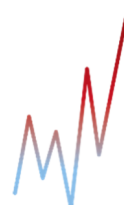




Role vodíku v zajištění energetické bezpečnosti ČR v kontextu dekarbonizace ekonomiky

Martin Madej, Jáchym Srb

KLIMATICKÝ PAPER Č. 10





OBSAH

Shrnutí	3
Doporučení	4
Seznam zkratk.....	6
Úvodík	7
1. Vodík: globální trendy	10
2. Nedostatek elektřiny z OZE pro smysluplnou akumulaci do vodíku.....	13
3. Vodík v hard-to-abate sektorech	16
4. Energetická bezpečnost ČR.....	22
Závěr.....	26
Příloha	27



Shrnutí

- Význam vodíku ve světě stoupá, protože umožňuje systémovou akumulaci elektrické energie a dekarbonizaci těžko elektrifikovatelných sektorů.
- Zelený (čili obnovitelný) vodík se vyrábí elektrolýzou napájenou z OZE. Přestože se náklady na výstavbu elektrolyzérů snižují, jejich ekonomický provoz si vyžaduje dostatečné množství přebytečné elektrické energie v síti po dostatečnou dobu. Takové přebytky elektřiny však v České republice výhledově nebudou. Ve střednědobém horizontu se ostatní formy akumulace jeví jako pro Českou republiku vhodnější.
- K dekarbonizaci ekonomiky bude v následujících desetiletích potřeba masivně elektrifikovat. Část těžkého průmyslu a těžké dálkové dopravy však lze elektrifikovat jen stěží. Zatímco fosilní paliva budou z těchto tzv. hard-to-abate sektorů vytlačována rostoucí cenou uhlíku, některé jejich alternativy, zejm. biopaliva, budou nadále čelit tvrdému ekologickému stropu. Přejít na vodík může být pro hard-to-abate sektory jedinou cestou, jak se udržet na trhu.
- Za situace, kdy Česká republika nemá a pravděpodobně nebude mít kapacity pro výrobu dostatečného množství nízkoemisního vodíku potřebného pro dekarbonizaci hard-to-abate sektorů, hrozí odliv části průmyslu do zemí s připravenou vodíkovou infrastrukturou.
- Česká republika by se proto měla soustředit na zajištění dostatečného importu nízkoemisního vodíku ze zahraničí a zajištění jeho distribuce po celém území vytvořením optimálního regulačního prostředí a vybudováním technické infrastruktury.
- Česká republika by se dále měla soustředit na podporu výzkumu, vývoje a sériové výroby vodíkových technologií s vysokou přidanou hodnotou.



Doporučení

Vládě České republiky

- V úzké spolupráci mezi státní správou, podniky, vědeckými a výzkumnými institucemi přesně identifikovat potenciál nízkoemisního vodíku pro českou ekonomiku.
- Přijmout kroky k optimalizaci vědeckého a podnikatelského prostředí pro výzkum a vývoj vodíkových technologií v České republice, zejména pokračujícím vypisováním veřejných soutěží (THÉTA), asistencí s administrací projektů způsobilých k podpoře z evropských fondů v rámci rozpočtu Next Generation EU, zkrácením patentového řízení a vyjednáváním zahraničních partnerství a odbytu přímo nebo prostřednictvím agentury CzechInvest.

Ministerstvu průmyslu a obchodu

- Upravit vodíkovou strategii tak, aby
 - reflektovala očekávané výpadky paliv, redukčních činidel a dalších vstupních složek v hard-to-abate sektorech na základě politických a ekonomických rozhodnutí spojených se snižováním emisí skleníkových plynů,
 - bylo jejím primárním cílem zajištění dostatečného importu nízkoemisního vodíku ze zahraničí a zajištění jeho distribuce po celém území vytvořením optimálního regulačního prostředí a vybudováním technické infrastruktury.
- Zpracovat vnitrostátní legislativní rámec pro trh s vodíkem, který definuje vodík jako energetický plyn a upraví pravidla pro jeho produkci a distribuci, jakož i vtláčení do plynárenské soustavy.
- Iniciovat u Českomoravské záruční a rozvojové banky zvláštní bezúročné úvěry pro vodíkové start-upy, spin-offy a odnože existujících technologických společností.
- Zasadit se v orgánech EU o co nejrychlejší přijetí legislativy harmonizující bezpečnostní, technické a výrobní standardy vodíku a vodíkové infrastruktury na evropské úrovni.



Českému statistickému úřadu

- V Programu statistických zjišťování na rok 2022 a roky následující
- Zařadit vodík mezi statisticky sledované komodity.
 - Uzpůsobit formulář vyžadovaný od ekonomických subjektů tomu, aby roční výkaz o spotřebě paliv a energie a zásobách paliv rozlišoval mezi spotřebou paliv a energie v hlavní výrobní činnosti (např. výroba papíru) a v ostatních činnostech (např. spotřeba energie k chlazení budovy, v níž probíhá výroba papíru).

Energetickému regulačnímu úřadu

- Zařadit vodík mezi statisticky sledované komodity.



Seznam zkratek

BOS – základní výroba kyslíkové oceli
CAPEX – kapitálové náklady
CCU – zachycení a využití vodíku
CCUS – zachycení, využití a uložení vodíku
CNG – stlačený zemní plyn
ETS – systém obchodování s emisními povolenkami (z angl. Emission Trading Scheme)
FVE – fotovoltaická elektrárna
GJ – gigajoule
GW – gigawatt
GWh – gigawatthodina
HRS – vodíková čerpací stanice (z angl. Hydrogen Refuelling Station)
JEDU – Jaderná elektrárna Dukovany
KTOE – tisíc tun ekvivalentu ropy
KWh – kilowatthodina
LCOE – sdružené náklady na výrobu elektřiny (z angl. Levelized Costs of Electricity)
LNG – zkapalněný zemní plyn
MJ – megajoule
MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
MTOE – milion tun ekvivalentu ropy
Mt – megatuny, miliony tun
MW – megawatt
OPEX – provozní náklady
OZE – obnovitelné zdroje energie
PJ – petajouly
PPP – Partnerství veřejného a soukromého sektoru
PEM – elektrolyzátor s polymerním membránovým elektrolytem
SMR – parní reformace methanu
TWh – terawatthodina
UK – Spojené království Velké Británie a Severního Irska
VTE – větrná elektrárna
VaV – výzkum a vývoj



Úvodík

Tento policy paper je publikován v období finálních úprav české vodíkové strategie vznikající pod kuratelou Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Cílem našeho textu je nabídnout alternativní přístup k otázce využití vodíku, založený na jiných východiscích, jiných cílech a jiném myšlenkovém postupu. Našimi hlavními východisky a cíli jsou nutnost dekarbonizace všech ekonomických sektorů, omezený potenciál OZE a požadavek udržení energetické bezpečnosti České republiky. Zatímco návrh MPO analyzuje **možnosti** ekonomicky efektivního využití vodíku v jednotlivých segmentech jeho hodnotového řetězce (od výroby přes dopravu po konečné využití), tento policy paper vychází z **imperativu** systémového nahrazení fosilních zdrojů udržitelnými alternativami, a to pokud možno nákladově efektivním způsobem. Nelze přitom dostatečně zdůraznit význam správného uchopení této „otázky vodíku“, neboť odpověď na ni neovlivní nic menšího než ekonomické postavení, klimatické cíle a dlouhodobou energetickou bezpečnost České republiky.

V současnosti se na světě ročně vyprodukuje cca 75 milionů tun vodíku¹, přičemž tato výroba spotřebuje cca 2 % celkové primární energie². Světová poptávka po něm se mezi lety 1980 a 2018 více než ztrojnásobila, avšak tento růst do jisté míry pouze kopíruje růst světové ekonomiky a neodráží strukturální posun směrem k většímu využití a výrobě vodíku.

Z pohledu **výroby** většina vodíku vzniká přeměnou fosilních paliv, a to především zemního plynu (76 %) a uhlí (23 %).³ Tyto výrobní postupy jsou zatíženy výraznou uhlíkovou stopou, jelikož na každý kilogram H₂ vyrobený prostřednictvím parní reformace zemního plynu (SMR) připadá v průměru 9 kg CO₂ a v případě výroby z uhlí celých 20 kg CO₂. Vztáhneme-li tato data na údaje o globální produkci, vychází, že v současnosti činí emise spojené s výrobou vodíku přeměnou fosilních paliv ročně cca 322 Mt CO₂ (uhlí) a 479 Mt CO₂ (zemní plyn), což dohromady zhruba odpovídá veškerým emisím UK a Indonésie. Současná produkce vodíku (tzv. šedého vodíku, viz Infobox 1) má tedy významný podíl na globálních emisích skleníkových plynů. Pouhá 2 % z globální produkce vodíku jsou v současnosti vyrobeny pomocí elektrolýzy,⁴ přičemž naprostá většina takto vyrobeného vodíku vzniká jako vedlejší produkt při výrobě chlorinu. Ačkoli se uhlíkové emise s ohledem na původ elektřiny napájející elektrolýzer mohou výrazně lišit, připadá na kilogram H₂ v současnosti 25 kg CO₂, alespoň pokud vycházíme z průměrného globálního energetického mixu.

¹ „Hydrogen Production and Uses,“ <https://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/hydrogen-production-and-uses.aspx>.

² Timur Gül et al. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Report prepared by IEA for G20 in Japan, 2019. s. 38.

³ Ibid.

⁴ Ibid, s. 37 a n.



Infobox 1: Barevné značení vodíku podle výroby

V praxi se ujal označování vodíku barvami podle způsobu výroby, jehož se tento text zčásti drží. Z chemického hlediska jde u všech „barev vodíku“ o totožnou látku, liší se pouze uhlíkovou intenzitou a technologickým postupem využitým při výrobě.

Zelený	Vodík vyrobený pomocí elektrolýzy, kde 100 % použité elektrické energie pochází z OZE (hydroelektrárny, FVE, VTE). Takový vodík považujeme za bezemisní.
Modrý	Vodík vyrobený transformací fosilních paliv (nejčastěji SMR), kde veškeré emise CO ₂ (nebo jejich část) jsou zachyceny a uloženy v geologickém podloží či dále využity (CCUS). Takový vodík je v závislosti na množství zachyceného CO ₂ považován za nízkoemisní či bezemisní, v případě SMR však považujeme za nutné počítat i s emisemi methanu vzniklými při těžbě, skladování a přepravě.
Tyrkysový	Vodík vyrobený pyrolýzou methanu, kde vedlejším produktem je uhlík v pevném skupenství, který nevstupuje do atmosféry. Uhlíková intenzita takového vodíku je závislá primárně na zdroji tepelné energie využitě pro pyrolýzu.
Šedivý	Šedivý vodík představuje sběrnou kategorii pro vodík vyrobený z fosilních paliv, nejčastěji parním reformingem zemního plynu (SMR). Takový vodík v současnosti zdaleka převažuje a je spojen s výraznými emisemi CO ₂ .
Další označení vodíku	Vodíkové strategie různých států, případně i odborná literatura dále využívá další označení vodíku podle způsobu výroby, která jsou většinou definována specificky pro účely té které publikace. Jde např. o „růžový“, „žlutý“ či „bílý“ vodík, dále „nízkoemisní“ a „bezemisní“ vodík, „čistý“ vodík či „obnovitelný“ vodík.

