

Dovoz obnovitelného vodíku do ČR: možnosti, náklady a výzvy

Importing Renewable Hydrogen into the Czech Republic: Opportunities, Costs and Challenges



H₂

Autor: Doc. Šárka Waisová, Ph.D.

Autorka působí v České vodíkové technologické platformě (HYTEP).

Souhrn:

Cílem tohoto článku je analyzovat a načrtnout, za jakých podmínek by ČR mohla dovážet obnovitelný vodík a jeho deriváty. Soustředíme se zejména na to, které země by mohly být zdrojem levného obnovitelného vodíku a připadaly by pro Česko v úvahu jako zdrojové destinace, a také na nákladovou stránku dovozu, to znamená, za kolik by ČR mohla obnovitelný vodík dovážet. Nákladovou stránku dovozu jsme demonstrovali prostřednictvím čtyř potenciálních scénářů: ČR–Norsko, ČR–Maroko, ČR–Alžírsko a ČR – Saúdská Arábie. Analýza ukázala, že ekonomicky nejvýhodnější bude dovoz obnovitelného vodíku ze zemí severní a severozápadní Evropy. Jako druhá myslitelná dovozní varianta se jeví dovozy ze severní Afriky. Je nicméně třeba vzít v úvahu, že v Maroku a Alžírsku ještě výstavba vodíkových projektů nezačala. Náklady prezentované v této studii jsou výsledkem optimistického scénáře, tedy jedná se o náklady minimální a dosažitelné při nejlepším možném vývoji.

Klíčová slova

vodík, dovoz, Česká republika, náklady na dovoz vodíku, překážky dovozu vodíku

Summary:

The aim of this article is to analyze and outline the conditions under which the Czech Republic could import renewable hydrogen and its derivatives. In particular, we will focus on which countries could be a source of cheap renewable hydrogen and could be considered as source destinations for the Czech Republic, as well as on the cost side of the import, i.e. for how much the Czech Republic could import renewable hydrogen. We have demonstrated the cost side of imports through three potential scenarios: Czech Republic – Norway, Czech Republic – Morocco, Czech Republic – Algeria and Czech Republic – Saudi Arabia. The analysis showed that it would be economically most advantageous to import renewable hydrogen from countries in northern and northwestern Europe. Imports from North Africa seem to be the second conceivable import option. However, it should be noted that the construction of hydrogen projects in Morocco has not yet started. The costs presented in this study are the result of an optimistic scenario, i.e. they are minimum costs and achievable in a best case scenario.

Key Words

hydrogen, import, Czech Republic, cost of hydrogen import, barriers to hydrogen import

Jednou z možností, jak může ČR snižovat emise, je využít obnovitelný vodík¹ a vytvořit dobře fungující vodíkový ekosystém. 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.

Každý potenciální uživatel obnovitelného vodíku však stojí před otázkou, zda je vodík dostupný a za jakou cenu. Studie z posledních let optimisticky predikovaly, že v krátké budoucnosti dojde nejen k rozvoji výroby obnovitelného vodíku, ale také k poklesu jeho ceny. Po vlně optimistických predikcí se ale začaly ozývat kritičtější hlasy, upozorňující že skutečné náklady na výrobu obnovitelného vodíku jsou vyšší, než se odhadovalo, a že pokles nákladů na výrobu obnovitelného vodíku je pomalejší, než se předpokládalo (například Burchardt et al 2023, Guidehouse 2023, Hydrogen Council 2023, EÚD 2024, Wietschel et al 2024, Světová banka 2024).

S ohledem na naplňování Zelené dohody pro Evropu a závazků vyplývajících z balíčku Fit for 55 poroste v ČR i v dalších zemích EU poptávka po obnovitelném vodíku. 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 bez vydatných 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). Česká republika patří k zemím, které nemají vydatné OZE. Na podzim 2023 výrobci obnovitelného vodíku v ČR uváděli, že v českých podmínkách zatím nelze dosáhnout lepší výrobní ceny než 8 až 12 eur za kg obnovitelného vodíku². Tato cena je jen obtížně konkurenceschopná, a to jak tváří v tvář vodíku vyráběnému z fosilních paliv, tak obnovitelnému vodíku vyráběnému v zemích s vydatnými OZE³. Výrobní cena, které jsme nyní schopni dosáhnout v ČR, tak vyvolává otázku, zda by Česko vůbec mělo rozvíjet vlastní výrobu obnovitelného vodíku, nebo jej spíše dovážet. U řady zahraničních destinací jsou totiž uváděné výrazně nižší výrobní ceny (srovnej Tabulka 2 níže).

