



METODIKA

T A
Č R

www.cvrez.cz

Program **Doprava 2020+**

Datum vytvoření: 15. 4. 2024

Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR

TA ČR CK02000044

Výsledek CK02000044-V3 Metodika
Vývoj výstavby veřejných plnicích stanic vodíku do r. 2050

Vycházející z WP3 – Návrh sítě vodíkových plnicích stanic v ČR a jejich rozvoj v daném časovém horizontu (2020-2050)

Řešitelé:
Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
EGÚ Brno, a. s.
ÚJV Řež, a. s.

CENTRUM VÝZKUMU ŘEŽ S.R.O.

Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec, Česká republika
T: +420 266 173 181, F: +420 266 172 398
E: cvrez@cvrez.cz, W: www.cvrez.cz







CVŘ | Centrum
výzkumu Řež



Skupina ÚJV
TECHNOLOGIE | INOVACE | LIDÉ



Přehled autorů:

ŘEŠITEL		AUTOR
Centrum výzkumu Řež s.r.o. Hlavní řešitel		Ing. Petr Polívka Ing. Martin Šilhan, Ph.D., MBA
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.		Mgr. Ing. Petr Polanský Mgr. Michal Šimeček, Ph.D. Ing. et Ing. Libor Špička Ing. Bronislav Vahalík Ing. Vojtěch Příkryl
EGÚ Brno, a. s.		Mgr. Michal Kocůrek, M. A. Ing. Martin Pešek, Ph.D., MBA
ÚJV Řež, a. s.		Ing. Jiří Štefanica, Ph.D. Ing. Aleš Doucek, Ph.D.

Tento výsledek CK02000044-V3 Vývoj výstavby veřejných plnicích stanic vodíku do r. 2050 vznikl v rámci řešení projektu CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy v Programu Doprava 2020+



Obsah

1. Úvod	6
2. Cíl metodiky	7
2.1. Základní technické pojmy	7
3. Výchozí předpoklady rozvoje sítě VČS	11
3.1. Časový harmonogram dle Evropské Komise	11
3.2. Plány výstavby čerpacích stanic ve vybraných zemích EU	11
3.2.1. Německá vodíková strategie	12
3.2.2. Polská vodíková strategie	13
3.2.3. Vodíkové strategie dalších zemí	13
3.3. Výchozí stav v ČR (před rokem 2020)	14
3.4. Analýza současného stavu v ČR (2020–2025)	15
3.5. Analýza stavu v blízké budoucnosti v ČR (v období 2025–2030)	16
3.6. Analýza stavu vzdálené budoucnosti v ČR (v období 2030–2050)	17
3.7. Analýza vývoje transportu vodíku v ČR (v období 2020–2050)	19
3.7.1. Silniční transport vodíku	19
3.7.2. Potrubní doprava vodíku	19
3.8. Scénáře	24
4. Rozvoj sítě VČS	25
4.1. Výchozí stav rozvoje sítě VČS v ČR	25
4.1.1. Spotřeba uhlovodíkových paliv v dopravě	25
4.1.2. Přehled zdrojů vodíku	26
4.1.3. Přehled vodíkových čerpacích stanic	30
4.2. Rozvoj sítě VČS splňující minimální požadavky AFIR	33
4.2.1. Výchozí předpoklady	33
4.2.2. Metodický postup	34
4.3. Rozvoj sítě VČS na základě scénářů spotřeby vodíku	38
4.3.1. Výchozí předpoklady	38
4.3.2. Rozdělení spotřeby vodíku na kraje ČR	38
4.3.3. Lokalizace VČS – síťové analýzy	42
4.3.1. Výsledek síťové analýzy	45
4.4. Výchozí podklady a vstupní data	46
4.4.1. Síť TEN-T	46



4.4.2.	Seznam městských uzlů	47
4.4.3.	Spotřeba vodíku dle scénářů	48
4.4.4.	Intenzity dopravy	49
4.4.5.	Seznam čerpacích stanic pohonných hmot v ČR	51
4.4.6.	Seznam vodíkových čerpacích stanic	51
4.4.7.	Seznam zdrojů vodíku	52
4.4.8.	Terminály kombinované dopravy	53
4.4.9.	Kritéria rozvoje infrastruktury a jejich váha	54
5.	Souhrn	57
6.	Literatura	59

Seznam obrázků

Obrázek 1: Iniciativa „Středoevropský vodíkový koridor“ pro import vodíku z Ukrajiny	21
Obrázek 2: Iniciativa „SunsHyne koridor“ pro import vodíku ze Severní Afriky	22
Obrázek 3: Iniciativa „Česko-německé vodíkové propojení“ pro import vodíku z Pobaltí a severního Německa	23
Obrázek 4: Plynovody společnosti NET4GAS [39]	24
Obrázek 5: Podíl spotřeby energie podle kategorie vozidel	26
Obrázek 6: Tankování vozidla na první veřejné čerpací stanici	33
Obrázek 7: Postup rozvoje sítě VČS v městských uzlech	35
Obrázek 8: Postup rozvoje sítě VČS na hlavní síti TEN-T	37
Obrázek 9: Příklad vizualizace výstupů ze síťových analýz	45
Obrázek 10: Mapa sítě TEN-T (zdroj: CDV	47
Obrázek 11: Mapa TEN-T městských uzlů	48
Obrázek 12: Vizualizace dat ČÚZK	51
Obrázek 13: Provozované a plánované VČS	52
Obrázek 14: Provozované a plánované elektrolyzéry, případně jiné druhy výroby vodíku	53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Počty vozidel a čerpacích stanic v letech 2030 a 2050 dle bavorské strategie	12
Tabulka 2: Výhled počtu vodíkových vozidel v roce 2030 dle aktualizovaných odhadů	16
Tabulka 3: Zdroje vodíku v ČR	27
Tabulka 4: Přehled stávajících velkokapacitních výrobní vodíku v ČR [48]	29
Tabulka 5: Přehled veřejných vodíkových čerpacích stanic k roku 2023	30
Tabulka 6: Přehled neveřejných vodíkových čerpacích stanic k roku 2023	31
Tabulka 7: Příklady VČS	32



Tabulka 8: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2030 – referenční scénář	39
Tabulka 9: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2040 – referenční scénář	39
Tabulka 10: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2050 – referenční scénář.....	40
Tabulka 11: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2030 – koncepční scénář.....	40
Tabulka 12: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2040 – koncepční scénář.....	41
Tabulka 13: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2050 – koncepční scénář.....	41
Tabulka 14: Výsledky síťových analýz – počet VČS.....	46
Tabulka 15: Budoucí spotřeba vodíku v referenčním scénáři	49
Tabulka 16: Budoucí spotřeba vodíku v koncepčním scénáři	49
Tabulka 17: Skupiny vozidel pro prognózy intenzit dopravy	50
Tabulka 18: Kritéria ovlivňující prostorové rozmístění infrastruktury	55
Tabulka 19: Kritéria ovlivňující kapacitu infrastruktury	56

Seznam zkratk

AFIR	Evropské nařízení o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (The alternative fuels infrastructure regulation)
ČS	Čerpací stanice (pro stávající uhlovodíková paliva)
FC	Palivový článek (Fuel cell)
NAP ČM	Národní akční plán čisté mobility
NEKP (NECP)	Národní energeticko-klimatický plán, Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu
NJZ	Nové jaderné zdroje
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PEM	Proton-výměnná membrána (Proton-exchange membrane)
POK	Politika ochrany klimatu ČR
PPA	Smlouva o nákupu elektřiny (Power purchase agreement)
RFNBO	Obnovitelná paliva nebiologického původu (Renewable fuels of non-biological origin), vyrobená z obnovitelné energie (jako jsou například vodík nebo E-paliva)
SEK	Státní energetická koncepce ČR
SOFC	Palivový článek na bázi pevných oxidů
TEN-T	Mezinárodní dopravní síť
VČS	Vodíková čerpací stanice
VHD	Veřejná hromadná doprava
ZP	Zemní plyn



1. Úvod

Rozvoj vodíkových technologií v ČR předurčují v současnosti zejména tyto strategické dokumenty: Národní energeticko-klimatický plán (NEKP), Státní energetická koncepce ČR (SEK), Politika ochrany klimatu ČR (POK), Vodíková strategie ČR, Národní akční plán čisté mobility (NAP ČM), Akční plán pro rozvoj malých modulárních reaktorů, podkladová studie pro výstavbu dalších nových jaderných zdrojů (NJZ) a další. Některé z uvedených strategických dokumentů procházejí aktualizací. Metodika „Vývoj výstavby veřejných čerpacích stanic vodíku do r. 2050“ je výstupem řešení projektu Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR (TA ČR CK02000044), vychází z kapitoly WP3 (Návrh sítě vodíkových čerpacích stanic v ČR a jejich rozvoj v daném časovém horizontu (2020-2050). Výstup využijí orgány státní správy a municipalit při koncepčním plánování rozvoje infrastruktury vodíkové mobility. Zohledněny byly logistické, ekonomické, bezpečnostní a společenské aspekty, včetně vzdálenosti mezi stanicemi, dostupnosti forem distribuce vodíku a dopravního významu lokalit. Byla provedena analýza ochoty a potřeb firem pro podílení se na vodíkovém dodavatelském řetězci.