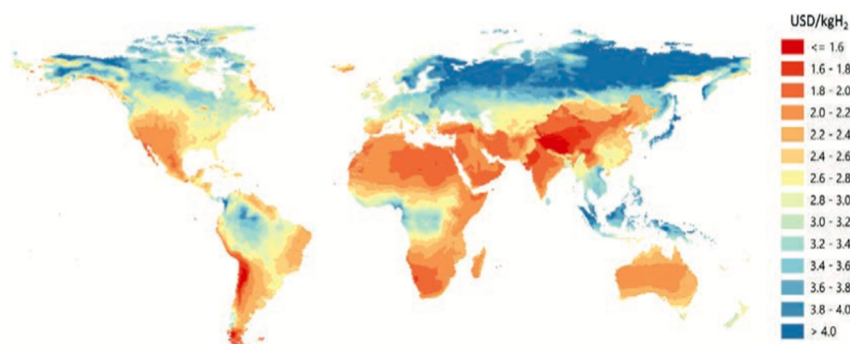
Většina současné **spotřeby** se soustředí v průmyslových sektorech, a to primárně v rafineriích (33 %), v nichž vodík vzniká jako vedlejší produkt výrobních procesů, při výrobě amoniaku (27 %) a methanolu (11 %). Vodík se dále využívá v kovohutích jako zdroj tepla a rovněž jako redukční činidlo (3 %).⁵

Časy se ovšem mění a vodík se dostává do větší pozornosti, a to již nikoli jen jako vstupní surovina pro rafinerie či pro syntézu amoniaku, ale jako svěbytná součást energetického mixu budoucnosti. Na straně výroby jde o posun k většímu využití elektrolýzy spojené se zapojením obnovitelných zdrojů energie, na straně spotřeby pak o rozšíření využití vodíku v sektorech, kde dosud dominovala fosilní paliva. Na tuto trajektorii dostávají vodík dvě souběžně působící síly (push a pull). První silou je stupňující se ekonomické zatížení emisí skleníkových plynů, ať již prostřednictvím „uhlíkových trhů“ s povolenkami, daňovou zátěží či přímou regulací uhlíkově intenzivních sektorů ekonomiky, které nutí ekonomické subjekty aktivní v těchto sektorech hledat technologické alternativy s nižšími emisními externalitami. Druhou silou je technologický vývoj týkající se nejen obnovitelných zdrojů elektrické energie, ale také elektrolyzérů, vodíkových článků či zařízení sloužících k transportu a skladování vodíku. Zatímco první síla způsobuje nárůst ceny spojené s využíváním „konvenčních“ zdrojů energie, druhá síla způsobuje pokles ceny nízkoemisní vodíkové alternativy. Právě v sektorech, kde se tyto dvě síly protínají, spatřujeme nejvyšší potenciál pro využití vodíku jako nástroje k dekarbonizaci.

⁵ Ibid, s.89 a n.



Tabulka 1: Cena nízkoemisního vodíku⁶⁷



Zdroj: IEA Future of Hydrogen report 2019.

	Modrý vodík⁸ projekce 2030	Zelený vodík⁹ krátkodobý/dlouhodobý odhad
EU	1,9 EUR/kg H ₂	3,4/2,6 EUR/kg H ₂
Regiony s nejlevnější produkcí	1,2 - 1,3 EUR/kg H ₂ (USA, Blízký východ)	2,6/1,3 EUR/kg H ₂ (Čína, Indie, Severní Afrika)
Určující složky cenových rozdílů	cena zemního plynu	cena elektřiny z OZE, intermitence OZE (koeficient ročního využití)
Potenciál	Převážně v průmyslových procesech (zpracování fosilních paliv), kde vodík vzniká jako vedlejší produkt - retrofitting technologiemi CCS	Nízké OPEX, v současnosti metoda výroby H ₂ s nejvyšším poklesem ceny, snížení CAPEX s úsporami z rozsahu a novými technologiemi zvyšujícími účinnost a umožňujícími nahradit vzácné kovy v PEM elektrolyzérech

Tento trend je možné sledovat na politické úrovni, kdy se státy s dostatečným technologickým potenciálem začínají připravovat na nasazení nízkoemisního vodíku a za tím účelem přijímají strategické dokumenty. Nejde přitom jen o EU, která je s dekarbonizací ekonomiky patrně nejdále, a její jednotlivé členské státy, ale také o asijské technologické tygry jako Čínu, Japonsko,¹⁰ Jižní Koreu¹¹ nebo Austrálii.¹²

⁶ Ibid, s. 42 a násl.

⁷ Zde se odchylujeme od způsobu, jakým termín „nízkoemisní vodík“ používá Strategie MPO, podle které „nízkoemisním vodíkem rozumíme vodík, při jehož výrobě vznikne maximálně 36,4 g CO₂/MJ. Jde například o vodík vyrobený elektrolýzou elektřinou z obnovitelných zdrojů nebo z jaderné elektrárny, vodík vyrobený ze zemního plynu nebo odpadu se zachytáváním CO₂ a vodík z bioplynu“.

⁸ Pro tuto tabulku považujeme „Modrý vodík“ za vodík, vyrobený s pomocí parního reformingu zemního plynu (SMR) + CCUS.

⁹ Pro tuto tabulku považujeme „Zelený vodík“ za vodík vyrobený elektrolýzou z OZE, nepočítáme zde tedy vodík vyrobený elektrolýzou z energie z jaderných zdrojů.

¹⁰ „Basic hydrogen strategy,“ https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf.

¹¹ „Hydrogen economy: Roadmap od Korea“, https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0do25.pdf.

¹² „Australia's National Hydrogen Strategy“, <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf>.



Relativně ambiciózní cíl si stanoví například EU, která ve své nedávno zveřejněné vodíkové strategii¹³ počítá k roku 2030 se zapojením elektrolyzérů napájených z OZE o celkovém příkonu 40 GW instalovaných na území EU a dalších 40 GW na území sousedních států s produkcí určenou převážně pro vnitřní trh EU. Pro podporu poptávky evropská strategie zvažuje zavedení kvót pro využití obnovitelného vodíku v některých sektorech koncové spotřeby, např. v chemickém průmyslu a dopravě.¹⁴ Z členských států cílí nejdále patrně Německo, které počítá k roku 2030 s instalací 5 GW elektrolyzérů napájených z obnovitelných zdrojů a dodatečných 5 GW k roku 2035–2040¹⁵, a Nizozemí, které k roku 2030 počítá s instalací elektrolyzérů o celkovém příkonu 3–4 GW.¹⁶ Oba tyto státy si zároveň kladou cíle vybudovat dedikovanou síť vodíkových plynovodů.

Zájem o nízkoemisní vodík se začíná projevovat i v soukromé sféře, kde velké společnosti jako OMV, Vattenfall, Nel, Statkraft nebo Shell alokují stále více zdrojů ne již jen do VaV, ale přímo do projektů s komerčním potenciálem.

1. Vodík: globální trendy

1.1 Tři přístupy k vodíku na úrovni států

Při globálním pohledu lze vysledovat tři základní způsoby, jakými státy vycházejí vstříc výzvám a příležitostem, které vodíková ekonomika skýtá. (Odhlédneme-li od čtvrté skupiny volící ve vztahu k vodíku pozici jakési „strategické pasivity“, která se však v dlouhodobém horizontu obvykle projevuje jako strategicky nevýhodná.) Tyto tři cesty jsou do značné míry určeny jednak geografickými podmínkami jednotlivých států, jež jsou určující pro instalovaný výkon a stabilitu obnovitelných zdrojů energie, a také technologickou vyspělostí, umožňující investovat značné prostředky do výzkumu a vývoje vodíkových technologií.

1) „Exportéři“ – zaměření na **produkci** nízkoemisního vodíku

Společným jmenovatelem této skupiny států je vysoký potenciál pro výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů (tedy levná a stabilní produkce čisté elektřiny), nižší či méně koncentrovaná spotřeba, případně spotřeba, která není lokalizovaná v blízkosti obnovitelných zdrojů. V rámci EU se mezi takové státy řadí například Španělsko, které plánuje instalovat do roku 2030 elektrolyzéry o příkonu 4 GW výhradně z OZE,¹⁷ a Portugalsko, plánující instalovat až 2 GW.¹⁸ Portugalská vodíková strategie přitom počítá ve scénáři zaměřeném na export s ročním vývozem 545 Kt vodíku do roku 2040 a i scénář maximálního vnitrostátního využití vodíku stále počítá s čistým exportem, byť pouhých 80 Kt H₂ ročně. Výhledově se mezi takové čisté exportéry zeleného vodíku mohou řadit např. státy severní Afriky či Ukrajina, u nichž Evropská vodíková strategie počítá s instalovaným výkonem 40 GW k roku 2030, z něhož podstatná část bude vyhrazena na export vodíku do EU,¹⁹ v globálním měřítku pak např. Chile, které k roku 2030 plánuje instalovat

¹³ „Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu“, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN>.

¹⁴ Ibid, s. 12.

¹⁵ The National Hydrogen Strategy. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2020.

¹⁶ „Government Strategy on Hydrogen“,

<https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>.

¹⁷ „Hoja de Ruta del Hidrógeno“, https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf.

¹⁸ Estratégia nacional para o hidrogénio. Portugalsko: Portugalská republika, 2020.

¹⁹ „Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu“, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN>, s. 2, 19.



elektrolyzéry o příkonu až 25 GW a stát se jedním z hlavních světových exportérů zeleného vodíku.²⁰

2) „Tahouni“ - kombinované zaměření **produkce - spotřeba**

Státy směřující k vlastní výrobě spojené se spotřebou vodíku patří mezi nejambicióznější „tahouny“ vodíkového průmyslu. Společným znakem těchto států je rozvinutý průmysl s množstvím industriálních klastrů, v nichž se již dnes koncentruje setrvalá spotřeba vodíku (jako zdroje energie či vstupní suroviny), vhodné geografické podmínky pro instalaci většího množství obnovitelných zdrojů se stabilní produkcí elektrické energie, a v neposlední řadě také rozvinutý sektor výzkumu a vývoje, umožňující stát v čele inovací vodíkových technologií. V rámci EU se mezi takové státy řadí především Německo²¹ a Nizozemí²², které ve svých vodíkových strategiích představují ambiciózní plány vybudování tzv. vodíkových údolí (viz Infobox 2). Mimo Evropu pak jde například o Austrálii.²³

Infobox 2: Vodíková údolí

„Vodíková údolí“ nebo také „vodíkové huby“ je pracovní název těch částí území, kde několik různých způsobů využití vodíku vytváří jeden velký ekosystém, v němž velké množství vodíku cirkuluje jako základní surovina. V Evropě jde zpravidla o přístavní aglomerace spojené s industriálními klastry, nacházející se na pobřeží Severního moře, mající koncentrovanou spotřebu, dobrou dostupnost OZE a do budoucna možnost importu H₂ prostřednictvím námořní dopravy.²⁴

3) „Importéři“ - zaměření na **spotřebu, příp. i na vývoj** vodíkových technologií

Tyto státy se zaměřují především na sektor koncové spotřeby vodíku, případně na výrobu vodíkových technologií. Jde typicky o vnitrozemní státy mající omezenou kapacitu pro instalaci dodatečných obnovitelných zdrojů energie vyhrazených pro výrobu zeleného vodíku. Této kategorii je ČR patrně nejbližší, když nedisponuje ani větrným mořem, ani slunnou polopouští, a zároveň je hospodářsky dostatečně rozvinutá, aby se mohla do vodíkové ekonomiky zapojit vývojem a výrobou nezbytných technologií (dalšími státy v této kategorii jsou např. Slovensko nebo Japonsko).