Cílem tohoto článku je analyzovat a načrtnout, za jakých podmínek by ČR mohla dovážet obnovitelný vodík a jeho deriváty. Soustředíme se zejména na to, které země by mohly být zdrojem levného obnovitelného vodíku a připadaly by pro Česko v úvahu jako zdrojové destinace, a také na nákladovou stránku dovozu, zejména na to, za kolik by ČR mohla obnovitelný vodík dovážet. Abychom demonstrovali nákladovou stránku dovozu, představíme čtyři potenciální scénáře dovozu. Čtyři scénáře, se kterými pracujeme, představují samozřejmě jen výšeč budoucího

vodíkového trhu, s ohledem na rozsah tohoto textu však nemůžeme zařadit více tras a scénářů. Zde je třeba uvést, že text se soustřeďuje pouze na nákladovou stránku přepravy, nikoliv na analýzu výrobních cen v potenciálních zdrojových destinacích nebo na geopolitické a bezpečnostní překážky dovozu, které je samozřejmě v případě rozhodování „odkud dovážet“ potřeba brát v úvahu. Proto, aby čtenář získal představu o výsledné ceně dováženého vodíku, je samozřejmě nezbytné představit i výrobní ceny. Výrobní ceny obnovitelného vodíku ve vybraných destinacích představujeme v Tabulce 2. Ta mapuje jak ceny uváděné v příslušných destinacích v současnosti, tak predikce cen, kterých by mohlo být dosaženo v roce 2030.

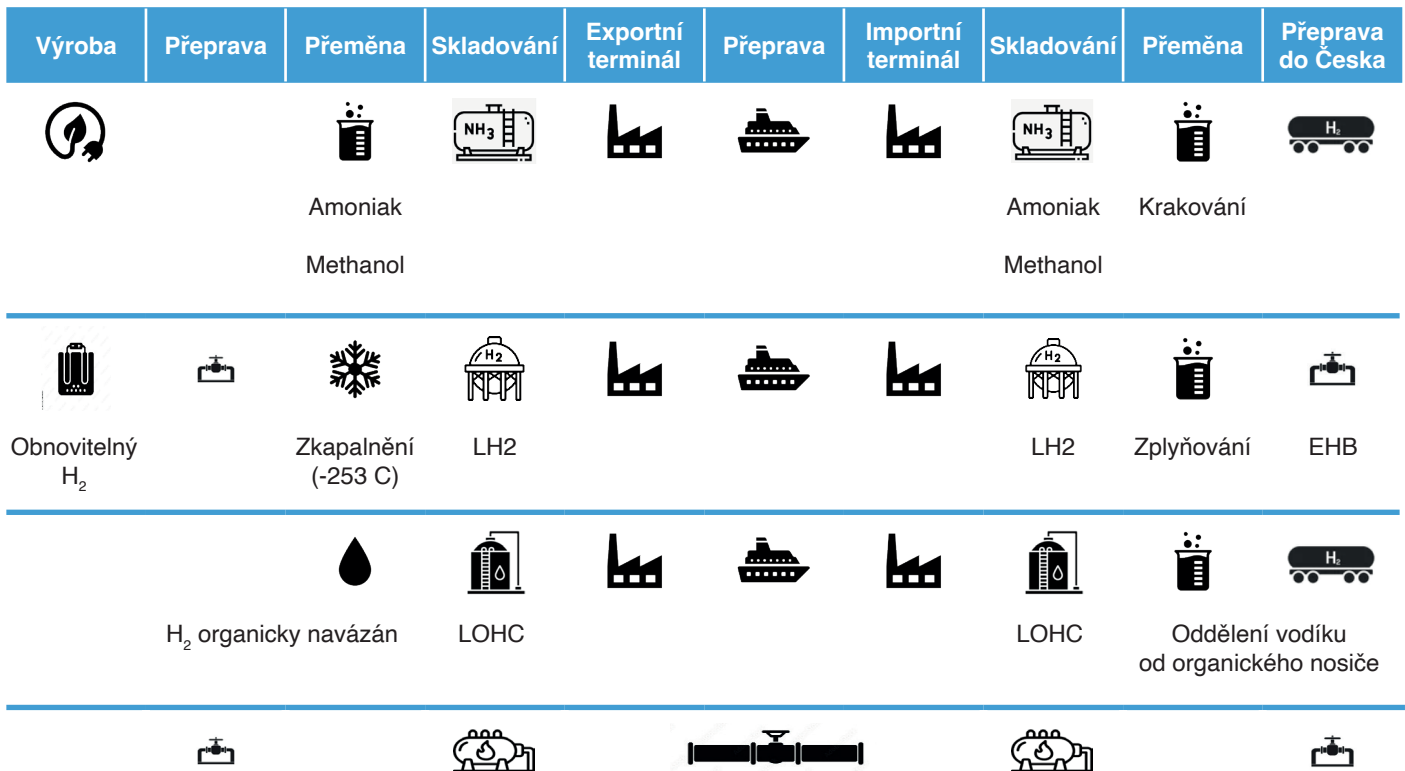
S ohledem na naplňování Zelené dohody pro Evropu a závazků vyplývajících z balíčku Fit for 55 poroste v ČR i v dalších zemích EU poptávka po obnovitelném vodíku.

