the-great-missed-opportunity-of-the-energy-transition-226628>).

Eblé, L. a Weeda, M. (2024): *Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands Renewable Hydrogen Cost Element Evaluation Tool (RHyCEET)*. TNO.

ECHA (European Clean Hydrogen Alliance) (2023): *Learnbook. Hydrogen import to the EU market*. November 2023.

Eichhammer, W.; Müller, V. P.; Hadrich, M. J.; Riemer, M.; Boie, I. (2024): *Assessment and Analysis of the Power-to-X market and investment opportunities in Algeria*. Final project report. Karlsruhe/Freiburg: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI/Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.

EÚD (Evropský účetní dvůr) (2024): *Průmyslová politika EU v oblasti obnovitelného vodíku. Zvláštní zpráva*. (www.eca.europa.eu/cs/publications/SR-2024-11).

Galimova, T., M. Fasihi, D. & Ch. Breyer (2023): Impact of international transportation chains on cost of green e-hydrogen: Global cost of hydrogen and consequences for Germany and Finland. *Applied Energy* 347, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121369>.

Garcia G., E. Arriola, Wei-Hsin Chen, M.D. De Luna (2021): A comprehensive review of hydrogen production from methanol thermochemical conversion for sustainability, *Energy* 217, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119384>.

Giampieri A., J. Ling-Chin, A. P. Roskilly (2024): Techno-economic assessment of offshore wind-to-hydrogen scenarios: A UK case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, Part B, s. 589-617.

Goldman Sachs (2022): *Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution*. (<https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/gs-research/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution.pdf>).

Guidehouse (2023): *Onderzoek noodzaak rol overheid bij opschaling importketens voor waterstof*. Guidehouse Netherlands B.V.

Hydrogen Council & McKinsey (2023): *Global Hydrogen Flows - 2023 Update*. (<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/11/Global-Hydrogen-Flows-2023-Update.pdf>).

IEA (International Energy Agency) (2024): *Global Hydrogen Review 2024*. (www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024).

IEA (International Energy Agency) (2023): *Global Hydrogen Review 2023*. (<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>).



IEA (2024a): *Gas Market Report, Q2-2024*. International Energy Agency, Paris (<https://www.iea.org/reports/gas-market-report-q2-2024>).

IEA (2024b): *Northwest European Hydrogen Monitor 2024*. International Energy Agency, Paris (<https://www.iea.org/reports/northwest-european-hydrogen-monitor-2024>).

IRENA (2023): *Global Landscape of Renewable Energy Finance 2023*. (www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023).

Kerle, F., Herborn, M. & S. Prickett (2023): Cost reduction pathways of green hydrogen production in Scotland – total costs and international comparisons. *Climate Change*. <http://dx.doi.org/10.7488/era/3841>.

Merten, F. & Scholz, A. (2023): *Metaanalyse zu Wasserstoffkosten und -bedarfen für die CO₂-neutrale Transformation*. Wuppertal Institut.

Messaoudi, D., N. Settou, A. Allouhi (2024): Geographical, technical, economic, and environmental potential for wind to hydrogen production in Algeria: GIS-based approach, *International Journal of Hydrogen Energy* 50, Part B, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.263>.

Ortiz Cebolla, R., F. Dolci a E. Weidner (2022): *Assessment of Hydrogen Delivery Options. Feasibility of Transport of Green Hydrogen within Europe*. JRC Technical Report.

Ourya I., N. Nabil, S. Abderafi, N. Boutammachte, S. Rachidi (2023): Assessment of green hydrogen production in Morocco, using hybrid renewable sources (PV and wind). *International Journal of Hydrogen Energy*, 48: 96, s. 37428-37442,

Powell, D. (2012): Sahara solar plan loses its shine. *Nature* 491, <https://doi.org/10.1038/491016a>.

PWC (2023): *Připravenost ČR na vodíkové hospodářství*. www.spcr.cz/images/media/2024_vodik_v_CR_studie_long.pdf

Rikabi, R. (2024): *Green hydrogen imports into Europe: As assessment of potential sources*. The Oxford Institute for Energy Studies.

Shell (2023): *Shell Energy Future Scenario*. (The Shell Energy Security Scenarios asset | Shell Global).

Staiß, F.; Adolf, J.; Ausfelder, F.; Erdmann, C.; Hebling, C.; Jordan, T.; Klepper, G.; Müller, T.; Palkovits, R.; Poganietz, W.-R.; Schill, W.-P.; Schmidt, M.; Stephanos, C.; Stöcker, P.; Wagner, U.; Westphal, K.; Wurbs, S. & Fishedick, M. (2022): *Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030*. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, München, https://doi.org/10.48669/esys_2022-6.

Sukurova, N.; Wietschel, M.; Fragoso Garcia, J.; Müller, V. P.; Franke, K.; Kantel, A.; Graf, M.; Jalbout, E.; Pieton, N.; Abdel-Khalek, H.; Bergup, E. & Weise, F. (2023): *Ukrainian Hydrogen*



Export Potential: Opportunities and Challenges in the Light of the Ongoing War. HYPAT Working Paper 04/2023. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (ed.).

TransHyDe (2024): *European Hydrogen Infrastructure Planning. Insights from the TransHyDE Project System Analysis.* doi:10.24406/publica-2733.

Scholtz, A.; Merten, F.; Kroeger, J.; Pastowski, A. & Sebestián, J. (2024): *Perspektiven für die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Europa und für H2-Importe nach Deutschland.* Kurzstudie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V. (LEE NRW). Wuppertal Institut.

Staudt, Ch. (2023): *Wie kommt der Wasserstoff ins Land?* DVGW.

Staudt, Ch., Hofsaess, C., von Lewinski, B. & Moers, F. (2024): *Kurzstudie zur Transportoptionen von Wasserstoff.* DVGW-EBI.

Světová banka (2024): *Scaling Hydrogen Financing for Development.* Washington, D.C.: World Bank Group.

Tebibel, H., A. M'raoui and S. Menia (2023): *Levelized Cost of Hydrogen Analysis for Alkaline Water Electrolysis-Photovoltaic Energy Technology in The Near Future (2025–2050) of Algeria, 2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC),* Sousse, Tunisia, doi: 10.1109/IREC59750.2023.10389309.

van Wingerden, T., Geerdink, D., Taylor, C., & Claas F. Hülsen. (2023). *Specification of a European Offshore Hydrogen Backbone* [DNV Report]. DNV. aqueductus-offshore.de/wp-content/uploads/2023/03/DNV-Study_Specification_of_a_European_Offshore_Hydrogen_Backbone.pdf

Wietschel, M.; Weißenburger, B.; Wachsmuth, J. & Müller, V. P. (2024): *Was wissen wir über Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten und was lässt sich daraus für eine deutsche Importstrategie ableiten?* HYPAT Impulspapier Nr. 1/2024. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.)