Předkládaný materiál má formu metodiky schválené Ministerstvem dopravy. Zahrnuje definice kritérií pro strategický rozvoj a rozmístění vodíkových čerpacích stanic a vytipování kritických míst v ČR.

Dekarbonizace dopravy bude z velké části provedena elektrifikací. Očekává se, že do roku 2050 bude na různé druhy elektrického pohonu (bez zahrnutí palivových článků) provozováno 96 % osobních vozidel, 48 % nákladních vozidel a 58 % autobusů dle Vodíkové strategie ČR [1]. Další nosiče energie, zejména vodík, se uplatní v segmentech dopravy, které je obtížnější dekarbonizovat výše uvedenou elektrifikací. Ke snížení emisí bude dále zapotřebí výroby RFNBO (obnovitelná paliva nebiologického původu) včetně E-paliv [2]. Obnovitelný a nízkouhlíkový vodík nejsou v současnosti nákladově konkurenceschopné vůči vodíku na bázi fosilních paliv. Aby EU urychlila dekarbonizaci dopravy, podpořila velký počet projektů elektrolýzy s cílem získat průmyslové know-how a rychle snížit náklady vodíkových technologií.

V souladu s aktuální legislativou v textu této metodiky používáme pojem „vodíková čerpací stanice“ (VČS) místo staršího termínu „vodíková plnicí stanice“, toto neplatí pro dříve vytvořené dokumenty, včetně zadání metodiky.



2. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je vytvořit nástroj orgánům státní správy, zejména pak Ministerstvu dopravy (MD), Ministerstvu životního prostředí (MŽP) a Ministerstvu průmyslu a obchodu (MPO), pro efektivní a koncepční rozvoj vodíkové mobility, především s ohledem na využití nízkoe emisního vodíku. Vodíkové hospodářství v dopravě ČR je v kontextu projektu chápáno jako nástroj pro plnění závazků ČR o snižování emisí CO₂ a v dlouhodobém horizontu jako nástroj pro snižování závislosti na zahraničních energetických zdrojích v dopravním sektoru ČR.

Cílem metodiky je návrh na vývoj výstavby veřejných čerpacích stanic vodíku v ČR a jejich rozvoj do roku 2050. Metodika zahrnuje definice kritérií pro strategický rozvoj a rozmístění vodíkových čerpacích stanic a vytipování kritických míst. Zahrnuje předpokládaný postup, jak vytvořit podmínky pro náhradu fosilních paliv vodíkem včetně výroby a transportu vodíku až na čerpací stanici.

2.1. Základní technické pojmy

Vodíková čerpací stanice (VČS)

Vodíková čerpací stanice je fyzická instalace technického zařízení pro plnění vozidel vodíkem, která se skládá z hlavních částí:

- skladovací nádrž vodíku
- kompresor
- výdejný stojan zakončený přípojným konektorem.

K jednomu výdejnímu stojanu lze připojit vždy pouze jedno vozidlo. Počet výdejných stojanů instalovaných na čerpací stanici tak udává počet plnicích bodů. Vícestojanová čerpací stanice je konstruována tak, že současně lze na stejné tlakové hladině čerpat více vozidel najednou.

Kapacita čerpací stanice

Uvažovaná modelová stanice dle evropského nařízení o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (AFIR) [3] poskytuje na hlavní síti TEN-T denní výdej 1 t H₂, což představuje naplnění až 200 osobních vozidel. Skladová zásoba stanice je 2 t H₂ a tak zajišťuje dostatečnou kapacitu (tj. množství vodíku ve VČS) pro kontinuální výdej vodíku včetně 1 denní rezervy pro zásobování. Mimo hlavní síť TEN-T není kapacita vodíkové čerpací stanice definovaná, resp. limitovaná.

Plnicí tlaky

Pro plnění vozidel se používají dvě tlakové hladiny. Nižší tlaková hladina 350 bar je určená pro plnění nákladních vozidel, autobusů a dále pak u vlaků a lodí, které mají nádrže o objemu až stovek litrů. Vyšší tlaková hladina 700 bar se využívá pro plnění osobních vozidel, které mají nádrž o objemu obvykle vyšších desítek litrů.

Výdejný stojan a konektor

Výdejný stojan je zařízení, určené pro čerpání určeného množství vodíku ze skladovací nádrže vodíku ve VČS do nádrže vozidla. Výdejný stojan musí splňovat všechny bezpečnostní a funkční parametry pro správný provoz. K bezpečnostním parametrům patří těsné připojení k vozidlu, těsnost systému,



zábrana přetržení hadice tržnou pojistkou, omezení průtoku na 60 g/s a kontrola tlaku a teploty. Hadice výdejního stojanu musí být flexibilní a snést nízké teploty až $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vysoké tlaky až 700 barů. Z tohoto důvodu se používají hadice s výztužnou vrstvou, kde je důležitý výběr materiálů z důvodu křehnutí materiálu v přítomnosti vodíku.

Pro plnění plynného vodíku se používá vysokotlaký konektor – čerpací rychlospojka. Tato musí odpovídat normě ČSN EN ISO 17268. Rychlospojka musí zajistit rozlišení čerpacích přetlaků, čerpací přípojky musí zajistit vodivé (průtočné) spojení s mobilním zařízením, odolávat proudícímu vodíku a provoznímu tlaku [4].

Vodíková vozidla

Vodíkové vozidlo je motorové vozidlo, které využívá jako zdroj energie vodík. Vodík se skladuje buď ve stlačeném stavu (plyn) v tlakové nádrži nebo v kapalném stavu (kapalina) v kryogenní nádrži. Existují dva základní typy vodíkového pohonu. V jednom se vodík v palivovém článku přemění na elektrickou energii, kterou se pohání elektromotor. V druhém se vodík spaluje a energie se mechanicky přenáší na kola.

Předpokládáme, že v dopravních aplikacích budou výrazně převládat technologie na bázi palivových článků. Spalování vodíku ve spalovacích motorech bude mít menšinové zastoupení. Podklady pro tvrzení jsou obsaženy například ve Vodíkové strategii ČR (kap. 3.1.10) [1]. Za výrazný problém spalování směsi s vodíkem považujeme mimo jiné nízkou účinnost (chudá směs) a vznik emisí oxidů dusíku (NO_x).

Nízkoemisní vodík

Nízkoemisní vodík je definován jako vodík, při jehož výrobě vzniká max. 30 % emisí v porovnání s fosilním komparátorem (tj. cca 3,38 kg CO_2 na 1 kg H_2). Přesná metodika pro výpočet emisní stopy by měla být Evropskou unií specifikována po roce 2024.

Obnovitelný vodík

Obnovitelný vodík je takový, který splňuje všechna pravidla uvedená v Aktu v přenesené pravomoci k RFNBO [2]. Obnovitelným může být označen pouze vodík vyráběný elektrolýzou vody za pomoci obnovitelné elektřiny. Dále musí splnit 3 pravidla – adicionalita, časová korelace, geografická korelace.