Text je rozdělen na tři části. V první představujeme možnosti přepravy vodíku a jeho derivátů a zabýváme se náklady na přepravu; ty jsme určili pomocí metaanalýzy sedmi studií z let 2022 až 2024. Ve druhé části představujeme tabulku shrnující informace o cenách, kterých mohou dosáhnout výrobní obnovitelného vodíku ve vybraných evropských a mimoevropských destinacích, a zabýváme se potenciálními zdrojovými destinacemi, z nichž jsme pak vybrali čtyři – Norsko, Maroko, Alžírsko a Saúdskou Arábii. Kritériem výběru těchto zemí bylo, že ve všech uvedených případech je vysoká pravděpodobnost, že tyto země budou schopny obnovitelný vodík vyvážet: v současnosti deklarují zájem o vývoz a zahájily kroky k budování výrobních kapacit. Ve třetí části se zabýváme dovozem z uvedených destinací a představujeme čtyři dovozní scénáře, u nichž se zabýváme náklady vznikajícími na dovoz vodíku do ČR.

Možnosti přepravy vodíku a jeho derivátů a náklady na přepravu

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): potrubí pro přepravu plynného vodíku a tankery pro přepravu zkapalněného vodíku nebo kapalných derivátů (amoniak, methanol, kapalné organické nosiče vodíku, takzvané LOHC).

- 1) *Za obnovitelný vodík považujeme vodík vyrobený elektrolýzou za využití obnovitelných zdrojů energie (slunce, vítr atd.). V legislativě EU spadá do kategorie takzvaných obnovitelných paliv nebiologického původu (RFNBO).*
- 2) *Seznam Zprávy.cz, 27. 10. 2023 (www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-zeleny-vodik-na-startu-v-napajedlech-se-rozjel-prvni-komerčni-elektrolyzer-238931).*
- 3) *LCOH v jednotlivých destinacích viz například IEA Levelised Cost of Hydrogen Map (www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/levelised-cost-of-hydrogen-maps)*



Obrazek 1: Technologické možnosti dovozu vodíku (Zdroj: autorka)

Vodík není v současnosti ve větších objemech a na větší vzdálenosti přepravován, což znamená, že máme jen omezené praktické zkušenosti s náklady, které přeprava přináší. Naopak běžně obchodovány jsou amoniak a methanol. To znamená, že při úvahách o nákladech na přepravu u nich můžeme pracovat s údaji založenými na reálné zkušenosti. U ostatních možností, to znamená zkapalněný vodík, tekuté organické nosiče vodíku a plynný vodík potrubím na velké vzdálenosti, jsou náklady modelovány a počítány na základě současných cen, dostupných informací a predikcí vývoje. Je třeba ale zdůraznit, že ani sebelepší dnešní výpočty nemohou vzít v úvahu zítřejší technologické inovace nebo geopolitické události.

Vodík se na rozdíl od amoniaku a methanolu v současné době ve větších objemech a na větší vzdálenost nepřepřavuje, takže náklady na jeho transport počítány na základě současných cen, dostupných informací a predikcí vývoje.

Přepřavní náklady jsme zjišťovali prostřednictvím kvalitativní metaanalýzy sedmi vybraných studií. Jedná se o studie z let 2022 až 2024, které se soustřeďují na evropské podmínky a dovozy do Evropy a které již berou v úvahu změny (nárůst inflace či rizikovosti kapitálu), ke

kterým došlo na mezinárodním trhu a v domácích ekonomikách v post-covidovém období.

Korpusem pro získání metadat byly:

- 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 erneuerbaren Wasserstoff. Endbericht.* Projektteam: J. Kapeller, S. Reuter & P. Ortmann (www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/importmoeglichkeiten.html).
- GASSCO, studie proveditelnosti výstavby norskono- meckého vodíkovodu Kollsnes–Dornum z roku 2023 (gassco.eu/wp-content/uploads/2023/11/GER-NOR-Joint-feasibility-study-report-Hydrogen-23_11_2023.pdf).
- 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.

Výsledky metaanalýzy shrnuje tabulka 1. Pokud uvažujeme o dovozu vodíku a jeho derivátů, značnou roli v nákladech hraje vzdálenost. Nejnižší náklady přináší přeprava plynného vodíku potrubím. Po dosažení určité

Pokud uvažujeme o dovozu vodíku a jeho derivátů, značnou roli v nákladech hraje vzdálenost. Nejnižší náklady přináší přeprava plynného vodíku potrubím. Po dosažení určité vzdálenosti však potrubní přeprava přestává být ve srovnání s přepravou „nepotrubní“ (tankery, vlaky) konkurenceschopná.

vzdálenosti však potrubní přeprava přestává být ve srovnání s přepravou „nepotrubní“ (tankery, vlaky) konkurenceschopná. Jak ukazuje obrázek 2, u derivátů vodíku náklady na přepravu se vzdáleností rostou pomaleji (toto neplatí pro přepravu zkapalněného vodíku, jeho přeprava je energeticky náročná, neboť po celou dobu přepravy musí být udržována teplota zkapalnění⁴). Přeprava vodíku potrubím na velké vzdálenosti vyžaduje větší množství kompresorových stanic, což přepravu prodražuje. Studie a modely se nicméně neshodují v tom, jaká vzdálenost je ekonomickou hranicí, do níž je potrubní přeprava nákladově konkurenceschopná. Některé studie (TransHyDe