²⁰ Tom Azzopardi, „Chile aims to become major hydrogen producer by 2030,” <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/110320-chile-aims-to-become-major-hydrogen-producer-by-2030>.

²¹ The National Hydrogen Strategy. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2020.

²² „Government Strategy on Hydrogen”, <https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>.

²³ Austrálie se nachází na pomezí „tahounů a exportérů“ - zaměřuje se na vývoj hi-tech vodíkových technologií, ale zároveň se plánuje stát jedním z předních globálních exportérů vodíku, viz např. projekt Asian Renewable Energy Hub, <https://asianrehub.com>.

²⁴ Více k vodíkovým údolím na stránce Hydrogen Valley Platform, spravované společně Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking a Mission Innovation, <https://www.h2v.eu>.



1.2 Dvojitá role vodíku v energetickém systému budoucnosti

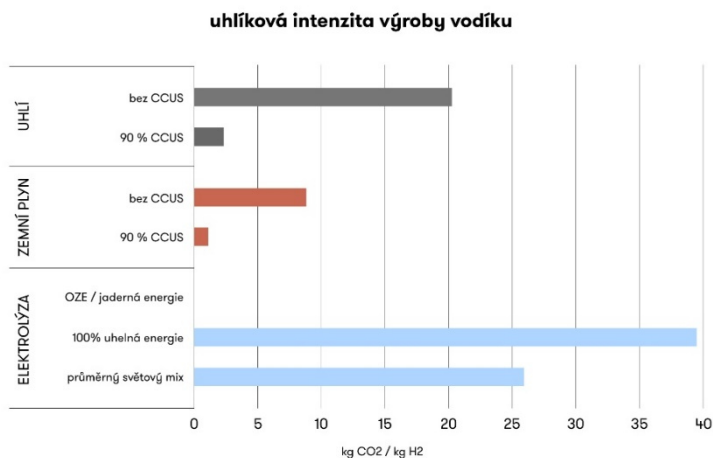
Proč vlastně vodík? Je třeba zkratkou uvést, že využití vodíku nad rámec jeho současných funkcí je spojeno s dekarbonizací ekonomiky. Bez dekarbonizace by (především z důvodu energetických ztrát při výrobě) větší zapojení vodíku nedávalo ve většině sektorů ekonomický smysl. S přihlédnutím k dekarbonizaci naopak vodík plní roli hned dvojitou:

- 1) umožňuje větší zapojení intermitentních OZE do energetického mixu, a
- 2) umožňuje dekarbonizaci hard-to-abate sektorů.

Tyto dvě funkce jsou přitom propojené - s ohledem na účinnost akumulace nedává v současnosti smysl ukládat energii z OZE do vodíku, pokud po samotném vodíku není dodatečná poptávka, a stejně tak nedává smysl „dekarbonizovat“ hard-to-abate sektory šedivým vodíkem, kde se emisní zdroj pouze přesune třeba z motoru kamionu do rafinerie (viz infografika „Uhlíková intenzita vodíku“). Jakkoli jsou však tyto funkce vodíku propojené, nemusí se nutně setkávat v rovnovážné míře uvnitř hranic jednotlivých států. Např. v průmyslově rozvinutých zemích může být poptávka po vodíku v sektorech, které jej již využívají nebo kde jím lze nahradit fosilní paliva, vyšší, než kolik jsou schopné ekonomicky rozumně vyprodukovat. Naopak ve státech s méně rozvinutým průmyslem ale vhodnými geografickými podmínkami může být velký potenciál pro výrobu relativně levného zeleného vodíku (viz „exportéři“ a „importéři“ výše).



Graf 1: Uhlíková intenzita vodíku



Zdroj: Timur Gül et al. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Report prepared by IEA for G20 in Japan, 2019, s. 53.

Z grafu vyplývá, že emisní náročnost vodíku (určená zde v Kg CO₂/Kg H₂) se v závislosti na způsobu výroby dramaticky liší, a to od nuly po necelých 40 Kg CO₂ na kilogram vodíku. Tato data se dají velmi dobře srovnat s projekcemi cen emisních povolenek v rámci EU. Výsledek nám poskytne nástroj pro poměrování „uhlíkové“ cenové přírážky za CO₂ emitované v souvislosti s výrobou vodíku prostřednictvím různých metod. Pokud například vyjdeme z předpokladu ceny emisní povolenky (právo vypustit 1t CO₂e) k roku 2030 ve výši 50 €, uhlíková přírážka za 1Kg H₂ vyrobeného parním reformingem zemního plynu (SMR) bez CCS bude 0,45 €/Kg H₂. Naopak výroba v elektrolyzáru napájeném čistě uhlíkovými zdroji elektřiny vychází na 1,95 €/Kg H₂.

2. Nedostatek elektřiny z OZE pro smysluplnou akumulaci do vodíku

Role obnovitelného vodíku v systémové akumulaci elektrické energie se bude odvíjet od množství přebytečného elektrického proudu a účinnosti, s jakou budeme schopni jej přeměnit na vodík a zpátky (round-trip efficiency). Předpokládaná účinnost dvou hlavních typů elektrolyzátorů v roce 2030 je 71 % (alkalické) a 68 % (PEM).²⁵ Účinnost celého cyklu akumulace elektrické energie do výroby vodíku elektrolyzou vody a její následná zpětná přeměna oxidací vodíku dále závisí na nákladech uskladnění vodíku a účinnosti oxidace. Zatímco ještě v polovině minulého desetiletí se udávala hodnota 30 %, ²⁶ s dnešními technologiemi lze dosáhnout účinnosti zpětné přeměny 43 %²⁷ nebo až 47 %²⁸ s výhledovým dalším navýšením zejména při zachycení odpadního tepla v palivovém článku. To znamená, že na každou spotřebovanou jednotku elektrické energie je třeba nejméně dvou jednotek elektrické energie vyrobené na začátku cyklu. Konkurenční vysokokapacitní baterie a přečerpávací elektrárny ovšem

²⁵ Timur Gül et al. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Report prepared by IEA for G20 in Japan, 2019, s.44.

²⁶ Matthew A. Pellow et al. „Hydrogen or batteries for grid storage? A net energy analysis“, Energy & Environmental Science, 8, 1938–1952 (duben 2015).

²⁷ „Strom zu Wassestoff und wieder zurueck“, <https://www.pro-physik.de/nachrichten/strom-zu-wasserstoff-und-wieder-zurueck>.

²⁸ Spath, Modellierung eine Anlage, 2019, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444626165000103>.



vycházejí s účinností přeměny okolo 75–80 % výrazně lépe. Je nepochybné, že na takto konkurenčním trhu bude první přebytečný megawatt nad rámec základního zatížení zpravidla příliš drahý pro ekonomicky smysluplnou výrobu vodíku, resp. pro dosažení cenově dostupné elektrické energie po celý rok. Volné elektrické energie by muselo být dostatečné množství po dostatečný počet hodin, tak jako u „exportérů“ nebo „tahounů“, aby dávalo smysl elektrolyzéry provozovat.

Takové přebytky elektrické energie však Česká republika ani ve střednědobém výhledu mít **nebude**. Vyplyvá to mj. ze scénářů společnosti ČEPS (koncepční a progresivní) pro rok 2040. Roční bilance elektrické energie bude při uvažované zdrojové základně (při odstavení JED) záporná a očekávaný čistý dovoz se v závislosti na rychlosti uhelného phase-outu bude pohybovat v řádu desítek TWh.²⁹ Podle konkurenční projekce společnosti ČEZ Distribuce bude instalovaný výkon FVE v roce 2040 za nově umožněné podpory Modernizačního fondu vyšší (v průměru o 15 %).³⁰ Výroba elektrické energie proto může být o jednotky TWh vyšší, než jak v poslední zprávě předpokládá společnost ČEPS, celková bilance přesto zůstane v roce 2040 při konstantní nebo vyšší konečné spotřebě elektrické energie záporná.

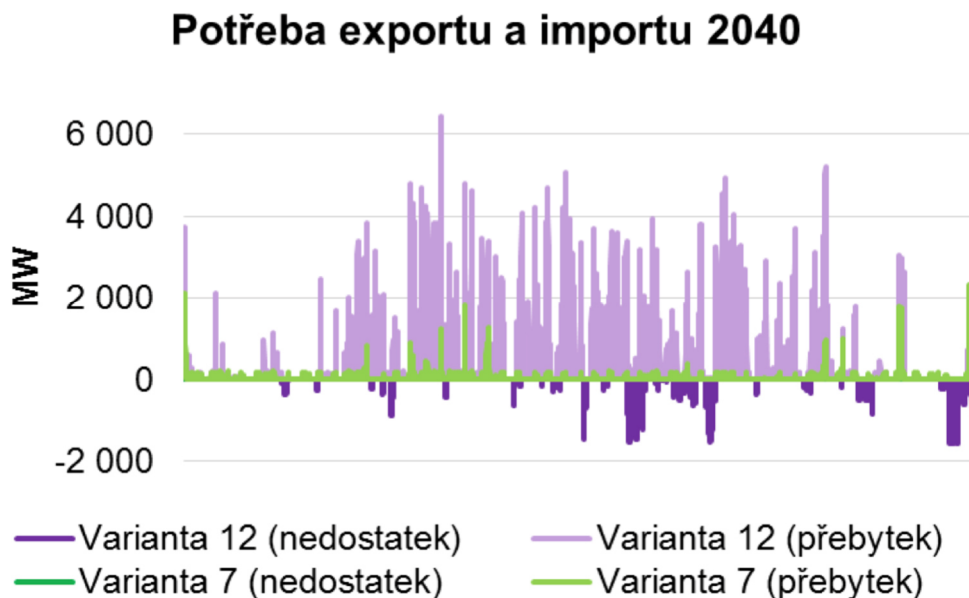
Pro potenciál výroby vodíku elektrolyzou pochopitelně není významná jen meziroční bilance, ale také okamžité výkyvy oproti základnímu zatížení sítě vlivem intermitentnosti OZE, které se různí podle instalované kapacity OZE. Modelované přebytky a nedostatky elektrické energie v elektrizační soustavě podle ČEPS v roce 2040 znázorňuje graf č. 2. Osa Y představuje výkyvy oproti základnímu zatížení, osa X průběh roku. Varianta 12 počítá s odstavením JED, s útlumem uhlí v roce 2040 a rozvojem OZE podle scénáře Komory obnovitelných zdrojů energie. Varianta 7 naopak počítá s postavením nového bloku JED, s útlumem uhlí v roce 2040 a s rozvojem OZE podle národního klimaticko-energetického plánu. Z grafu plyne, že ve variantě 12 sázející na strmý růst OZE do roku 2040 je možné počítat s určitým minimálním počtem hodin s přebytkem alespoň 4000 MW, zhruba dvojnásobným počtem hodin s přebytkem alespoň 3000 MW a ještě dvakrát vyšším počtem hodin s přebytkem alespoň 2000 MW. Dodejme, že varianta 12 připravená podle scénáře Komory obnovitelných zdrojů energie počítá s vyšší výrobou z FVE v roce 2040 (14,3 TWh) než horní odhad ČEZ Distribuce (cca 11 TWh), na který jsme poukázali v předchozím odstavci.