Šedý vodík

Šedý vodík je obecně takový vodík, který nespĺňuje definici nízkoemisního vodíku nebo obnovitelného vodíku.

Adicionalita

Pojem adicionalita (doplňkovost) vychází z Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184 a jde o jedno z kritérií [5], která musí být splněna, aby mohl být vodík vyrobený elektrolýzou klasifikován jako plně obnovitelný. Pokud je elektrolyzátor připojený přímo na OZE (obnovitelné zdroje energie) bez síťového propojení, nesmí být tyto OZE spuštěny více než 36 měsíců před spuštěním elektrolyzátoru. V tomto případě mohou OZE být investičně i provozně podpořeny. Tento případ platí i v případě, kdy je elektrolyzátor napojený na síť, ale neodebere z ní žádnou energii. Pokud je elektrolyzátor napojený na síť, musí být všechna jím spotřebovaná elektřina nakoupena přes smlouvu typu PPA (Power Purchase Agreement) kontrakty z OZE. Tyto OZE nesmí být spuštěny déle než 36 měsíců před spuštěním elektrolyzátoru a nesmí být nijak podpořeny. Výjimka: Projekty spuštěné před rokem



2028 mohou do roku 2038 uzavírat PPA kontrakty i s OZE staršími než 36 měsíců a zákaz podpory se na ně nevztahuje. Oba přístupy lze kombinovat, ale musí být odlišeno smart měřením, kdy se spotřebovává elektřina z přímých OZE a kdy ze sítě. Pokud dojde k rozšíření kapacity elektrolyzátoru během 36 měsíců od spuštění původní instalace, považuje se rozšíření za součást původní instalace.

Časová korelace

Pojem časová korelace vychází z Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184 a jde o jedno z kritérií, která musí být splněna, aby mohl být vodík vyrobený elektrolyzou klasifikován jako plně obnovitelný. Do konce roku 2029 je za plně obnovitelnou elektřinu pro výrobu vodíku považována taková, u které výrobce prokáže, že v průběhu každého měsíce spotřeba elektrolyzátoru nepřesáhla výrobu OZE (přímo napojených i PPA). Od roku 2030 musí výrobce prokazovat vyrovnanost výroby a spotřeby každou hodinu. Pokud je tržní cena elektřiny během dané hodiny nejvýše 20 € za MWh nebo 0,36× cena emisní povolenky na 1 t CO₂ (tj. jsou velké přebytky elektřiny), nemusí výrobce dokazovat časovou korelaci. Pokud výrobce kromě plně obnovitelné elektřiny používá i neobnovitelnou (např. si zvýší využití elektrolyzátoru výrobou ze sítě, když slunce nesvítí a vítr nefouká), pak se emisní stopa výroby průměruje. V takovém případě se všechny vyrobený vodík počítá jako X % RFNBO, kde X je procento plně obnovitelné energie použité k výrobě vodíku. Pokud průměrná emisní stopa přesáhne 3,38 kg CO₂ na kg H₂ (30 % emisí šedého vodíku) pak je všechny vodík vyrobený v daném časovém období neobnovitelný. Pokud se elektrolyzátor používá ke stabilizaci napětí/frekvence elektrické sítě, je všechna spotřebovaná elektřina považována za plně obnovitelnou – je třeba dokázat, že využití elektrolyzátoru spotřebovalo elektřinu z OZE, které by jinak byly odstaveny. Pravidla pro časovou korelaci budou v roce 2028 revidována.

Geografická korelace

Pojem Geografická korelace vychází z Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184 a jde o jedno z kritérií, která musí být splněna, aby mohl být vodík vyrobený elektrolyzou klasifikován jako plně obnovitelný. Elektrolyzátor se musí nacházet:

- a) ve stejné obchodní zóně jako OZE
- b) v propojené obchodní zóně, ale jen pokud je cena elektřiny ve státě, kde se elektrolyzátor nachází nižší nebo stejná jako ve státě kde se nachází OZE (zákaz nákupu levné energie ze zahraniční kvůli úzkým přeshraničním tokům)

Do roku 2025 musí členské státy EU zajistit min. 1 % podíl RFNBO, biopaliv a bioplynu na spotřebované energii v dopravě. Do roku 2030 je pak nutno zajistit podíl 5,5 % RFNBO, pokročilých biopaliv a bioplynu, z toho 1 % RFNBO – k cíli pro RFNBO je zaveden 2× multiplikátor, tedy se reálně jedná o 0,5 %.

Do roku 2035 bude podle Nařízení o blokových výjimkách (GBER) platit, že na dotačně podpořené vodíkové čerpací stanici se smí vydávat jakýkoliv vodík bez ohledu na způsob výroby či emisní stopu. Zároveň se ale každý příjemce dotace na VČS bude muset zavázat, že po roce 2035 bude na stanici vydávat pouze obnovitelný vodík. Z výše uvedeného vyplývá, že do roku 2035 je možné podporovat v dopravě vodík nezávisle na způsobu výroby a emisní stopě, ale jakýkoliv jiný než obnovitelný vodík splňující všechna pravidla uvedená v Aktu v přenesené pravomoci k RFNBO není možné započítat do povinných cílů stanovených EU. Na nízkoemisní vodík se v současnosti nevztahují žádné cíle a je tedy de facto na stejné legislativní úrovni jako vodík vyrobený z fosilních paliv.





Kategorie vozidel

Vyhláška č. 153/2023 Sb. o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích definuje 9 kategorií vozidel. Pro účely metodiky jsou uvažovány kategorie:

M – motorová vozidla konstruovaná a vyrobená především pro přepravu osob a jejich zavazadel,

N – motorová vozidla konstruovaná a vyrobená především pro přepravu zboží,

L – dvoukolová, tříkolová a čtyřkolová motorová vozidla,

T – kolové traktory,

C – pásové traktory,

Z – ostatní vozidla, která nelze zařadit do jiné kategorie.

Detailnější členění je uvedeno v příslušných předpisech Evropské unie upravujících schvalování vozidel. Vozidla kategorie T, C a Z jsou v metodice zařazena do skupiny označené jako LSZM (lesní, stavební, zemědělská a manipulační technika).





3. Výchozí předpoklady rozvoje sítě VČS

3.1. Časový harmonogram dle Evropské Komise

Evropská Komise vydala strategii k využití vodíku [6], ve kterých je rozdělen harmonogram k postupnému zavádění vodíkových technologií v dopravě na tři nesejně dlouhé fáze. V **první fázi**, která by měla trvat od roku 2020 do začátku roku 2025, si strategie klade za cíl zprovoznit první technologie a ustavit dobře fungující regulační rámec. Ve **fázi druhé**, která bude probíhat mezi léty 2025 a 2030, by se vodík měl stát „podstatnou součástí integrovaného evropského energetického systému“. V následné **třetí fázi**, která bude probíhat v letech 2030 až 2050, by pak technologie založené na čistém vodíku měly být postupně rozšířeny ve velkém měřítku a kapacitě a stát se podstatnou součástí integrovaného evropského energetického systému. Současně se ale očekává, že zavádění vodíku v různých sektorech a regionech bude postupovat v rozdílných rychlostech.

Podle Vodíkové strategie ČR bude sektor dopravy dominovat spotřebě nízkoemisního vodíku: v roce 2030 bude odpovědný za 65 % celkové spotřeby nízkouhlíkového vodíku v ČR. S rozvojem dalších (nedopravních) vodíkových technologií bude podíl dopravy na spotřebě klesat, v roce 2050 na 49 % celkové spotřeby nízkouhlíkového vodíku v ČR (viz kap. 2.3 Vodíkové strategie ČR [1]).

3.2. Plány výstavby čerpacích stanic ve vybraných zemích EU

Obecně neexistuje mnoho volně dostupných studií, které by uváděly odhady budoucího počtu vodíkových čerpacích stanic v zemích EU. V roce 2020 zveřejnilo sdružení Hydrogen Europe plány [7] na 100 000 vodíkových nákladních vozidel a 1 500 vodíkových čerpacích stanic v EU v roce 2030. V roce 2023 pak Hydrogen Europe odhadlo, že pro naplnění cílů AFIR bude dostatečně instalace cca 700 vodíkových čerpacích stanic (ke stávajícím VČS) v EU do roku 2030. Ke konci roku 2022 bylo v provozu v Evropě 254 VČS [8]. Relevantní průmyslové subjekty podporují tlakovou hladinu 700 bar současně i jako standard pro nákladní dopravu, očekává se tedy, že nové VČS budou pracovat na tlakové hladině 700 bar.