2024: 29–31 či Galimova et al 2023: 12–15) uvádějí jako hranici 1400 km, další pak 6500 km (Ortiz Cebolla, Dolci a Weidner 2022), nebo dokonce 8000 km (Staudt et al 2024: 72). Z pohledu ČR však tato otázka není extrémně důležitá, neboť poloha Česka předurčuje, že k vodíkovým přístavním terminálům, které pro české dovozy přicházejí v úvahu, vzdálenosti nepřesahují ani nejvyšší uvedenou hranici, tedy 1400 km (nebo v případě jižního koridoru je tato hranice překročena jen o několik set kilometrů).

S ohledem na fyzickou geografii Česka bude při dovozu vodíku využívána potrubní přeprava plynného vodíku, v případě, že zdrojovými zeměmi budou mimoevropské státy, pak kombinovaná přeprava tanker–vodíkovod. Do budoucna se sice uvažuje o výstavbě vodíkovodu, vedoucího ze Saúdské Arábie přes Sinajský poloostrov do Středomoří, a o výstavbě podmořského vodíkovodu ze severu Afriky do Itálie, respektive Španělska, s dokončením těchto staveb se ale počítá až po roce 2035. Pro lodní přepravu se jako nejvhodnější jeví amoniak, neboť kromě toho, že je již běžně mezinárodně přepravován (byť v menším množství než bude vyžadovat budoucí vodíková transformace), má také vysokou energetickou hustotu a ve srovnání s ostatními deriváty vodíku u něj při (re)konverzi dochází k nejmenším energetickým ztrátám (Agora Industry 2024, Staudt et al 2024). První varianta, tedy dovoz vodíkovody, bude využívána v případech, kdy obnovitelný vodík bude vyráběn v Evropě nebo velmi blízkých regionech. Kolem roku 2030 bude pro dovoz připravena severní větev EHB, vedoucí z Dánska/Norska přes sever Německa do ČR, v roce 2032 severozápadní větev EHB, vedoucí z Nizozemska a severozápadního Německa do střední Evropy, a kolem roku 2032 až 2035 jižní větev EHB, vedoucí ze severní Afriky přes Itálii do střední Evropy (podmořská část vodíkovodu vedoucího z Tuniska do jižní Itálie by měla být dokončena až po roce 2035).⁵ Stavební práce na některých trasách již

4) Ke zkapalňování vodíku dochází při ochlazení na teplotu minus 253 stupňů Celsia.

Tabulka 1: Náklady na přepravu vodíku a jeho derivátů kolem roku 2030 (€/kg/1000 km) (započítané jsou náklady na re/konverzi, nezapočítané jsou tranzitní poplatky, cla či CBAM)

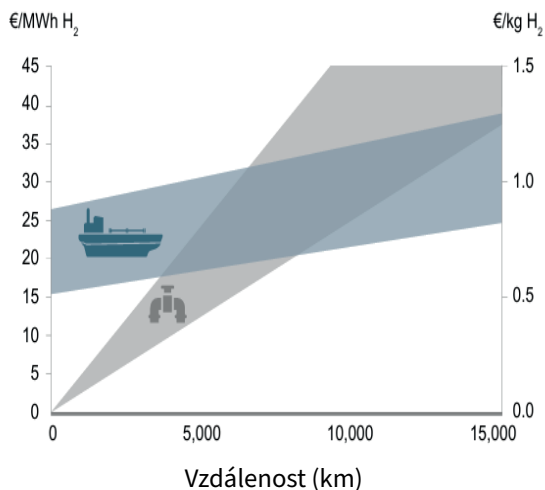
Komodita	Druh přepravy	€/kg na 1000 km	€/kg na 10000 km
Plynný H ₂	nový vodíkovod Ø 48 palců	0,21–0,30	1,0 (2000 km)
Plynný H ₂	přestavěný plynovod	0,12–0,14	
Amoniak	tanker	1,70–3,00	2,0–5,0
LH2	tanker	1,50	2,0–5,0
LOHC	tanker	1,60	2,0–5,0

Zdroj: metaanalýza zdrojů uvedených v úvodu

5) Další údaje o německé vodíkové síti včetně její mapy v roce 2032 viz FNB GAS (fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/).

začaly probíhat. V případě, kdy bude kombinována lodní a potrubní přeprava, se bude jednat o dovozy z mimoevropských teritorií nebo ze vzdálených periferií Evropy.

Obrázek 2: Zjednodušené srovnání nákladů na přepravu vodíku kolem roku 2030



Náklady počítány pro vodíkovod 1,2 m (48 palců), nový a přestavěný, 12,7 GW a 8 bar

Zdroj: Guidehouse 2023

Potenciální zdrojové destinace

Vývozní potenciál destinace určuje existence výrobních kapacit v daném místě, vůle vyvážet, výrobní cena, existence dopravní infrastruktury a náklady na přepravu.