²⁹ ČEPS, a. s., „Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ)“, 18. 10. 2019, https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/jaderna-energetika-a-nove-jaderne-zdroje/rozvoj-novych-jadernych-zdroju/2020/10/Hodnoceni-zdrojove-primerenosti-ES-CR-do-roku-2040-MAF-CZ_.pdf, s. 22.

³⁰ Radim Černý, „Digitalizace energetiky: riziko nebo příležitost?“, přednáška na ČVUT FEL dne 25. 03. 2021, <https://youtu.be/osF2ektpWeo?t=932> (slide č. 9).



Graf 2: Modelované přebytky a nedostatky elektrické energie v elektrizační soustavě v roce 2040



Zdroj: Prezentace ČEPS pro Uhelnou komisi z 9. března 2020.

Pro představu, v dnešní době se nevyužitý výkon pohybuje okolo 1000 MW ve dnech maximálního zatížení a 1700 MW ve dnech minimálního zatížení. Přecherpávací vodní elektrárny jsou schopny „odčerpat“ při plném vytížení 1175 MW a v horizontu deseti až dvaceti let se plánuje rozšíření jejich výkonu nejméně o 4 x 150 MW (to odpovídá ekonomickému potenciálu PVE v lokalitách hnědohorné těžby v Ústeckém kraji).³⁴ Bateriová úložiště dnes zahrnují jednotky MW výkonu velkokapacitních baterií, které mohou narůst jakkoliv od desítek po tisíce MW při uvolnění tržních podmínek (energetický zákon), a zřizování virtuálních baterií, resp. agregaci menších zařízení, jak to předpokládá Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG). Nad výkonem a kapacitou nekonvenčních (ale technologicky nenáročných) forem akumulace (Carnotovy baterie, jeřáby, tlakové nádrže apod.) v roce 2040 zatím visí veliký otazník, ale i ty mohou disponibilní výkon pro elektrolyzéry významně ovlivnit. V každém případě, zatímco flexibilní výroby elektrické energie budou v době takového přebytku tržními signály motivovány k odložení výroby, spotřebitelé elektřiny s možností akumulace (FVE systémy s baterií, elektromobily, industriální mrazírny apod.) spustí nadspotřebu.

Podtrženo sečteno, při optimistickém rozvoji OZE (Varianta 12) může elektrizační síť v roce 2040 řešit nižší jednotky GW přebytečného výkonu s pomocí 1175 plus 600 MW plus dalších několik set až několik tisíců MW výkonu v různých formách akumulace mimo elektrolyzéry, v závislosti na podmínkách rozvoje trhu s ukládáním energie. V případě, že by tento stav trval po celý rok, dalo by se uvažovat o nasazení stovek, možná i více než tisíců MW výkonu elektrolyzérů, které by neměly jiný úkol než akumulovat veškerou elektřinu, kterou nespoteřebují úložiště s nižším LCOE, do vodíku. Doba levné elektrické energie ale bude příliš krátká (ve skutečnosti předpokládá model ČEPS dokonce 768 hodin nedostatku) na to, aby se výstavba a provoz elektrolyzérů zaplatily z rozdílů velkoobchodní ceny elektrické energie.

Shrneme, že zatížení emisí uhlíku a současný pokrok ve vodíkových technologiích umocňují tlak na zapojení vodíku do světové ekonomiky. Vodíkové strategie evropských států odhalují, že zatímco některé s ním spojují zejména potenciál uchování hodnoty elektrické energie, jiné chtějí vlastní výrobou vodíku především uspokojit očekávanou poptávku spotřebitelů vodíku na domácím trhu.

³⁴ Z výsledků společné studie Palivového kombinátu Ústí, Severní energetické a Deloitte, tak jak byly prezentovány zástupci Severní energetické 12. listopadu 2020 na webináři „Alternativní formy fotovoltaiky“ Aliance pro energetickou soběstačnost.



Česká republika svou cestu v těchto měsících teprve hledá. Už v tento moment je podle našeho názoru evidentní, že ani při naplnění optimistických scénářů rozvoje OZE nebude v elektrické síti dostatek hodin s dostatečným množstvím přebytečné elektrické energie, aby se výstavba a provoz elektrolyzérů (podobně jako státům v kategorii „exportérů“) při současné i očekávané úrovni LCOE vyplatily pro akumulaci samotnou. Přecherpací vodní elektrárny, baterie a jiné rozvíjející se formy akumulace se v podmínkách České republiky jeví jako pro tento úkol vhodnější.

3. Vodík v hard-to-abate sektorech

Všudypřítomná potřeba vykrytí denní a sezónní fluktuace výroby elektrické energie vychází ze silně rostoucího podílu intermitentních obnovitelných zdrojů na energetickém mixu. Díky němu světová výroba elektrické energie z OZE přesáhla v roce 2019 hranici těžko představitelných 7 petawatthodin ročně.³² Obnovitelné zdroje však uspokojují pouhou pětinu z celosvětové konečné spotřeby energie.³³ Platí to i pro Českou republiku, kde se 80 % konečné spotřeby energie realizuje v kotlích a pecích na fosilní paliva, vznětových a zážehových motorech apod.³⁴ Od aut, která řídíme, po plyn, kterým topíme, energie fosilních paliv je hluboce zakořeněná ve fungování naší společnosti. Pro co nejširší využití energie z obnovitelných zdrojů bude nutné plošně elektrifikovat. Fungujícími příklady jsou tepelná čerpadla, elektrický ohřev vody nebo elektromobilita.

3.1 Co jsou hard-to-abate sektory?

Problém je, že v některých odvětvích (tzv. hard-to-abate sektory) elektrifikace neposkytuje optimální či vůbec technicky možné řešení. Jde především o sektory těžkého průmyslu (hutní výroba, slévárnictví, chemický průmysl apod.), kde fosilní zdroje poskytují potřebnou vysokou výhřevnost³⁵ nebo jsou dále chemicky zpracovávány. Dále jsou to sektory dálkové či těžké dopravy (autobusová, nákladní a kamionová doprava, letecká, lodní nebo i železniční doprava na tratích bez trakce), kde bateriová akumulace elektrické energie nenabízí dostatečnou energetickou hustotu.³⁶ K tomu je třeba přičíst další technologie, jako jsou záložní zdroje elektrické energie (např. dieselové agregáty). Jejich plynulé nahrazení ve složkách integrovaného záchranného systému, data centrech, vysílačích nebo operačních střediscích je bezpečnostním zájmem státu.

Jen těžký průmysl a doprava jsou samy o sobě odpovědné za téměř jednu třetinu světových emisí CO₂.³⁷ Nelze očekávat, že v těchto sektorech dojde v horizontu hlavních klimatických závazků (2030/2050) k poklesu spotřeby natolik zásadnímu, aby umožnil vyhnout se jejich dekarbonizaci. Naopak, poptávka po čpavku, oceli, námořní a vnitrozemská přepravě, letecké dopravě aj., nenastane-li

³² Hannah Ritchie a Max Roser, „Renewable Energy“, OurWorldInData.org, <https://ourworldindata.org/renewable-energy>.

³³ IEA, „Share of electricity in total final energy consumption, historical and SDS“, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-electricity-in-total-final-energy-consumption-historical-and-sds>.

³⁴ Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Souhrnná energetická bilance České republiky“, únor 2021, https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/2021/4/SEB-2010-2019-210401_1.pdf.

³⁵ V případě hutnictví a slévárnictví je zapotřebí nahradit koks, odpadne však potřeba energetického zpracování černého uhlí pro výrobu koksu.

³⁶ Energetická hustota (měřená v megajoulech na kilogram) je u většiny baterií přibližně stokrát nižší než energetická hustota benzínu a nafty, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.

³⁷ Anthony Robert Hobley, „Tackling the harder-to-abate sectors: join the conversation on 7 July,“ <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/tackling-the-hard-to-abate-sectors-join-the-conversation/>.



zcela mimořádná změna ve spotřebitelských vzorcích společnosti, bude (po překonání trvající pandemie) setrvale růst.³⁸

3.2 Alternativy fosilních zdrojů v hard-to-abate sektorech

Alternativy fosilních zdrojů v hard-to-abate sektorech musí mít vlastnosti, které další fungování těchto sektorů umožní. Všechny musí být geograficky a cenově dostupné, bezpečné a dále s vysokou energetickou hustotou a/nebo se specifickými chemickými vlastnostmi. Dvě nejrozšířenější jsou biopaliva a vodík.

Vhodností biopaliv pro vykrytí hard-to-abate sektorů jsme se zabývali jinde.³⁹ Jejich hlavní výhodou je výhřevnost, závisící na typu a kvalitě konkrétního biopaliva. Radíme mezi ně bionaftu, biooleje a bioplyn. Očištěný bioplyn se nazývá biometan. Předpokládáme, že s novou etapou budování bioplynových stanic, novou legislativou na podporu obnovitelných zdrojů, probíhající plynofikací a cílenějším sběrem bioodpadů bude posilovat podíl biometanu v plynárenské soustavě. Biometan má všechny vlastnosti zemního plynu a jako takový může být bez dalšího vtlačěn do plynárenské soustavy a podílet se na dekarbonizaci jak domácností a dopravy (bioCNG), tak i hard-to-abate sektorů (např. skláren).

Skupina EFG, jediný současný český dodavatel biometanu, odhaduje, že v České republice existuje v letech 2021–2030 potenciál pro 75 výroben s celkovou produkcí 127 mil. metrů krychlových biometanu za rok.⁴⁰ Přestože tento potenciál nedokážeme s ohledem na chybějící data verifikovat, jisté je, že jakákoli výše potenciálu je omezena produkcí odpadu (zemědělské podniky, domácnosti, jídelny, pily, dílny apod.) a kapacitou jeho zpracování a přepravy (čili kapacitou bioplynových stanic šířeji). Další limity v podobě náročnosti na vodu, energii a fertilizátory má rozvíjející se třetí generace biopaliv na bázi řas, která může v budoucnu pomoci s dekarbonizací části dopravy (algae bionafta).