V současné době pracuje většina VČS s plyným vodíkem. Kapalný vodík na VČS je spíše výjimkou, jeho využití se předpokládá spíše při přepravě na velké vzdálenosti nebo při přepravě velkých množství vodíku. Společnosti, aktivní v oblasti vodíkových technologií, Air Products, společně s Aers Energy, začaly stavět v areálu přístavu Zeebrugge v Belgii [9] v roce 2023 první čerpací stanici, která bude dodávat i kapalný vodík na komerční bázi.

Vývoj vodíkových technologií v EU a Evropě dokládají informace z „vodíkových strategií“ z vybraných zemí EU a Evropy. Jde o země, sousedící s ČR, popřípadě o významné evropské ekonomiky.



3.2.1. NĚMECKÁ VODÍKOVÁ STRATEGIE

V rámci EU jsou vodíkové technologie v Německu rozšířené a jejich rozvoj podchycuje německá Národní vodíková strategie z roku 2020 a její aktualizace z roku 2023 [10, 11]. Dokument není příliš detailní a neobsahuje ani příliš mnoho číselných hodnot a dat. Pro ČR jsou potenciálně relevantní opatření 6 a 8. V opatření 6 byly do roku 2023 k dispozici 0,9 miliardy EUR na nákup užitkových vozidel s alternativním, klimaticky-šetrným pohonem a 0,6 miliardy pro autobusy s takovým pohonem. Tato čísla nezahrnují bateriová vozidla, tj. vozidla nevyužívající vodík. V opatření 8 bylo uvolněno 3,4 miliardy EUR pro vybudování dobíjecích stanic pro elektromobily a čerpacích stanic vodíku do roku 2023.

V roce 2023 byla provedena aktualizace (Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie), vybrané body s významem pro ČR jsou:

V krátkodobém horizontu do roku 2023

- „podkvóty“ pro RFNBO v silniční dopravě, do jisté míry i v letecké a námořní dopravě.
- snížení silničních poplatků pro vodíková nákladní vozidla
- zřízení inovačního a technologického vodíkového centra pro testování, zkušebnictví a vývoj a současně i pro stanovování rámcových podmínek (norem, standardů apod)

V dlouhodobém horizontu do roku 2030

- realizace dostatečně husté sítě vodíkových čerpacích stanic, především pro nákladní dopravu

K rokům 2023, resp. 2030, je naplánováno 400, resp. 1000, čerpacích stanic. Na základě koaliční dohody z roku 2022 bude vybudováno 10 GW elektrolyzérů do roku 2030.

Bavorská vodíková strategie

Vzhledem k významu sousedního regionu pro ČR je zde zmíněna i Bavorská vodíková strategie [12]. V roce 2050 se očekává roční spotřeba vodíku 1,8 – 3 mil. tun (60 – 100 TWh), která bude zajištěna výkony elektrolyzérů 21 – 36 GW. Tyto výrobní výkony budou umístěny převážně mimo Bavorsko, v zemích s příznivějšími klimatickými podmínkami pro výrobu nízkoemisního vodíku. V Německu je takovým regionem sever Německa s intenzivními větrnými toky. Mimo Německo se předpokládá Island, Norsko nebo Skotsko (Tabulka 1).

Tabulka 1: Počty vozidel a čerpacích stanic v letech 2030 a 2050 dle bavorské strategie

Položka	Počet vozidel v roce 2030	Počet vozidel v roce 2050
Osobní automobily	80 000	> 2 000 000
Nákladní automobily, autobusy	3 000	> 100 000
Čerpací stanice	400	2 000



3.2.2. POLSKÁ VODÍKOVÁ STRATEGIE

Polská vodíková strategie je komplexní dokument [13] s výhledem až do roku 2050, který je kromě krátkého souhrnu dostupný jen v polském jazyce. Bylo zde zpracováno několik variant rozvoje vodíkových technologií. V nejbližším období, do roku 2025, se v Polsku očekává zprovoznění 100 - 250 vodíkových autobusů a minimálně 32 vodíkových čerpacích stanic.

Období do roku 2030

Součástí strategie je **Analýza potenciálu vodíkových technologií v Polsku do roku 2030 s výhledem do roku 2040** [14], kde jsou uvedeny počty vodíkových vozidel do roku 2030:

- osobní automobily 2 500 – 91 750
- dodávky 1 025 – 25 370
- kamiony 210 – 3 140
- autobusy (městské) 500 – 2 000
- vlaky 10 – 60

Instalovaný příkon elektrolyzérů, produkujících nízkoemisní vodík, dosáhne hodnot 2 – 4 GW, což představuje cca 195 – 390 kt vodíku ročně, tj. přibližně 20 – 40 % celkové současné (platné k r. 2021) produkce vysoko- i nízko- emisního vodíku v Polsku. V dopravě se spotřebuje 6 – 152 kt vodíku ročně. Další významné spotřebitele vodíku představuje chemický, petrochemický a ocelářský průmysl.

Období do roku 2040

Pro rok 2040 se předpokládá instalace blíže neuvedeného počtu elektrolyzérů poháněných nízkoemisní elektřinou o celkovém příkonu 3 – 15 GW. Sektor dopravy spotřebuje 44 – 807 kt vodíku ročně.

3.2.3. VODÍKOVÉ STRATEGIE DALŠÍCH ZEMÍ

Francie

Vodíkovou strategii určují primárně dva dokumenty – National strategy for the development of decarbonised and renewable hydrogen in France z roku 2020 a Plan France 2030 z roku 2021 [15], [16]. Podle nich by ve Francii mělo být do roku 2030 vyráběno 700 kt nízkoemisního vodíku ročně a mělo by být instalováno 6,5 GW elektrolyzérů. V roce 2028 se plánuje provoz 800 – 2000 vodíkových autobusů.

Itálie

Strategie [17] z roku 2020 očekává instalaci 5 GW elektrolyzérů do roku 2030 – toto množství zajistí 2% zastoupení vodíku v konečné spotřebě energie v roce 2030. Do roku 2050 by měl podíl spotřeby vodíku vzrůst desetinásobně, tedy bylo by nutné vybudovat celkem 50 GW elektrolyzérů (*ceteris paribus*, tj. při nezměněných ostatních parametrech uvažovaného systému).

Maďarsko

Strategie [18] z května 2021 stanovuje cíle do roku 2030. Plánováno je vystavět 240 MW elektrolyzérů. V dopravě je plánováno spotřebovat 10 kt nízkoemisního vodíku ročně, vybudovat 20 čerpacích stanic a navíc 40 plnicích stanic, mít v provozu 4 800 vodíkových vozidel.



Nizozemí

Vládní vodíková strategie [19] byla vypracována v roce 2020. Podle ní by mělo být v letech 2025 a 2030 instalováno 0,5 GW a 4 GW elektrolyzérů. V roce 2025 by mělo být v provozu: 50 čerpacích stanic, 15 000 osobních vozů, 3 000 nákladních vozů. V roce 2030 pak 300 000 osobních vozů.

Rakousko

Do roku 2030 se plánuje instalace 1 GW elektrolyzérů [20]. Cíle v oblasti dopravy jsou popsány obecně, bez konkrétních číselných hodnot.

Slovensko

Národní vodíková strategie [21] z roku 2021 plánuje spotřebu vodíku: do roku 2030 200 kt/rok, do roku 2050 400 – 600 kt/rok, z uvedené spotřeby bude min. 90 % představovat nízkoemisní vodík. Akční plán Opatrenia pre úspešnú realizáciu Národnej vodíkovej stratégie [22] z roku 2022 plánuje počty čerpacích stanic: 3 do roku 2022, 8 do roku 2025 a 25 do roku 2030. Z tohoto počtu čerpacích stanic budou minimálně 2 na kapalný vodík, do roku 2030.