Vývozní potenciál destinace určuje několik faktorů: 1) existence výrobních kapacit v daném místě, 2) vůle vyvážet, 3) cena, za kterou lze na daném místě vyrobit obnovitelný vodík, 4) existence přepravní infrastruktury a 5) náklady na přepravu (ty jsou určovány zejména vzdáleností mezi vývozcem a dovozcem a existujícími technologiemi). 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 za potenciální zdrojovou zemi považovat i Ukrajinu. Ze vzdálenějších destinací můžeme za potenciální zdrojové lokality považovat státy severní Afriky (Maroko, Alžírsko, Tunisko, Egypt), východní pobřeží Kanady a USA, Omán

a Saúdskou Arábií. Pokud by byla agregována poptávka na úrovni EU, jak avizuje takzvaný plynárenský balíček, mohla by být skupina zdrojových zemí pravděpodobně větší. Pro účely této studie budeme nicméně vycházet z toho, že ČR bude muset svoji poptávku po obnovitelném vodíku zajistit sama. Uvedené země však nejsou na stejném stupni vývoje výroby; zatímco země severozápadní Evropy již instalují elektrolyzéry a budují přepravní kapacity, země severní Afriky staví první testovací zařízení a velkokapacitní výrobu obnovitelného vodíku plánují až kolem roku 2035. Tabulka 2 shrnuje informace ohledně takzvaných vyrovnaných nákladů na výrobu obnovitelného vodíku (LCOH)⁶⁾ v destinacích, které připadají v úvahu jako dodavatelé obnovitelného vodíku do ČR (viz výše).

Dovozní scénáře pro ČR

Abychom ukázali, s jakými náklady bude muset ČR při dovozu kolem roku 2030 počítat, vybrali jsme čtyři potenciální zdrojové destinace, u nichž jsme vypracovali dovozní scénář:

1. Norsko: dovoz vodíku prostřednictvím onshore a offshore vodíkovodů
2. Maroko: dovoz vodíku tankerem prostřednictvím amoniaku s místem vstupu přes nizozemské terminály a dále po rekonverzi prostřednictvím vodíkovodů
3. Alžírsko: dovoz vodíku prostřednictvím onshore a offshore vodíkovodů
4. Saúdská Arábie: dovoz vodíku tankerem prostřednictvím amoniaku s místem vstupu 1. přes terminál v italské Ravenně a 2. přes nizozemské terminály, a dále po rekonverzi prostřednictvím vodíkovodů. V období kolem roku 2040 je možné na této trase již uvažovat o přesunu části přepravy do vodíkovodů, které jsou plánovány z oblasti projektu Neom přes Sinajský poloostrov na pobřeží Středozemního moře.

Kritériem pro výběr těchto čtyř scénářů byla skutečnost, že všechny jsou ve střednědobé perspektivě realizovatelné a lze na nich demonstrovat řadu faktorů, které dovoz vodíku do ČR bude muset řešit. Nákladová východiska jsou pro všechny scénáře stejná (Tabulka 1). Do nákladů na přepravu není započítána doprava z místa výroby do přístavního terminálu ve zdrojové destinaci, ani náklady na krátkodobé skladování v místě nakládky nebo krakování, cla, daně, uhlíkové vyrovnání na hranicích (CBAM) nebo tranzitní poplatky. Ve všech scénářích jsme počítali nejnižší možný nákladový scénář, tedy s náklady uváděnými jako optimistický scénář. Při výpočtech nákladů na přepravu přes německé území jsme počítali 60 % nákladů jako přepravu přestavěnými plynovody a 40 % nákladů jako přepravu novými vodíkovody. Tento poměr vychází z údajů desetiletého plánu výstavby vodíkové sítě FNB GAS, zveřejněné v červenci 2024. V případě rakouské

6) 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 (takzvaný CAPEX, zahrnují zejména nákup a instalaci elektrolyzérů a příslušných přílehlých zařízení jako elektrická a vodovodní přípojka či trafostanice), provozní náklady (takzvaný 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).

Tabulka 2: LCOH dnes a v roce 2030 ve vybraných destinacích (v €/kgH2)

	LCOH 2023	LCOH 2030			
	Různé zdroje	H2PyPSA	Aurora, 2022	Aurora, 2023, 2024	Další zdroje
Česko	8,0-12,0	3,78-4,53			8,0-11,0
Německo		3,0-4,5	3,2-4,2	3,90-5,0	
Nizozemsko	10,0-13,69	2,94	3,9-4,5		8,30
Rakousko		4,11			
Slovensko		4,84			
Norsko	5,53	3,47-4,09	3,0-3,3		
Španělsko		4,85-4,42	4,1-4,9	3,1	
Dánsko		2,07-2,62			3,7-4,7 1,9-5,53
Skotsko	7,82	3,62	3,9-5,8		4,74-5,93
Maroko	6,9			3,2	3,2 2,36-6,13
Alžírsko	4,5-5,0				3,51-7,25
Egypt	4,08				2,45
Saúdská Arábie	2,63				3,65-4,67 1,63 2,12-2,79
Namibie					3,98-4,97

a italské potrubní sítě jsme počítali poměr 90 % přestavěné plynovody, 10 % nové plynovody. Tento poměr vychází z údajů EHB a SNAM z roku 2024. U nákladů na přepravu amoniaku jsme počítali se sazbou 1,7 €/kg na 1000 km; ta zahrnuje i náklady na (re)konverzi, nezahrnuje náklady na krátkodobé skladování.