3.3 Potenciál vodíku v hard-to-abate sektorech

Také vodík vykazuje vysokou výhřevnost, která je zhruba trojnásobně vyšší než u metanu [(kJ/m³) (20 °C)]. V jednom kilogramu vodíku je uloženo 33 kWh, které je teoreticky možné získat jeho oxidací. Technologie pro výrobu a spotřebu, skladování a přepravu vodíku tady už v té či oné formě jsou, přestože atomový poloměr, nízká hustota a teplota tání jeho skladování a přepravu nesmírně ztěžují. Některé hard-to-abate sektory už vodík využívají. V chemickém průmyslu ho postačí nahradit nízkoemisní variantou – ať už díky obnovitelným zdrojům nebo v budoucnu CCU technologiím. Jinde by však bylo potřeba nejdříve upravit koncová zařízení.

Při rozhodování o alternativách fosilních zdrojů v hard-to-abate sektorech je klíčový faktor infrastruktury. Pokud jsou existující plynárenská zařízení, přepravní a distribuční soustava a koncová zařízení připravené pro biometan a nepřipravené pro vodík, je nutné v první řadě využít maximum potenciálu biometanu, a to až do ekologického limitu jeho výroby a spotřeby. Rozdíl mezi poptávkou hard-to-abate sektorů (při kontinuálním řízením zvyšování jejich energetické účinnosti) a udržitelným rozsahem výroby biometanu by měl být doplněn pokud možno obnovitelným vodíkem. Přestože bude potřeba kontrolovat environmentální dopady vodíkové ekonomiky, zejm. s ohledem na vysoký obsah vzácných kovů v některých OZE a PEM elektrolyzérech, limity na vstupních složkách obnovitelného vodíku

³⁸ IEA, „Outlook for Energy Demand 2020“, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/outlook-for-energy-demand>.

³⁹ Martin Madej, „Biopaliva jako alternativy fosilních zdrojů v těžko elektrifikovatelných sektorech“ (online). O energetice, 18. 4. 2021 [cit. 20. 4. 2021], <https://oenergetice.cz/nazory/biopaliva-jako-alternativy-fosilnich-zdroju-tezko-elektrifikovatelnych-sektorech>.

⁴⁰ „EFG o budoucnosti BIOCNG z odpadu“, <https://www.efg-holding.cz/efg-o-budoucnosti-biocng-z-odpadu/>.



nejdou absolutní a nepřekonatelné (tak jako u zemské a vodní biomasy). Výroba 1 kilogramu vodíku elektrolýzou si vyžaduje orientačně 9 litrů vody a 55 kWh elektrické energie. Pokud jde o vodu, přítomnost vodního zdroje může být z lokálního hlediska limitující, avšak celková spotřeba vody pro výrobu vodíku ovlivní bilanci vody v ČR zanedbatelně. A pokud je kontrolována materiálová náročnost výroby technologií OZE, obnovitelná energie (ze slunce, větru) je prakticky nevyčerpatelná.

EXISTUJE V ČESKÉ REPUBLICE DOSTATEČNÝ POTENCIÁL PRO VÝROBU BIOPALIV A NÍZKOEMISNÍHO VODÍKU PRO VYKRYTÍ POTŘEB TUZEMSKÝCH HARD-TO-ABATE SEKTORŮ V ROCE 2040 NEBO 2050?⁴¹

Výše jsme konstatovali, že česká elektrizační soustava výhledově nebude mít dostatečný počet hodin s dostatečným množstvím přebytečné elektrické energie, aby se její ukládání do vodíku (a ne do dostupnějších forem akumulace) ekonomicky vyplatilo. Jak jsme ale shrnuli výše, to ponechává otevřenou otázku hard-to-abate sektorů, jejichž pokrytí nízkoemisními alternativami nebude otázkou jen ekonomickou, ale pro tyto sektory v podstatě existenční. Jejich potřeby se budou odvíjet od rozsahu a produktivity práce, která v nich bude vykonána. Pro zjednodušení budeme při zodpovězení otázky položené v názvu kapitoly vycházet z dat a odhadů aktuální (údaje za rok 2018–2020), tedy nikoliv budoucí spotřeby alespoň části hard-to-abate sektorů. Kladná odpověď by představovala pozitivní signál pro maximální využití tohoto potenciálu a analyticky by Českou republiku zařadila mezi vodíkové „tahouny“. Negativní odpověď by naopak indikovala potřebu dovozu energií a zaměření se na jinou strategii než na strategii energetické soběstačnosti. Zdrojová tabulka s následujícími výpočty tvoří přílohu policy paperu.

Částečná data o spotřebě paliv v hard-to-abate sektorech lze dovodit z ročních statistik spotřeby paliv a energie Českého statistického úřadu.⁴² Některé z evidovaných činností se prakticky zcela překrývají s činnostmi vykonávanými s pomocí hard-to-abate technologií. Zprvu, ze statistiky k roku 2019 lze dovodit, že jen následující **nejvýznamnější hard-to-abate průmyslové sektory:**

- výroba základních kovů; hutní výroba; slévárnictví (koks, zemní plyn),
- těžba a úprava rud (zemní plyn),
- výroba ostatních nekovových minerálních výrobků (zemní plyn),
- výroba papíru a výrobků z papíru (zemní plyn) a
- výroba chemických látek a chemických přípravků (uhlí, zemní plyn)

spotřebovaly celkem 123 888 305 GJ energie z černého a hnědého uhlí, koksu a zemního plynu.⁴³ K dosažení takové energie by bylo potřeba buď 1 036 289 tun vodíku (při výhřevnosti 119,55 MJ/kg), nebo 2 477 770 tun metanu (při výhřevnosti 50 MJ/kg).

Výše uvedená čísla jsou pouze ilustrační a nutně nereprezentují hard-to-abate část těchto sektorů. Hard-to-abate sektory totiž samozřejmě nejsou hard-to-abate jako celek; i areál cementárny musí vytápět své administrativní a jiné služební budovy a tady elektrifikace možná je (např. s pomocí tepelných čerpadel). Dokonce

⁴¹ Tuzemskými hard-to-abate sektory rozumíme pro upřesnění hard-to-abate sektory v rozsahu, v jakém dnes spotřebovávají fosilní zdroje na území České republiky. Kamion, který Českou republikou projíždí, je tedy součástí tuzemského hard-to-abate sektoru v té míře, v jaké pohonné hmoty spálí na území České republiky. Neuvažujeme tedy o pohonných hmotách, které má v úmyslu natankovat v České republice, aby je spotřeboval na území například Německa.

⁴² Český statistický úřad, „Spotřeba paliv a energie - 2019“, 2. 10. 2020, <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energie-2019>.

⁴³ Ke klasifikaci těchto činností (CZ-NACE) viz https://www.czso.cz/documents/10180/23174387/vysvetlivky_cz_nace.pdf/f530ebef-f949-40c7-a27d-f8888503d791?version=1.0.



i sektor metalurgie je celosvětově z 25 % tvořen elektrickými pecemi.⁴⁴ Relevantní množinou jsou pouze hard-to-abate technologie v těchto sektorech (jako je rotační pec cementárny nebo vysoká pec v hutí). Technologie pracující při nižších teplotách teoreticky mohou být elektrifikovány. V závislosti na poměru jedné skupiny technologií ke druhé lze dvě výše uvedené hodnoty vynásobit koeficientem mezi 0,5 a 1 (vycházíme-li z předpokladu, že více než polovinu energie v těchto sektorech využívají hard-to-abate technologie).

Celkovou roční spotřebu fosilních paliv hard-to-abate technologiemi v loňském nebo jiném vybraném roce neznáme a neznají ji ani státní orgány; spotřebu paliv totiž podniky vykazují podle převažující ekonomické činnosti, nikoli podle jednotlivých provozů. K plně informovanému regulatornímu rozhodnutí by tak bylo do budoucna zapotřebí podrobnějšího výkaznictví v hard-to-abate sektorech rozsáhlého datového průzkumu.⁴⁵

Zadruhé, uvažujeme o spotřebě paliv v **hard-to-abate dopravě**, kde používáme dvě metody výpočtu. U obou pro zjednodušení pracujeme s aktuálními daty (nebereme v potaz proměny spotřeby a účinnosti technologií v budoucnu).

(A) U **odečítací metody** vycházíme z toho, že hard-to-abate technika, tedy jiná než osobní dieselová vozidla (nákladní a kamionová doprava, autobusy, užitková vozidla, vozidla ve složkách integrovaného záchranného systému a armády), lodě a letadla u nás ročně spotřebují přibližně 2 750 000 tun motorové nafty,⁴⁶ 75 800 000 metrů krychlových stlačeného zemního plynu⁴⁷ a 393 183 tun leteckého benzínu.⁴⁸ K jejich nahrazení jinými technologiemi by tedy bylo potřeba 495 108 tun vodíku (při plném přechodu na elektromotory s palivovými články, 119,55 MJ/kg, η 1:1,5),⁴⁹ 2 367 608 tun biometanu (u spalovacích motorů, 50 MJ/kg, η 1:1) nebo 3 946 601 tun algae bionafty (u spalovacích motorů, při výhřevnosti 30 MJ/kg, η 1:1). Tyto hodnoty nezahrnují letecký benzín, který bychom teoreticky mohli nahradit dalšími 108 741

⁴⁴ Ještě v roce 2000 mělo být podle Václava Smila 60 % pecí BOS (Basic Oxygen Steelmaking). Viz Václav Smil, *Transforming the Twentieth Century: Technical Innovations and Their Consequences - Volume 2* (Oxford: Oxford University Press, 2006), s. 99. Novější odhady však míří k 25 %, viz <https://www.worldcoal.org/coal-facts/coal-steel/> a <https://www.forbes.com/sites/thebakersinstitute/2020/05/15/steel-hydrogen-and-renewables-strange-bedfellows-maybe-not/?sh=8824ac5188ed>.

⁴⁵ K otázce budoucího nasazení a účinnosti těchto technologií se vyjádříme níže.

⁴⁶ Vycházíme z množství nafty spotřebované v ČR podle MPO, tedy 5 milionů tun, sníženého o odhadovanou roční spotřebu všech osobních dieselových aut v ČR (2 337 500 tun). Spotřebu osobních aut jsme odhadli vynásobením průměrné spotřeby (5,5 l/100km), průměrného ročního nájezdu (počítáme s 25 000 km) a orientačního počtu vozidel (2 mil.). Přestože část spotřebované nafty je využita pro zemědělskou techniku, jejíž elektrifikaci s využitím baterií předpokládáme, očekáváme, že tato úzká část spotřeby nepřekračuje hranice statistické odchylky. Konečně připouštíme, že motorová nafta se výjimečně používá i v jiných hard-to-abate sektorech než dopravě (dieselové agregáty) - ani tady sice nedokážeme odhadnout přesné množství, s jistotou však nemůže s celkovým počtem tun příliš zahýbat.