Španělsko

Dokument „Hydrogen Roadmap: a commitment to renewable hydrogen“ [23] z roku 2020 plánuje do roku 2030 instalaci více než 4 GW elektrolyzérů. Kromě toho by v té době mělo být 150-200 autobusů a 5000-7000 osobních i nákladních vozidel a 100 – 150 veřejných čerpacích stanic. Dále by měly být v provozu nejméně dvě komerční vlakové linky.

Velká Británie

Dokument [24], aktualizovaný v srpnu 2023, nekvantifikuje budoucí výrobu vodíku, ani budoucí počet čerpacích stanic. Realizací pilotního projektu bude pořízeno 4000 elektrických autobusů (s palivovým článkem nebo baterií). Do roku 2030 se plánuje instalace 5 GW nízkoemisních elektrolyzérů.

European Hydrogen Backbone [25] očekává, že v letech 2030, 2040 a 2050 budou v EU a Velké Británii vodíková vozidla tvořit 3 %, 25 % a 58 % celkové spotřeby energie v sektoru nákladní silniční dopravy. Vodík a od něj odvozená paliva v letech 2030, 2040 a 2050 budou tvořit 2 %, 13 % a 25 % celkové spotřeby energie v sektoru dopravy.

3.3. Výchozí stav v ČR (před rokem 2020)

Před rokem 2020 bylo v ČR v provozu jen několik málo vodíkových technologií. Výroba vodíku byla realizována převážně z fosilních paliv. Na produkci přímo navazuje jeho využití v chemických a potravinářských provozech tak, aby právě pokrýval požadovanou spotřebu. Vodík vzniká také jako vedlejší produkt, pochází z chemického průmyslu při zpracování uhlovodíků nebo při elektrolytických procesech (např. výroba chlóru).

Jedním z hlavních nástrojů snižování emisí CO₂ je přechod z fosilních paliv na nízkoemisní paliva a rozvoj čisté mobility. Očekává se, že vozidla na vodíkový pohon budou mít významné zastoupení zejména v nákladní dopravě. Do roku 2020 probíhaly v oblasti využití vodíku a vodíkové mobility



především výzkumné aktivity. Intenzivní vývoj ve vodíkových technologiích byl v tomto období zaměřen na uplatnění palivových článků s proton-výměnnou membránou (PEM) i na bázi pevných oxidů a elektrolýzy vody z obnovitelných zdrojů energie.

V letech 2009 – 2019 provozoval ÚJV Řež a. s. první pilotní projekt vodíkového autobusu TriHyBus, od roku 2009 provozuje také první vodíkovou čerpací stanici v ČR. Neveřejná vodíková čerpací stanice je umístěná v Neratovicích, používá pro zásobování autobusů a nákladních vozidel plnicí tlak 350 bar. V prosinci 2020 ÚJV Řež a. s. představila prototyp neveřejné malé vodíkové čerpací stanice [26] pro osobní a užitková vozidla, která pracuje s plnicím tlakem 700 bar a je umístěná v Řeži. K roku 2020 tedy v ČR byla v provozu jedna neveřejná VČS a žádná veřejná VČS.

3.4. Analýza současného stavu v ČR (2020–2025)

Vláda ČR dne 26.7.2021 přijala dokument: Vodíková strategie České republiky [1], který navazuje na evropskou vodíkovou strategii. Hlavní pilíře Vodíkové strategie České republiky představují – vodíkové technologie, výroba vodíku, jeho doprava a skladování, využití vodíku. V průběhu roku 2024 se očekává schválení aktualizace Vodíkové strategie České republiky, která bude reflektovat revidovanou evropskou směrnici o obnovitelných zdrojích tzv. RED III.

Podle dat Vodíkové strategie ČR z roku 2021 se v roce 2030 spotřebuje v dopravě 62 kt vodíku ročně, z toho množství 46 kt v nákladní automobilové dopravě a 7 kt v osobní automobilové dopravě. Nová Vodíková strategie ČR i NAP ČM však předpokládají nižší hodnoty. Navzdory snížení očekávané spotřeby vodíku v dopravě k roku 2030 v aktuálně vznikajících aktualizacích Vodíkové strategie ČR a NAP ČM lze usuzovat, že kolem roku 2030 dojde k podstatnému nárůstu počtu vodíkových čerpacích stanic.

Ministerstvo dopravy v letech 2017 až 2020 podpořilo z Operačního programu doprava stavbu devíti vodíkových čerpacích stanic, alokace činila 354 milionů Kč. Ministerstvo dopravy projekty podpořilo 85 % uznatelných nákladů. Díky tomu vznikly VČS v Ostravě (2022), Litvínově (2023) a Praze (2023) a dále vzniknou vodíkové stanice v Brně, Plzni, Ústí nad Labem. V září 2023 byly aktualizovány SEK a POK na základě návrhu NEKP. V červnu 2024 bude následovat předložení finální verze NEKP ke schválení vládě a následné odeslání Evropské Komisi EK.

Vozidla

Podle rejstříku vozidel bylo ČR bylo k 31.12.2023 [27] v provozu 28 osobních vodíkových vozidel. Ve 27 členských státech EU bylo [28] ke stejnému datu registrováno 4762 vodíkových silničních vozidel. Ve světě bylo v provozu odhadem 4800 nákladních vodíkových vozidel a 5000 autobusů [29] k červnu 2022. K významným výrobcům, kteří jsou aktivní EU, patří např.: Toyota, Hyundai, Solaris Bus&Coach nebo Iveco.

Ochota zavádění vodíkových vozidel do firem

Dle průzkumu – dotazníkového šetření [30] ochoty zavádění vodíkových vozidel do firemního vozového parku, napříč 1577 firem, byla zjištěna ochota přejít na vodíkový pohon, který podle





očekávání stoupá v čase. Přejít na vodík v časovém horizontu do 10 let jsou firmy z průzkumu ochotny průměrně přejít z 23 %, do 20 let z 39 %.

Ochota firem přejít na vodíkový pohon se liší podle oboru činnosti s tím, že nejotevřenější pro tento přechod jsou subjekty z odvětví, která nebyla přímo sledována (zemědělství, lesnictví a rybářství), a také firmy ze zpracovatelského průmyslu. Naopak nízkou ochotu k přechodu na vodík deklarují firmy z dopravy a skladování, zásobování vodou a ze zemědělství a lesnictví. Firmy, které provozují více strojů jsou méně ochotné k přechodu v časovém horizontu do 10 let. Pravděpodobně je pro ně obtížné představit si vodíkové alternativy specializovaných strojů. Firmy, které deklarují, že již mají ve své flotile vozidla nebo stroje s alternativním pohonem (často dopravní podniky) jsou méně ochotné přejít na vodík do 10 let. Tyto firmy investovaly do vozového parku s alternativním pohonem, popřípadě do infrastruktury relativně nedávno. Mají pocit, že saturovaly svoji společenskou zodpovědnost a nemají krátkodobě takovou chuť se pouštět do dalších aktivit.

Obeznamenost s problematikou vodíkového pohonu je důležitý prediktor ochoty přejít na vodík. Rovněž firmy, které deklarují zavádění nízkoemisní dopravy, jsou k přechodu na vodík obecně více ochotné.

Průzkumem byla získána data, která mohou posloužit ke stanovení budoucí poptávky firem po vodíku. Je možné je vztáhnout dle oboru činnosti na firmu, zaměstnance nebo také na vozidlo provozované firmou.

3.5. Analýza stavu v blízké budoucnosti v ČR (v období 2025–2030)

Vozidla

Tabulka 2 shrnuje predikce počtu vozidel, které představují výsledek V1 – Návrh rozvoje vodíkového hospodářství v dopravním sektoru v souladu se strategickými dokumenty a aktuálním stavem technologie, Projekt CK02000044 [31].