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).⁷⁾ Norsko bude dobře propojené vodíkovody s celou oblastí severozápadu Evropy již kolem roku 2030; existují plány i studie proveditelnosti na propojení mezi Norskem, Spojeným královstvím, Dánskem, Německem, Belgií a Nizozemskem a také projekty na výrobu vodíku přímo

v Severním moři v oblastech větrných offshore parků. 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 takzvaných projektů IPCEI.⁸⁾ 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. Další spojení povede do Dánska a Nizozemska.

Pro dovoz vodíku z Norska přicházejí kolem roku 2030 v úvahu dvě trasy⁹⁾ (spojení Kolín – Waidhaus/Rozvadov by mělo být podle FNB Gas dokončeno v roce 2032):

7) Srovnej například 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).

8) AquaDuctus (aquaductus-offshore.de).

9) 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).

Náklady na přepravu obnovitelného 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 MEGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ)	Náklady na přepravu 1 kg H ₂
Kollsnes – Dornum/Wilhelmshaven: nový offshore vodíkovod 730 km	
Dornum – Waidhaus: 950 km	
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 MEGAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ)	
Kollsnes – Dornum/Wilhelmshaven přes Draupner S/E: nový offshore vodíkovod 950 km	
Dornum – Waidhaus: 950 km	
570 km repurposed + 1330 km nový vodíkovod → 0,0684 €/kg + 0,2793 €/kg	0,35 €

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 Wilhelmshaven s tím, že přeprava dále probíhá vodíkovody sever-jih až do Kolína a odtud západovýchodní trasou, kopírující plynovod Megal 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 Wilhelmshaven s tím, že přeprava dále probíhá vodíkovody sever-jih až do Kolína a odtud západovýchodní trasou, kopírující plynovod Megal do hraničního bodu Waidhaus/Rozvadov.

Z výpočtů vyplývá, že by se cena vodíku při dovozu z Norska mohla v roce 2030 pohybovat v rozmezí 3,30 až 4,44 €/kg.

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

Z výpočtů v tabulce vyplývá, že v případě trasy 1A se budou přepravní náklady pohybovat kolem 0,30 €/kg H₂, u trasy 1B kolem 0,35 €/kg H₂. Přičteme-li k tomu

LCOH 3,00–4,09 €/kg (Tabulka 2), pak by 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.

Scénář 2: 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.¹⁰⁾ Vedle toho počítá s výrobou vodíkových derivátů včetně takzvaných e-paliv (AHK 2024). Ačkoli 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 slaného koncentrátu. Kolem roku 2030 však ještě nebude dokončené potrubní spojení Maroko – Španělsko – centrální EHB. Informace, které přicházejí ze Španělska a Francie navíc indikují, že problém 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 hráč 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

10) Reuters, 11. 2. 2024 (www.reuters.com/sustainability/morocco-dedicate-1-mln-hectares-green-hydrogen-projects-2024-03-11/).

Náklady na přepravu obnovitelného vodíku z Maroka do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)

Trasa 1: Tanger (MAR) – Rotterdam (NLD) – Zevanaar (NLD) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu MEGAL) – 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	
522 km repurposed + 348 km nový vodíkovod → 0,063 €/kg + 0,073 €/kg	0,136 €
	3,46 €

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.

Ve scénáři 2 se dovozní náklady pohybují kolem 3,46 €/kg H₂. V roce 2030 by se LCOH v Maroku měla pohybovat v rozmezí 2,36–6,13 €/kg (Tabulka 2), 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.

Scénář 3: Dovoz vodíku z Alžírsko

Při dovozu obnovitelného vodíku z Maroka do ČR by se pohybovala cena v roce 2030 v rozmezí 5,82–9,59 €/kg.

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 například vodíková pracovní skupina, která vznikla mezi Alžírskem a Německem v únoru 2024. Obě země také uzavřely dohody o budoucích dodávkách alžírského vodíku do Německa.¹¹⁾ Alžírsko ve svých vodíkových plánech i vodíkové strategii z roku 2024 deklaruje, že bude

Alžírský scénář počítá s cenou vodíku na začátku třetí dekády v rozmezí 4,05–7,79 €/kg

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 TWh¹²⁾. 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.¹³⁾

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 3300 km, přičemž 70–80 % bude tvořit přebudovaná infrastruktura zemního plynu.¹⁴⁾ Potenciál vodíkovodu je plánován na 4 miliony tun vodíku ročně.