⁴⁷ Jde o nezanedbatelnou celkovou spotřebu všech CNG vozidel (autobusů, popelářských vozů apod.). V roce 2018 se jej prodalo 75,8 milionu metrů krychlových. „Spotřeba CNG vloni vzrostla, hlavně díky autobusům a daňovému zvýhodnění“, *Deník.cz*, 7. 2. 2019, <https://www.denik.cz/ekonomika/spotreba-cng-vloni-vzrostla-hlavne-diky-autobusum-a-danovemu-zvyhodneni-20190207.html>. To odpovídá 1 994 737 MJ (při 38 MJ/m³ CNG). Naopak zkapalněný plyn (LPG) považujeme za palivo, které bude v budoucnu vytlačeno elektromobilitou, a odhadem 200 tisíc tun roční spotřeby LPG proto do výpočtu nepřidáváme.

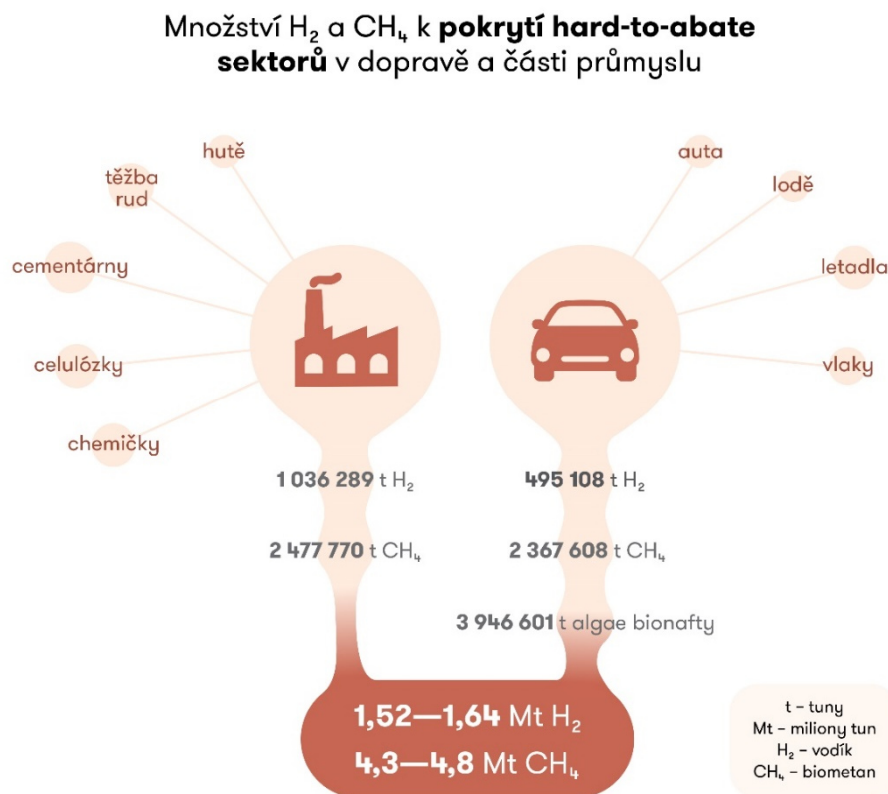
⁴⁸ Mezinárodní letecká doprava spotřebovala na území České republiky v roce 2019 celkem 17 536 TJ energie. Jde v souladu s metodikou Eurostatu o palivo, které letadla mezinárodní přepravy v daném roce načerpala na českém území. Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Souhrnná energetická bilance České republiky“, únor 2021, https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/energeticke-bilance/2021/4/SEB-2010-2019-210401_1.pdf, s. 15. Pro letecký benzín uvažujeme hodnotu 44 MJ/kg.

⁴⁹ Vodík pro palivové články využívané v dopravě vyžaduje nejvyšší chemickou čistotu, aby bylo zajištěno, že ani při dlouhodobém provozu nedojde k degradaci a poškození palivových článků. Požadovaná čistota je dána normou ČSN ISO 14687. Tento vodík se převážně vyrábí elektrolýzou vody.



tunami vodíku (119,55 MJ/kg, η 1:1) v případě dosud nejistého přechodu na vodíkové letouny.

Obrázek 1: Množství vodíku a metanu potřebných k pokrytí hard-to-abate sektorů v dopravě (pravá část) a části průmyslu (levá část).



Zdroj: Kalkulace autorů.

(B) **Sčítací metodou** lze s pomocí údajů o spotřebě paliv v dopravě a údajů o reálných emisích oxidu uhličitého jednotlivých kategorií dopravních prostředků dovést, že fosilní paliva v hard-to-abate dopravě ročně dodávají přibližně 90,39 PJ energie.⁵⁰ Tomu odpovídá 378 055 tun vodíku (při plném přechodu na elektromotory s palivovými články, 119,55 MJ/kg, η 1:1,5), 1 807 800 tun biometanu (u spalovacích motorů, 50 MJ/kg, η 1:1) nebo 3 130 000 tun algae bionafty (u spalovacích motorů, při výhřevnosti 30 MJ/kg, η 1:1). Opět můžeme přičíst dalších teoretických 108 741 tun vodíku jako leteckého paliva, jak jsme to učinili výše.

To znamená dohromady 1,52–1,64 Mt vodíku (s letectvím) nebo 4,3–4,8 Mt biometanu (bez letectví) ve dvou výše uvedených množinách průmyslu

⁵⁰ Spotřeba ropných produktů v dopravě v ČR činí 6080 ktoe. IEA, „Oil products final consumption by sector, Czech Republic 1990–2018“, <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=CZECH&fuel=Oil&indicator=OilProductsConsBySector>. Podíl užitkových vozidel (light-duty trucks), nákladních vozidel a autobusů (heavy-duty trucks and buses), dieselových vlaků a lodní dopravy na emisích v dopravě celkem činí 37 % (výpočet trojčlenkou z dat citovaných portálem Fakta o klimatu, která jsou veřejně dostupná zde: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1cHuB4p4Z_vchLbPnnr38rkjDJnlmvjGrvR8A7rrFPTE/edit#gid=174939811). Odhadem tedy tyto dopravní prostředky spotřebují 2259 ktoe 37 % z 6080 ktoe, čemu odpovídá 90,39 PJ energie. Ekvivalentní množství vodíku (119,55 MJ/kg) s využitím palivových článků je 378 055 tun. Autorem výpočtu je Oldřich Sklenář, kterému děkujeme za doplnění.



a dopravy.⁵¹ Jelikož má metan v plynném i v kapalném skupenství při stejném tlaku a teplotě zhruba 7násobně vyšší hustotu než vodík, objemově by šlo ve skutečnosti o více kubíků vodíku než biometanu. Výsledný mix by byl samozřejmě kombinací obou plynů a mohl by zahrnovat i některé více niche alternativy.

Výše uvedená data, ač orientační, jsou vypovídající při srovnání s plánovanou výrobou (200 tisíc tun/rok) a spotřebou (214,3 tisíc tun za rok) nízkoemisního vodíku v roce 2040 podle návrhu Vodíkové strategie MPO. Při spotřebě **214,3 tisíc tun** za rok může vodík dekarbonizovat pouhý zlomek technologií v těchto šesti sektorech (vycházíme-li z toho, že klíčové hard-to-abate technologie jsou zodpovědné za většinu jejich spotřeby fosilních paliv). Co však se zbývající spotřebou? Rozdíl mezi 1 952 889 t vodíku pro vybrané sektory průmyslu a dopravy a 214 300 t vodíku podle strategie MPO pro rok 2014 by ponechal 89 % spotřeby alternativním palivům, a to samozřejmě vycházíme z fikce, že jde pouze o palivovou spotřebu, nikoli jiné využití vodíku, zejména jako vstupní surovinu v chemickém průmyslu. I podle našeho názoru stěží nadsazený potenciál podle skupiny EFG, tedy 127 milionů metrů krychlových metanu ročně (cca 70 tisíc tun) v roce 2030, by znamenal, že by výroba biometanu musela během dalšího desetiletí vyrůst 60x. To by sice vyřešilo problém s úpravou plynovodů (vodík by tvořil pouhou příměs přepravovaného plynu), stát by však narazil na limity v množství biologického odpadu a biomasy dávno předtím, než by kapacitu stávajících plynovodů dokázal využít. Jiné než palivové potřeby šesti vybraných hard-to-abate sektorů (zejm. jako feedstock) a nahrazení paliv v ostatních sektorech přitom v tomto přehledu zůstávají stranou.

Upozorňujeme, že možnost dočasně (v řádu desetiletí) ponechat hard-to-abate sektory fosilním palivům nepovažujeme za reálnou. Fosilní paliva čelí a přinejmenším v Evropské unii budou čelit ekonomickému tlaku politických nástrojů na snížení emisí skleníkových plynů. Zvýšení dekarbonizačních ambicí EU v letech 2018 až 2020 se promítlo do ceny emisních povolenek, které nejprve konečně stouply nad hranici 20 EUR za tunu v roce 2018, aby se jejich cena za 3 roky zdvojnásobila na současných 52 EUR/t.⁵² Za plánovaného rozšiřování EU ETS na další sektory a současného úbytku volně dostupných emisních povolenek se očekává do roku 2030 další výrazný růst jejich ceny. To nezbytně postaví velké množství investorů v hard-to-abate sektorech před existenční rozhodnutí: snížit svou závislost na spalování fosilních paliv, nebo ukončit provoz. Výše uvedený předčasný hrubý odhad ale indikuje, že lokálně vyrobený vodík ani v kombinaci s biometanem k pokrytí potřeby hard-to-abate sektorů zdaleka nepostačí. Využití biomasy v řádu statisíců tun ročně jen pro hard-to-abate sektory je pak v rozporu s jakoukoli představou o udržitelnosti.

Co to pro českou vodíkovou strategii znamená? Buď snížení spotřeby energií v hard-to-abate sektorech (v rozsahu, který nemůže být kompenzován zvýšením energetické účinnosti) a snížení ekonomické produkce, anebo zvýšení podílu vodíku na konečné spotřebě energií. V prvním scénáři by nedostupnost paliv a levných surovin vedla k odlivu části průmyslové výroby do zahraničí (laicky řečeno: když nemohou zdroje za výrobou, tak musí výroba za zdroji). Jako první by k tahounům a exportérům přesídlily podniky s relativně vysokou energetickou spotřebou, relativně nízkým odbytem a relativně nízkou přidanou hodnotou svých produktů, kterým by se v České republice výroba nevyplatila.

Vzhledem k deklarovanému cíli MPO „zachování výkonnosti a exportního potenciálu českého průmyslu“ však dále uvažujeme pouze o druhém scénáři. To znamená, že Česká republika musí přizpůsobit významnou část hard-to-abate sektorů k využití vodíku a tento vodík nakoupit v zahraničí. Ostatně není vyloučeno, že využití obnovitelného vodíku v některých sektorech koncové spotřeby bude na úrovni EU upraveno povinnými kvótami (viz níže).