Tabulka 2: Výhled počtu vodíkových vozidel v roce 2030 dle aktualizovaných odhadů

Kategorie vozidel	Referenční scénář [ks]	Koncepční scénář [ks]
Osobní vozidla (M1)	3 000	4 000
Městské autobusy (M2+M3)	100	450
Lehká užitková vozidla (N1)	100	1 200
Nákladní automobily typu N2	360	200
Nákladní automobily typu N3	240	400
Motocykly (L)	100	100



NAP ČM do roku 2030 odhaduje 40 – 50 tis. vodíkových osobních automobilů a 870 vodíkových autobusů a 80 VČS. Uvedené hodnoty považujeme za výrazně nadhodnocené, očekáváme, že budou změněny. Dále s těmito hodnotami neoperujeme.

Očekává se, že na trh budou producenti automobilů uvádět další modely vozidel. V současnosti je v nákladních vozidlech testován tahač Mercedes-Benz GenH2. Další automobilky jako např. Volvo a Iveco uvažují o transformaci nákladních tahačů na vodík. V oblasti osobních vozidel představily automobily na vodík automobilky BMW, Honda, Hyundai a Toyota.

Spotřebitel má na výběr omezené množství vozidel na vodík. Investičně i provozně jsou náročnější než automobily se spalovacími motory, tento fakt je kompenzován různými formami dotací. Skutečnost, že vodíková infrastruktura není rozvinutá, představuje určité omezení provozu vodíkových vozidel, nejde však o zásadní omezení. Vodíková vozidla tvoří minoritu v rámci vozového parku.

Vodíkové čerpací stanice

V letech 2022 až 2027 plánuje Ministerstvo dopravy na stavbu vodíkových čerpacích stanic vyčlenit z Operačního programu Doprava 500 milionů až jednu miliardu Kč [32]. Odhaduje se, že díky této podpoře vznikne 10 až 15 čerpacích stanic. V letech 2025–2030 pokračuje výstavba sítě vodíkových čerpacích stanic, především na dopravně exponovaných místech. Vzhledem k bezpečnostním požadavkům očekáváme vznik vodíkových čerpacích stanic na stávajících, plošně rozsáhlejších, čerpacích stanicích, kde nebude problém dodržet bezpečné odstupové vzdálenosti mezi výdejem vodíku a uhlovodíkových paliv.

NAP ČM do roku 2030 odhaduje vybudovat 80 VČS [33].

3.6. Analýza stavu vzdálené budoucnosti v ČR (v období 2030–2050)

Vodíková strategie České republiky [1] předpokládá celkovou spotřebu vodíku v dopravě na úrovni 845 kt ročně v roce 2050. Předpokládá se, že většina nízkoemisního vodíku bude vyráběna elektrolýzou vody. Silniční doprava – očekává se rychlý nástup společností, jejichž vozidla se pohybují v přesně daném teritoriu, např. kurýrní společnosti nebo např. městské nebo meziměstské autobusy. U železniční a lodní doprava se očekává rozvoj a prodlužování dopravní vzdálenosti. U letecké dopravy se očekává zájem o přímé využití vodíku především u letů na kratší vzdálenosti, a o využití kapalného vodíku především na dlouhé vzdálenosti. Další možností je konverze vodíku na syntetické letecké palivo.

Vozidla

Podle Vodíkové strategie České republiky [1] a NAP ČM [33] v tomto období bude v dopravě většina vodíku (696 kt/rok) spotřebována nákladními auty, osobní auta spotřebují 96 kt/rok, autobusy 28 kt/rok. Cena vodíkových vozidel bude srovnatelná s cenou vozidel s jinými alternativními pohony.



Vodíková vozidla bude vyrábět mnoho značek aut, mezi značkami bude existovat faktická konkurence. Pro vodíková vozidla bude existovat dostatečná síť servisů, vodíkovým vozidlům bude umožněno parkování v podzemních garážích. Kromě vodíkových vozidel budou tvořit významnou část vozového parku bateriové elektromobily, dále budou stále zastoupena vozidla se spalovacími motory (po roce 2035 půjde ve stále větší míře o starší vozidla, nebo o vozidla, spalující syntetická paliva). Bateriové elektromobily budou zpočátku období využívány spíše pro kratší vzdálenosti v osobních automobilech nebo autobusech.

Železniční doprava nebyla zahrnuta do systému EU ETS, proto setrvalo značné množství lokomotiv na pohon fosilními palivy. S tím souvisí i poměrně malá očekávaná spotřeba vodíku (25 kt ročně) v železniční dopravě, odhad pochází z Vodíkové strategie České republiky. Vlaky na vodíkové palivové články budou používány především na těch železničních tratích, kde je obtížné provést elektrifikaci.

Vodíkové čerpací stanice

Bude vybudována celoevropská síť vodíkových čerpacích stanic, které budou schopné distribuovat velká množství vodíku. Vodíková vozidla budou mít dostatečně vybudovanou infrastrukturu. Vodíkovými stanicemi bude pokryta páteřní infrastruktura (dálnice, silnice I. třídy) i silnice vyšších tříd. V České republice budou provozovány řádově stovky vodíkových čerpacích stanic. Dostupnost vodíkových čerpacích stanic není limitujícím faktorem využívání vodíkových vozidel. Některé, především vysokotlaké části čerpacích stanic, již byly dříve obnoveny kvůli jejich omezené životnosti.

V areálech stávajících čerpacích stanic bude postupně klesat výdej uhlovodíkových paliv (automobilový benzín, motorová nafta, zkapalněné ropné plyny a zemní plyn). Čerpací stanice bude možné využít jako čerpací stanice pro vodík, bez omezujícího faktoru zachování bezpečné vzdálenosti mezi výdejem vodíku a uhlovodíkových paliv.

Jedna vodíková čerpací stanice spotřebuje 1 tunu vodíku denně, s další jednou tunou uskladněného vodíku, která slouží jako rezerva. V roce 2050 bude nutné uvažovat dostatečnou rezervu kapacity VČS, která může být zajištěna 1) přechodem na kapalný vodík, 2) napojením VČS na potrubní rozvod vodíku nebo 3) ponecháním stlačeného vodíku. Bod 2) nebude pravděpodobně realizovatelný u všech VČS. Bod 3) bude realizovatelný, avšak skýtá logistické komplikace, spojené s vyšším počtem zásobovacích vozidel a s delšími časy pro přečerpání vodíku. V areálech čerpacích stanic dále existuje prostorová rezerva pro technické zařízení na budoucí navýšení množství distribuovaného vodíku, nebo na instalaci energetického zdroje pro výrobu vodíku.

V ideální případě budou vodíkové technologie natolik rozvinuté, že:

- provoz vodíkového vozidla je levnější než provoz vozidla na fosilní paliva
- nákladová cena nízkoeemisního vodíku je nižší než cena vodíku, pocházejícího z fosilních zdrojů.
- na většině čerpacích stanic je preferenčně nabízen nízkoeemisní vodík, vodík z fosilních zdrojů spíše výjimečně.

Od roku 2035 se uvažuje ukončení prodeje vozidel se spalovacími motory na fosilní paliva. Pokud bude toto omezení prosazeno, budou kolem roku 2050 vozidla s konvenčním pohonem ve vozových parcích zastoupena spíše minoritně, půjde převážně o vozidla vyrobená v roce 2035 nebo dříve.



3.7. Analýza vývoje transportu vodíku v ČR (v období 2020–2050)

Hlavní možností transportu vodíku představují zásobníky na stlačený plyn, nejčastěji jde o svazky tlakových lahví. Pro přepravu velkých množství a na velké vzdálenosti bude mít také smysl přeprava kapalného vodíku. Očekáváme, že významnou roli v dodávkách bude hrát transport vodíku tranzitním plynovodem.

3.7.1. SILNIČNÍ TRANSPORT VODÍKU

Silniční transport stlačeného vodíku je vhodný pro menší objemy přepravovaného vodíku, a/nebo pro menší přepravní vzdálenosti. O přepravě kapalného vodíku se uvažuje až v dalších obdobích v závislosti na zvýšení zralosti technologií očekávané vysoké spotřebě vodíku.