Ve scénáři 3 se dovozní náklady pohybují kolem 0,54 €/kg H₂ obnovitelného vodíku. V roce 2030 by se LCOH v Alžírsku měla pohybovat v rozmezí 3,51–7,25 €/kg (Tabulka 2), a pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku z Alžírsko do ČR pohybovala cena v roce 2030 v rozmezí 4,05–7,79 €/kg.**

Scénář 4: Dovoz vodíku ze Saúdské Arábie

Saúdská 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

11) Spolkové ministerstvo hospodářství, 8. 2. 2024 (www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240208-germany-and-algeria-set-up-hydrogen-taskforce.html)
 12) Eichhammer et al 2024
 13) EU News, 24. 4. 2024 (www.eunews.it/en/2024/04/24/chabane-aprue-algeria-launched-maxi-investment-in-green-hydrogen-export/)
 14) SouthH2 Corridor (www.south2corridor.net)

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 H ₂
Mazara-del Vallo – Lanžhot: 2200 km (85 % repurposed)	
Tunis – Arzew: 1200 km (70 % repurposed)	
Tunis – Mazra-del Vallo: 300 km (nový vodíkovod)	
Nové vodíkovody 990 km, repurposed 2710 km → 0,21 €/kg + 0,325 €/kg	0,535 €

600 tun obnovitelného vodíku denně.¹⁵⁾ V první fázi by měl být vyrobený vodík přepravován tankery prostřednictvím amoniaku. Objevují se sice úvahy o výstavbě vodíkovodu z Kataru přes Saúdskou Arábii a Egypt až do Německa, jedná se však o projekt v perspektivě roku 2040. Cílovými destinacemi saúdskoarabského amoniaku by měly v roce 2026 být Nizozemsko, Německo a Velká Británie. S ohledem na kapacity projektu a vysoký stupeň realizace lze o Saúdské Arábii, zejména o projektu NEOM, uvažovat jako o potenciálním budoucím českém dodavateli.

V rámci tohoto scénáře jsme počítali dvě přepravní cesty:
 – Trasa 4A: 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.¹⁶⁾ Podle plánů EHB by terminál v Ravenně nebo alternativní terminál v jižní části Itálie měly být dokončeny v letech 2035–2040.

– Trasa 4B: 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 proplutí Suezským kanálem; ty se v roce 2023 pohybovaly mezi 400 až 700 tisíci USD/lodí. Pro cestu Suezským kanálem je třeba vzít také v úvahu, že jeho kapacita je omezena, a to jak pro určitý počet lodí, tak na jejich kapacitu. Takzvané Suezmax tankery mají maximálně 285 metrů na délku a 45 metrů na šířku. V současnosti je v provozu kolem 570 tankerů Suezmax.¹⁷⁾ Celá oblast je navíc v poslední dekádě trvale pod tlakem somálských pirátů a hutiiovských povstalců z Jemenu. V posledních měsících pak také súdánských warlordů a povstalců.¹⁸⁾

Ve čtvrtém scénáři se při dovozu obnovitelného vodíku dostáváme na ceny pohybující se mezi 4,11 až 5,14 €/kg H₂ za přepravu. Ačkoli je trasa ze Saúdské Arábie do Rotterdamu delší, pokud by byl vodík dopravován v podobě amoniaku, náklady na přepravu by nerostly nijak rapidně. LCOH se v Saúdské Arábii bude kolem roku 2030 pohybovat mezi 1,63–4,67 €/kg (Tabulka 2). Pokud k tomu připočteme náklady na dopravu, pak by se **při dovozu obnovitelného vodíku ze Saúdské Arábie přes italskou Ravennu do ČR pohybovala cena v roce 2030 mezi 6,77 až 9,81 €/kg**. Pokud se nepodaří v ČR snížit výrobní cenu obnovitelného vodíku, bude cena vodíku ze Saúdské Arábie kolem roku 2030 nižší nebo velmi podobná ceně v ČR.

Závěrem

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

Při dovozu obnovitelného vodíku ze Saúdské Arábie přes italskou Ravennu do ČR by se pohybovala cena v roce 2030 mezi 6,77 až 9,81 €/kg. Pokud se nepodaří v ČR snížit výrobní cenu obnovitelného vodíku, bude cena vodíku ze Saúdské Arábie kolem roku 2030 nižší nebo velmi podobná ceně v ČR.

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,

15) NEOM (nghc.com)

16) Offshore Energy, 5. 2. 2024 (www.offshore-energy.biz/snam-gauging-market-interest-in-hydrogen-and-co2-transport-and-storage/) nebo Snam (fsruitalia.it/ravenna/).

17) 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/).

18) IMF PortWatch (portwatch.imf.org/pages/573013af3b6545deae50ed1cbaf9444).