⁵¹ Univerzální využití algae bionafty z důvodu nízké výhřevnosti ani neuvažujeme.

⁵² „Daily EU ETS carbon market price (Euros)“, <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> (cena k 11. květnu 2021).



V kontextu čisté mobility to konečně platí již dnes. V souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2019/1161/EU budou mít členské státy povinnost v období 8/2021–12/2025 splnit podíl 41 % autobusů (vozidla kat. M3) na elektřinu, vodík nebo CNG z celkového počtu vozidel zakoupených ve veřejných zakázkách. V dalším pětiletém období vzroste podíl na 60 %. Další kvóty (9 % a poté 11 %) směrnice spojuje s nákupy těžkých nákladních vozidel (kat. N2 a N3).⁵³ S ohledem na obtížnost elektrifikace těžké dálkové dopravy a na uvažované zdanění uhlíku, které by mohlo dopadnout i na CNG, může vodík hrát ve zvyšování podílu čisté mobility klíčovou roli.

4. Energetická bezpečnost ČR

Česká republika nebude do roku 2040 vyrábět dostatek vlastního vodíku pro vykrytí více než malého zlomku spotřeby hard-to-abate technologií. Tento závěr vychází jednak z vysoké poptávky po energiích v těžkém průmyslu a dopravě (ve srovnání např. se zemědělsky orientovanými státy), jednak z nízkého výrobního potenciálu zelených technologií vlivem přírodních podmínek. Vzhledem k tomu, že se česká ekonomika bude muset nejpozději do roku 2038 vzdát spalování uhlí, jehož domácí poptávku byla schopná z 95 % pokrýt z vlastních zdrojů, nezní tento závěr vůbec pozitivně. Problém pro zajištění energetické bezpečnosti bude i s nahrazením ropy, ropných produktů a zemního plynu výhledově do roku 2050. Tady je ale stát už nyní naprosto závislý na dovozu a částečné pokrytí poptávky vlastním nízkoemisním vodíkem může energetickou bezpečnost a samostatnost naopak posílit. Dovození závislost na ostatních zemích tedy považujeme za danou. Další otázky energetické bezpečnosti ale zůstávají otevřené: dovoz čím, dovoz za co a dovoz za jakých podmínek? Tomu odpovídají tři strategické roviny: technická, ekonomická a regulační.

Tabulka 2: Dovození závislost ČR na fosilních palivech, data za rok 2018

	vlastní produkce (Mtoe)	dovoz (Mtoe)	závislost na dovozu (%)
uhlí (hnědé i antracit)	14,7	0,8	5
ropa a ropné produkty	0,2	9,8	98
zemní plyn	0,2	6,6	97

Zdroj: Evropská komise.

⁵³ Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1161 ze dne 20. června 2019, kterou se mění směrnice 2009/33/ES o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel.



4.1 Regulační rovina: podpora liberalizace evropského trhu s vodíkem

První podmínkou zajištění stabilních dodávek vodíku pro pokrytí poptávky v hard-to-abate sektorech nízkoemisním vodíkem je co nejrychlejší vznik evropského a globálního trhu, na kterém budou čeští dodavatelé moci vodík svobodě nakupovat. Jinými slovy: jak to udělat, aby se zelený/nízkoemisní vodík stal běžně obchodovanou komoditou? Tento požadavek, který je s ohledem na výše popsanou vodíkovou nesoběstačnost ČR klíčový, se realizuje na dvou úrovních: **regulační** (nastavení pravidel fungování trhu) a **technické** (vybudování fyzické infrastruktury pro přepravu většího množství vodíku).

Na otázku veřejné regulace vodíku v Česku lze nahlížet z pohledu vnitrostátní právní úpravy a snad ještě významněji, z pohledu ČR jako členského státu EU, který se podílí na její legislativní činnosti a který může ovlivňovat její zahraniční obchodní politiku. Nutnost vytvoření regulačního rámce vodíku na unijní a globální úrovni ostatně přiznávají i vodíkové strategie jiných členských států. Následující výčet není zdaleka vyčerpávající a představuje pouze náš výběr základních regulačních výzev spojených s vodíkem:

TECHNICKÉ, BEZPEČNOSTNÍ, METROLOGICKÉ STANDARDY VODÍKU (EU)

Je třeba zpracovat technické standardy a standardy pro bezpečnost výroby/skladování/přepravy/HRS a dalších zařízení a činností souvisejících s vodíkem. Jde například o kompatibilitu přípojek v čerpacích stanicích se všemi vodíkovými vozidly, bezpečnostní standardy skladování vodíku, případně elektrolyzérů, umožňující rozšířit stávající čerpací stanice na HRS, standardy vodíkových nádrží a mnohé jiné. Zde může být inspirací např. Nizozemsko, které počínaje rokem 2020 spustilo čtyřletý „Hydrogen Safety Innovation Programme“, který jako PPP zapojuje vládu, provozovatele energetické distribuční a přepravní infrastruktury, záchranné sbory, výzkumné a akademické instituce a soukromé společnosti. Cílem tohoto projektu je identifikovat bezpečnostní rizika vodíkového systému a přinášet jejich řešení. Výsledná řešení takovýchto kolaborativních fór je třeba legislativně implementovat minimálně na unijní úrovni. Pokud se chce Česko do tohoto procesu aktivně zapojit, mělo by podobným způsobem identifikovat hlavní výzvy, jinak může být česká perspektiva opomenuta.

ZÁRUKY PŮVODU (PROOFS OF ORIGIN) VODÍKU (EU)

Vzhledem k primárně dekarbonizační funkci většího zapojení vodíku do energetického systému je třeba pro účely vnitřního evropského ale i mezinárodního trhu systematizovat druhy vodíku (viz níže) a zavést záruky původu, které umožní nakupujícím věrohodně určit původ vodíku. Tento požadavek je nutný mj. také z důvodu plnění závazků z effort sharingu, určení zda obchodníkovi/koncovému spotřebiteli vzniknou povinnosti v rámci systému ETS, či případně pro aplikaci plánovaného systému border tax adjustment, v případě dovozu vodíku na vnitřní evropský trh.

DEFINICE VODÍKU (EU)

V souvislosti s výše uvedeným požadavkem je třeba na evropské a nejlépe také na mezinárodní úrovni zavést systém definic vodíku podle původu, umožňující určit metodu jeho výroby a v posledku jeho uhlíkovou intenzitu. Z hlediska využití (především pro palivové články v dopravě) má význam i specifikace vodíku podle čistoty. V současnosti je přístup k této otázce značně rozdílný, když např. strategie EU pracuje s dělením (podle původu) na „electricity-based, obnovitelný, čistý, fossil-



based a nízkouhlíkový vodík“, německá strategie má „šedý, zelený, modrý a tyrkysový vodík“, nizozemská „bezuhlíkový, udržitelný, čistý, modrý, šedý a zelený“ a návrh české strategie MPO pracuje (při dělení podle původu) s „nízkoemisním, obnovitelným a ostatním vodíkem“.

PODPORA MEZINÁRODNÍHO OBCHODU (EU)

Jak vyplývá mj. z Vodíkové strategie EU, pokud má být pomocí vodíku dekarbonizována alespoň část hard-to-abate sektorů, Evropská unie se stane ve středně a dlouhodobém horizontu (stejně jako ČR) čistým importérem vodíku. Z tohoto důvodu je v zájmu ČR podpořit EU při sjednávání mezinárodních obchodních dohod a při formování mezinárodního trhu s vodíkem podle unijních zájmů. EU má v tomto ohledu v současnosti náskok oproti Spojeným státům a je více než žádoucí toho využít.

VNITROSTÁTNÍ LEGISLATIVNÍ RÁMEC VODÍKU (CZ)

Výrazné mezery bránící rozvoji vodíkového energetického systému nalézáme i na vnitrostátní úrovni. S vodíkem jako nosičem energie nepracuje Státní energetická koncepce ani nepatří mezi komodity evidované ČSÚ a ERÚ. V energetickém zákoně není vodík definován jako energetický plyn a není možné jej vtlačet do plynárenské soustavy. S ohledem na výše uvedené se jeví jako nezbytné zpracovat studii identifikující nezbytné regulační změny na vnitrostátní úrovni, které vytvoří legislativní rámec pro zapojení vodíku do energetického systému.

4.2 Technická rovina: vybudování vodíkové infrastruktury

Na technické úrovni si využití vodíku vyžádá vybudování dostatečné kapacity pro potrubní přepravu a přepravu v nádobách, vybudování sítě čerpacích stanic a plošnou úpravu koncových zařízení. Toto téma zpracujeme do samostatného výstupu.

4.3 Ekonomická rovina: Příležitost ke strukturální proměně ekonomiky

Česká republika má jeden z nejvyšších podílů průmyslové výroby a jeden z nejvyšších počtů průmyslových zaměstnanců v ekonomice v Evropské unii.⁵⁴ Nyní hrozí, že nebude mít ani v dlouhodobém výhledu dostatek vodíku, biopaliv a jiných zdrojů nahrazujících současnou spotřebu ropy, ropných derivátů, zemního plynu a uhlí. Pokud si má svou průmyslovou dominanci zachovat, bude muset čistou energii a nosiče čisté energie (nízkoemisní vodík) nakupovat a dovážet ze zahraničí. Totéž platí analogicky pro nepalivové využití fosilních zdrojů.

Jak jsme upozornili výše, Česká republika je už nyní vysoce závislá na dovozu fosilních paliv; to jí přesto nebránilo v dlouhodobém ekonomickém růstu. Předpoklad je takový, že nezáleží na tom, kolik energie země doveze, ale jakou hodnotu s její pomocí vytvoří - čili na produktivitě ekonomiky. Záporné saldo na trhu energií lze kompenzovat kladným saldem na trhu průmyslových výrobků, alespoň pokud jsou oba trhy součástí jednotného evropského trhu spojeným se zákazem diskriminace.

Na závěry předchozí části lze pohlížet v tomto světle: na rozdíl od exportérů vodíku se Česká republika nemusí mít na pozoru před tzv. prokletím přírodních zdrojů (resource curse). To hrozí státům s vysokým množstvím přírodních zdrojů, které místo strukturální proměny směřem k vyšší produktivitě ekonomiky

⁵⁴ Eurostat, „Manufacturing statistics - NACE Rev. 2“, 16. 03. 2021, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/10086.pdf>, s. 4.



technologicky „zakrň“ ve snaze maximalizovat extrakci svých přírodních zdrojů. Závislost na komoditách se negativně projeví nejen s vyčerpáním přírodních zdrojů (v případě obnovitelného vodíku ne vyčerpáním, ale intermitentností jejich výroby), ale i s fluktuací ceny těchto komodit na mezinárodním trhu. Naopak ekonomiky jako Švýcarsko, Japonsko nebo Jižní Korea dlouhodobě čelí nedostatku přírodních zdrojů, přesto se těší vysokému HDP na obyvatele a dostatku energií a surovin pro své podniky.