Při přepravě vodíku na menší vzdálenosti (zhruba do 200 km) nebo pro menší objemy vodíku je výhodné využít nákladní automobilovou dopravu. Předpokládáme, že automobily, přepravující vodík, budou poháněny fosilními palivy, později (po roce 2030) pak vodíkem. Zásobníky vodíku jsou tvořeny, tlakovými lahvemi, svazky takových lahví nebo jinými nádobami. Očekáváme nasazení automobilové dopravy především v místech, která není možné obsloužit alternativním způsobem. Z logistického hlediska je výhodné použít jiný způsob přepravy např. výše uvedeným potrubím. Přeprava vodíku na velké vzdálenosti nákladními automobily je ekonomicky značně nevýhodná.

3.7.2. POTRUBNÍ DOPRAVA VODÍKU

Na základě Vodíkové strategie České republiky [1] se očekává, že ČR bude muset dovážet vodík ze zemí, kde jsou podmínky pro výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů výhodnější, protože mají více slunečního svitu a větru. Pro import vodíku bude nutné připravit infrastrukturu a vodík by tak mohl nahradit současný dovoz zemního plynu a ropy. Strategie dále uvádí, že ČR může být významným hráčem na poli přepravy vodíku z jihu na sever a z východu na západ.

Společnost NET4GAS, s.r.o. je výlučný provozovatel přepravní soustavy pro zemní plyn v ČR, provozuje necelých 4000 km plynovodů, 3 hraniční předávací stanice, 5 kompresních stanic a stovku předávacích stanic na rozhraní s vnitrostátní distribucí plynu. Největším provozovatelem vnitrostátní plynárenské distribuční soustavy s délkou infrastruktury asi 65 000 km je pak GasNet s.r.o. Dalšími provozovateli plynárenské distribuční soustavy jsou Pražská plynárenská a na jihu ČR společnost EG.D.

V souvislosti s prosazováním dekarbonizačních cílů představila společnost NET4GAS v červnu 2023 desetiletý plán [34], který je zaměřen na zemní plyn (ZP), a také zde uvádí budoucí plány na projekty vodíkové infrastruktury a dopravu vodíku.

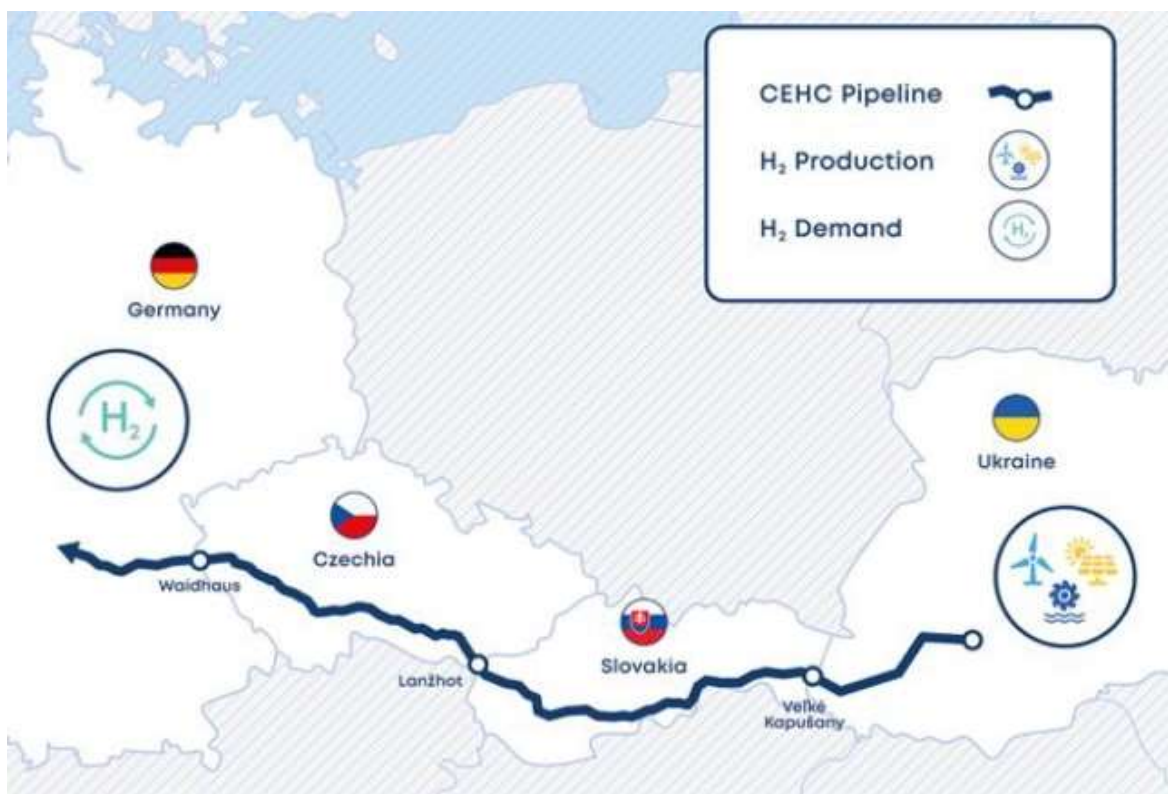


Přeprava vodíku v plynárenské soustavě pro ZP je technicky možná. Bude však nutné ověření zahraničních zkušeností v domácích podmínkách a dále ukotvení vodíku jakožto samostatného plynného paliva v energetice. V prvním období se předpokládá přeprava vodíku s různou koncentrací ve směsi se ZP. Ve střednědobém horizontu velmi pravděpodobně bude zahrnovat jak přepravu směsi vodíku a ZP, tak přepravu čistého vodíku, a to v separátních plynovodech. Pro tento tzv. repurposing bude nutné připravit legislativní rámce, definovat nové bezpečnostní normy a standardy pro infrastrukturu, a také technické, regulační a obchodní podmínky.

V současné době probíhají legislativní a technické přípravy na **blend vodíku**, tj. přimíchávání vodíku do ZP. Obsah vodíku v ZP se uvažuje až do 5 obj.% bez výraznějších úprav infrastruktury dle plynárenských balíčků EU. Probíhají trialogy a sladování pro povinnou přeshraniční přepravu. Tlaková hladina v plynovodu se očekává pro duální systém (ZP a H₂) stejná jako pro ZP tj. 7 MPa. Následné zahájení provozu transportu blendu vodíku se předpokládá od 10/2025.

V koncepci NET4GAS uvádí, že díky výhodné geografické poloze České republiky pro budoucí tranzit nízkouhlíkových druhů plynů byly navrženy mezinárodní přepravní trasy probíhající přes ČR. Provozovatel NET4GAS je proto zapojen do iniciativy skupiny 32 evropských provozovatelů plynárenské infrastruktury z 28 evropských států s vizí na vytvoření infrastruktury určené pro přepravu vodíku, tzv. European Hydrogen Backbone [35].

Zároveň došlo k zapojení provozovatele přepravní soustavy do iniciativ „Středoevropský vodíkový koridor“ (Central European Hydrogen Corridor, CEHC) [36], „SunsHyne koridor“ (SunsHyne Corridor) [37] a „Česko-německé vodíkové propojení“ (Czech German Hydrogen Interconnector, CGHI) [38]. Záměrem těchto třech vodíkových iniciativ je ve spolupráci s dalšími evropskými plynárenskými společnostmi vybudovat tři vodíkové koridory napříč střední Evropou, které by měly sloužit pro přepravu vodíku z budoucích oblastí produkce. Jednotlivé předpokládané přepravní trasy jsou zobrazeny na následujících třech obrázcích (Obrázek 1, Obrázek 2, Obrázek 3).



Legenda: CEHC Pipeline = CEHC potrubí, H₂ Production = výroba H₂, H₂ Demand = poptávka po H₂

Obrázek 1: Iniciativa „Středoevropský vodíkový koridor“ pro import vodíku z Ukrajiny

Středoevropský vodíkový koridor (CEHC – Central European Hydrogen Corridor, stejnojmenná iniciativa) – iniciativa se zaměřuje na vybudování vodíkové přepravní trasy z oblastí efektivní produkce obnovitelného vodíku na Ukrajině přes Slovensko a ČR do oblastí očekávané vysoké poptávky v Německu a do dalších navazujících států EU. Projektem je realizace úpravy (tzv. repurposing) části infrastruktury ZP (plynovod DN 1400, cca 400 km) mezi hraničními body IP Lanžhot a VIP Waidhaus (hraniční a virtuální hraniční bod) v jižní části české přepravní soustavy tak, aby byla schopna přepravovat čistý vodík.