Náklady na přepravu vodíku ze Saúdské Arábie do ČR v r. 2030 (optimistický scénář)	
Trasa 4A: 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	4,00 €
Ravenna – Břeclav: 850 km	
765 km repurposed + 85 km nový vodíkovod → 0,09 €/kg + 0,02 €/kg	0,11 €
	4,11 €
Trasa 4B: Sindalah/Oxagon NEOM (SA) – Suezský kanál – Rotterdam (NIZ) – Zevanaar (NIZ) – Kolín (GER) – Gernsheim (GER) (kopíruje trasu plynovodu ME-GAL) – Waidhaus/Rozvadov (CZ) Kombinace vodíkovod a přeprava amoniaku lodí	
Amoniak lodí Oxagon – Rotterdam: 6800 km	5,00 €
Rotterdam – Waidhaus: 870 km	
522 km repurposed + 348 km nový vodíkovod → 0,063 €/kg + 0,073 €/kg	0,136 €
	5,14 €

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 z tohoto regionu je i jeho politická a ekonomická stabilita.

nebo jej dovážet. Cílem této studie bylo zjistit, jaké má ČR možnosti a jaké náklady vznikají při dovozu. Z naší analýzy vyplynuly tyto skutečnosti:

- 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 skutečnost, že se jedná o politicky a ekonomicky stabilní destinace, které jsou členy Evropského hospodářského prostoru a vztahují se na ně pravidla vnitřního trhu EU, a trhy, kde se podmínky výroby obnovitelného vodíku jeví v perspektivě období 2030 až 2035 jako nejoptimálnější (ceny OZE, nízká rizikovitost kapitálu, makroekonomická stabilita, pokročilost výstavby vodíkových projektů).
- Jako druhá myslitelná dovozní varianta se jeví dovozy ze severní Afriky a Blízkého východu. Scénáře ukázaly, že dovozy vodíku a jeho derivátů z Alžírka

a Maroka jsou ekonomicky příznivější než dovozy ze Saúdské Arábie. Je nicméně třeba vzít v úvahu, že zatímco Alžírsko a Maroko ještě výstavbu vodíkových projektů nezahájily (obě země deklarují, že velké objemy obnovitelného vodíku budou schopny vyrábět až kolem roku 2035), k zahájení výroby v Saúdské Arábii by mělo dojít již v roce 2026. Všechny kroky, které podniká Saúdská Arábie v rámci projektu NEOM, svědčí o tom, že daný termín bude dodržen. Je třeba vzít v úvahu, že byť je vzdálenost ze Saúdské Arábie do ČR delší, a to i při využití přepravní trasy přes Rotterdam, je cena dovezeného obnovitelného vodíku stále mírně nižší, než ceny dosažitelné při výrobě v ČR.

- Přestože 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 asi 7 tisíc km) dávat ekonomicky smysl. Dovozy z jižní Ameriky, jihu Afriky nebo Austrálie nelze v nejbližší dekádě považovat za konkurenceschopné proti dovozům ze severozápadní Evropy, severní Afriky či proti domácí výrobě v ČR, u níž očekáváme, že se kolem roku 2030 bude pohybovat kolem 8 €/kg H₂ (tuto cenu předvídá Vodíková strategie ČR, aktualizace z roku 2024).

Závěrem je třeba ještě konstatovat, že náklady, které jsme zde započítávali, vycházely z optimistického scénáře, který má za to, že ceny energií budou klesat a objem mezinárodního obchodu bude stoupat. Náklady, které jsme zde prezentovali, je tedy třeba vnímat jako minimální a dosažitelné při nejlepším možném vývoji. K uvedeným cenám je třeba dále připočítat cenu samotného vodíku a dále náklady

na uhlíkové vyrovnání na hranicích, cla nebo poplatky za tranzit. Přesto se ale dovoz obnovitelného vodíku z destinací nacházejících se v okolí EU (severní Afrika, Blízký východ), jeví jako ekonomicky výhodný.

Zdroje

- Agora Industry (2024): *EU map of hydrogen production costs. Model version 1.0*, Berlin, 11. 6. 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* (www.alvarezandmarsal.com/insights/green-hydrogen-indias-opportunity-strategic-shift-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).
- 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 Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer.* HYPAT Working Paper 02/2022. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.).
- Burchardt J., Hegnholt 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.
- 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.
- 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>.
- 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.
- Guidehouse (2023): *Onderzoek noodzaak rol overheid bij opschaling importketens voor waterstof.* Guidehouse Netherlands B.V.
- 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>.
- 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.
- PWC (2023): *Připravenost ČR na vodíkové hospodářství.* www.spcr.cz/images/media/2024_vodik_v_CR_studie_long.pdf
- 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.).
- 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.
- TransHyDe (2024): *European Hydrogen Infrastructure Planning. Insights from the TransHyDE Project System Analysis*. doi:10.24406/publica-2733.
- 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.
- 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.)



Doc. Šárka Waisová, Ph.D.

Doc. Šárka Waisová, Ph.D. se dlouhodobě zabývá mezinárodní politikou, geopolitikou mezinárodního obchodu a energetickou bezpečností. Přednášela na univerzitách v ČR, Maďarsku a na Tchaj-wanu. Je autorkou několika knih a desítky odborných článků. V současné době působí v HYTEP, kde se zabývá otázkami vodíkového vzdělávání, mezinárodní vodíkové spolupráce, vodíkovými strategiemi a v neposlední řadě dovozem vodíku.