Klíčem k úspěchu vysoce produktivních ekonomik je mj. (1) úzká a cílená spolupráce mezi státem, firmami, univerzitami a výzkumnými centry, (2) personálně vybavenými kvalifikovanými zaměstnanci, kde (3) inovativní instituce mají přístup ke kontinuální podpoře výzkumu a vývoje klíčových technologií, které jsou následně (4) pod patentovou ochranou.⁵⁵ (5) Pro prototypy pak musí existovat fast-track mechanismy, s jejichž pomocí se dostanou do sériové výroby.

Přestože výše uvedené by mělo ideálně platit pro celou ekonomiku, domníváme se, že „pěstounství“ (fostering) bude zvláště důležité právě v kontextu vodíkových vyspělých technologií (high tech). Česká republika se sice nestane hlavním dodavatelem vodíku pro Evropskou unii, může se však zařadit mezi přední vývojáře a dodavatele technologií, s jejichž pomocí se vodík vyrábí, přepravuje, skladuje a spotřebovává, včetně čerpacích stanic.

Institucionální základ už v současnosti má. Jsou to dedikované výzkumné instituce jako Ústav jaderného výzkumu Řež nebo Centrum energetických a environmentálních technologií při VŠB - založení dalších by vláda mohla iniciovat. Obdobně i Německo počítá ve své vodíkové strategii s vybudováním výzkumných center pro všechny články vodíkového hodnotového řetězce.

O vodík se už nyní zajímají zástupci byznysu. Pro představu jsme sestavili následující přehled. Jde o příklady podniků se sídlem v České republice způsobilých sériové či zakázkové výroby svých vodíkových technologií, nebo alespoň vyvíjejících prototypy připravené pro budoucí sériovou či zakázkovou výrobu.

Tabulka 3: Příklady českých podniků způsobilých k výrobě vodíkových technologií/ vyvíjejících příslušné prototypy

Podnik	Vodíková technologie
LEANCAT s. r. o.	katalyzátor bez platiny, vysokozdvížné vozíky
Škoda Electric & Proton Power System	autobusy
Linde Material Handling	vysokozdvížné vozíky
DEVINN	1. mobilní palivové články H2Base, 2. vývoj a stavba vodíkové nabíjecí stanice pro elektromobily
CYLINDERS HOLDING a. s.	vysokotlaké lahve pro uchovávání vodíku
ÚJV Řež, a. s.	PEM elektrolyzér a zásobník na stlačený vodík, PEM palivový článek, TriHyBus, PowerBox - vodíkový záložní zdroj
HYUNDAI	vodíková osobní vozidla
Chart Ferox, a. s.	kryogenní nádrže
Solar Global	elektrolyzéry

Zdroj: autoři.

⁵⁵ Leigh Dayton, „How South Korea made itself a global innovation leader“, Nature, 27. 05. 2020, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01466-7>.



Dále existují společnosti, které zájem o sériovou výrobu vodíkových technologií podle našich informací dosud nepotvrdily, v budoucnu by však při vhodně nastavených podmínkách mohly, protože nyní vyvíjejí zařízení, které by vodíkové technologie mohly z trhu vytlačit. Řeč je třeba o silném českém vývoji, testování a exportu leteckých motorů.

Závěr

Role vodíku mimo tradiční sektory jeho využití bude nabývat na důležitosti. Rychlost, jakou bude tento proces probíhat, závisí mimo jiné na vývoji vodíkových technologií a s tím spojeným snižováním ceny nízkoemisního vodíku a stejnou měrou na ekonomickém zatížení emisí skleníkových plynů, které minimálně v EU hraje čím dál významnější roli. V tomto ohledu si jistě zaslouží zvýšenou pozornost revize systému ETS a effort sharingu, plánovaná na letošní léto. Ve výsledku je však jisté, že naplnění českých klimatických závazků se neobejde bez dekarbonizace hard-to-abate sektorů a dekarbonizace hard-to-abate sektorů se neobejde bez vodíku.

Z naší analýzy vyplynulo, že dovoz vodíku v roce 2040 přesáhne při relativně stejné spotřebě energií v hard-to-abate sektorech, ekologickém a udržitelném využití biopaliv a bez revoluce ve zvyšování energetické účinnosti hodnotu milionu tun ročně. To znamená orientačně více než 12 000 vagonů ročně.⁵⁶ Přeprava v takovém objemu si pochopitelně bude vyžadovat jiný způsob dopravy než železniční vagony, a tedy velmi významné zásahy do technické infrastruktury, jejichž popis by se rozsahem dostal mimo možnosti této analytické práce. Pokud však chystaná vodíková strategie MPO počítá s realizací prvních projektů úprav plynárenské soustavy až na konci 30. let tohoto století (potrubní přeprava vychází levněji na připravený tunokilometr než přeprava v nádobách), je téměř jisté, že vodík bude ve střednědobém výhledu vysoce nedostatkovým zbožím. Hrozba odlivu části českého průmyslu do zemí s připravenou vodíkovou infrastrukturou je za těchto okolností velmi reálná.

Náš policy paper se věnoval zejména českému kontextu. Pro využitelnost vodíku však bude stěžejní především vývoj na úrovni EU a třetích zemí. Bude v létě 2021 rozšířen systém ETS také na dopravu? Uchýlí se Evropská unie k povinným kvótám pro spotřebu vodíku v průmyslu, a jestli ano, jak budou vysoké? Jak se k vodíku postaví nová americká administrativa? A podaří se snížit cenu námořní dopravy vodíku ve formě LH₂, čpavku nebo organického nosiče vodíku tak, aby státy Evropské unie mohly s třetími zeměmi obchodovat na globální úrovni?

⁵⁶ Podle odhadů návrhu Vodíkové strategie ČR, který cituje odhady německé vodíkové strategie (s. 39).



PŘÍLOHA Č. 1

Výpočet spotřeby fosilních paliv v dopravě a jejich nahrazení alternativními palivy – odečítací metoda

Položka (jednotka)	Rok	Hodnota
kumulovaná energetická spotřeba 5 vybraných průmyslových činností podle ČSÚ (PJ)	2019	123,9
výhřevnost vodíku (MJ/kg)		119,55
výhřevnost biometanu (MJ/kg)		50
výhřevnost algae bionafty (MJ/kg)		30
výhřevnost nafty (MJ/kg)		42
výhřevnost leteckého benzínu BP Jet A-1 (MJ/kg)		43
výhřevnost CNG (MJ/m ³)		38
podíl účinnosti spalovacího motoru a účinnosti elektromotoru se spalovacím článkem (tank-to-wheel)		0,5
spotřeba nafty v ČR (kg)		5000000000
odhadovaná průměrná spotřeba dieselového osobního vozidla (l/100 km)		5,5
odhadovaný průměrný roční nájezd (km)		25000
odhadovaný počet osobních dieselových vozidel (ks)		2000000
odhadovaná celková roční spotřeba osobních dieselových vozidel (kg)		2250000000
odhadovaná celková roční spotřeba jiných než osobních dieselových vozidel (kg)		2750000000
A1 spotřeba energie dieselovými vozidly jinými než osobními za rok (MJ)		115500000000
prodej CNG v České republice za rok (m ³)	2018	75800000
A2 spotřeba energie CNG vozidly za rok (MJ)		2880400000



A3 prodej leteckého benzínu v ČR za rok (MJ)	2019	13000000000
prodej leteckého benzínu v ČR za rok (kg)		302325581,3 9
odvozená roční spotřeba nafty, CNG a leteckého benzínu (A1+A2+A3) v PJ		131,3804
B1 teoretické množství vodíku k nahrazení nafty a CNG (kg)		495108322,8 8
B2 teoretické množství biometanu k nahrazení nafty a CNG (kg)		2367608000
B3 teoretické množství algae bionafty k nahrazení nafty a CNG (kg)		3946013333, 33
B4 teoretické množství vodíku k nahrazení leteckého benzínu při stejné účinnosti cyklu (kg)		108741112,5
C1 teoretické množství vodíku k nahrazení nafty, CNG a leteckého benzínu (B1+B4, kton)		603,85
D1 teoretické množství vodíku k nahrazení fosilních paliv v 5 vybraných průmyslových sektorech (kton)		1036,82
D2 teoretické množství biometanu k nahrazení fosilních paliv v 5 vybraných průmyslových sektorech (kton)		2478
teoretické množství vodíku ve vybraných sektorech průmyslu a dopravy		1640,67
S1 roční spotřeba vodíku podle Návrhu Vodíkové strategie ČR (kton)	2040	214,3
balance vodíku ve vybraných hard-to-abate sektorech (v kton) v roce 2040 při výlučném nahrazení vodíkem a konstantní skutečné spotřebě (C1+D1-S1)		-1673,92
E1 potenciál roční výroby biometanu v roce 2030 podle EFG (kton)	2030	70
E2 extrapolace E1: výroba biometanu v roce 2040 při zdvojnásobení výroby během 10 let	2040	140
balance biometanu ve vybraných hard-to-abate sektorech (v kton) v roce 2040 při výlučném nahrazení biometanem a konstantní skutečné spotřebě (D2-E2)	2040	-2338



Asociace pro mezinárodní otázky (AMO)

AMO je nevládní nezisková organizace založená v roce 1997 za účelem výzkumu a vzdělávání v oblasti mezinárodních vztahů. Tento přední český zahraničně politický think-tank není spjat s žádnou politickou stranou ani ideologií. Svou činností podporuje aktivní přístup k zahraniční politice, poskytuje nestrannou analýzu mezinárodního dění a otevírá prostor k fundované diskusi.



+420 224 813 460



www.amo.cz



info@amo.cz



Žitná 608/27, 110 00 Praha 1



www.facebook.com/AMO.cz



www.twitter.com/amo_cz



www.linkedin.com/company/amocz



www.youtube.com/AMOCz

Martin Madej

Martin Madej je analytikem Výzkumného centra AMO. Vystudoval právo na Univerzitě Karlově a na Univerzitě v Oxfordu. Ve spolupráci s Aliancí pro energetickou soběstačnost sleduje nové trendy v energetickém sektoru. Specializuje se na tzv. agrivoltaiku, tedy propojení zemědělství s výrobou elektřiny. Zajímá se ale také o nízkoemisní vodík a oběhové hospodářství.



martin.madej@amo.cz

Jáchym Srb

Jáchym Srb je analytikem Výzkumného centra AMO. V současnosti se zabývá tématem energetické transformace a mitigačních opatření na úrovni EU. Vystudoval právo a Balkánská, euroasijská a středoevropská studia na Univerzitě Karlově. Absolvoval půlroční studijní pobyty na moskevské Lomonosově univerzitě a na pařížské Sciences Po. V roce 2020 absolvoval půlroční pracovní stáž v Evropské komisi na DG Energy.



jachym.srb@amo.cz

Policy paper vznikl v rámci projektu „Změna klimatických politik“, podpořeného European Climate Foundation.

Peer review: Oldřich Sklenář a Tomáš Jungwirth

Zpracování grafik: Jaroslav Kopřiva