Legenda: Reurposed = přepracováno, New built = nově postaveno, Offtake centres = odběrná centra

Obrázek 2: Iniciativa "SunHyne koridor" pro import vodíku ze Severní Afriky

SunHyne Corridor – tato iniciativa se soustředí na rozvoj vodíkové "dálnice" ve střední a jižní Evropě a bude sloužit pro přepravu vodíku z budoucích oblastí produkce v severní Africe přes Itálii, Rakousko, Slovensko a Českou republiku do oblastí očekávané vysoké poptávky v Německu a do dalších navazujících států EU. Projektem je realizace úpravy části infrastruktury (plynovod DN 1400, cca 400 km) mezi hraničními body IP Lanžhot a VIP Waidhaus v jižní části české přepravní soustavy tak, aby byla schopna přepravovat čistý vodík.



Legenda: CGHI Corridor = CGHI koridor, H2ercules (název plynovodu), Flow (název plynovodu), CGHI Corridor (Czech part) = CGHI koridor (česká část), Central European H2 Corridor = Středoevropský H₂ koridor

Obrázek 3: Iniciativa "Česko-německé vodíkové propojení" pro import vodíku z Pobaltí a severního Německa

Projekt je součástí stejnojmenné iniciativy Česko-německé vodíkové propojení (CGHI – Czech German Hydrogen Interconnector), která si klade za cíl vytvořit vodíkové propojení oblastí s vysokým potenciálem dodávek vodíku v severním Německu a Pobaltí s očekávaným klastrem vysoké poptávky v jižním Německu přes ČR. Kromě toho bude tento koridor zásobovat i poptávkové klastry v České republice podél tohoto koridoru, zejména očekávaný vodíkový klastr v severních Čechách. Bude využívat části infrastruktury (plynovod DN 1400, cca 170 km) mezi hraničními body VIP Brandov a VIP Waidhaus v západní části české přepravní soustavy, tak aby byla schopna přepravovat čistý vodík.

Ve vzdálenější budoucnosti (2030–2040) je cílem přepravovat samostatný vodík stávajícím plynovodem. NET4GAS se připravuje na transformaci jednoho potrubí, z celkových čtyř liniových (viz Obrázek 4), na mezinárodní vodíkovod pro přepravu plynu z oblastí s přebytkem výroby nízkoemisního vodíku. Potrubí o průměru 1400 mm a pracovním tlaku 4 MPa pro vodík bude poskytovat dle výpočtu dostatečnou kapacitu pro spotřebu v ČR (až 144 GWH/d) i pro další tranzit. Klíčovým parametrem tak bude nabídka a poptávka vodíku. Po r.2030 je plánováno použít stávající kompresní stanice (např. Kouřim, Veselí n. L.) jako strategická místa pro výdej vodíku.

Do roku 2050 bude zprovozněn plynový trojúhelník na tranzitním plynovodu mezi rozdělovacími uzly Malešovice, Hospozín a Waidhaus.



Obrázek 4: Plynovody společnosti NET4GAS [39]

Dle požadavků na výdej vodíku pro dopravu (na max. vzdálenost 200 km) tak budou z tohoto hlediska plynovody zajišťovat distribuci vodíku přibližně pro 80–90 % území ČR. Pro realizaci je nutná včasná připravenost tuzemské plynárenské přepravní soustavy na přepravu vodíku.

S uplatněním vodíku by se mělo začít tam, kde je využití vodíku vzhledem k jeho ceně nejefektivnější. Proto by mělo být prioritou nejprve nasazení vodíku v dopravě a stávajícím chemickém průmyslu až pak, v návaznosti na pokles ceny, jeho využití v energetice a jako zdroje tepla v průmyslu.

3.8. Scénáře

Referenční scénář

Referenční scénář odpovídá nejlepšímu odhadu rychlosti rozvoje vodíkových dopravních prostředků s ohledem mj. na možnosti místní výroby a dovozních kapacit vodíku jako suroviny pro oblast dopravy. Vyznačuje se velkým množstvím spotřeby vodíku zejména v kategorii silniční nákladní dopravy (kat. N3).

Koncepční scénář

Koncepční scénář, který do jisté míry vychází z predikce Vodíkové strategie ČR, udává v roce 2050 nejvyšší spotřebu vodíku taktéž pro kategorii N3. Významně narůstá ale také kategorie osobních automobilů (kat. M1) a rovněž mezinárodní letecká přeprava.



4. Rozvoj sítě VČS

Metodika obsahuje opakovatelný postup založený na síťových analýzách. Aktualizace metodiky se budou týkat především vstupních dat a výstupů ze síťových analýz. Postup pro aktualizaci budoucí sítě VČS zahrnuje provedení následujících kroků:

1. Aktualizace všech vstupních dat
2. Rozdělení předpokládané spotřeby vodíku na kraje ČR
3. Rozdělení předpokládané spotřeby vodíku na sčítací úseky silnic
4. Provedení síťových analýz

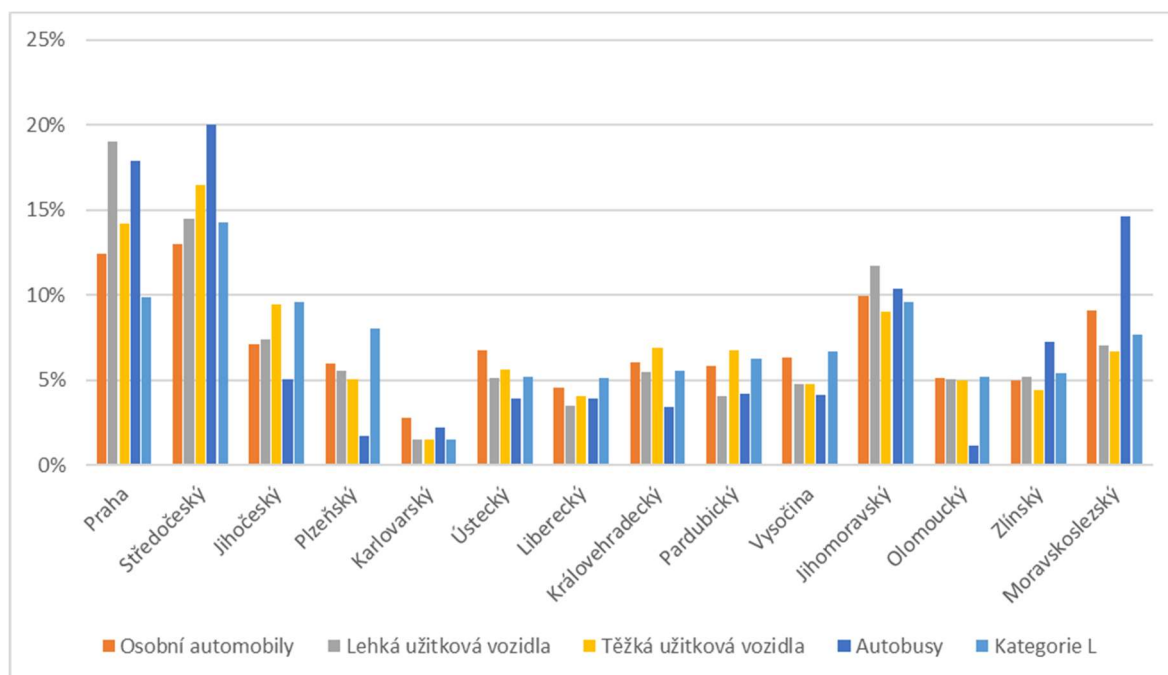
4.1. Výchozí stav rozvoje sítě VČS v ČR

Výchozí stav rozvoje sítě VČS v ČR je určen spotřebou uhlovodíkových paliv, které bude nutné postupně nahradit palivy nízkoemisními. K tomu bude nutné vybudovat síť čerpacích stanic.

4.1.1. SPOTŘEBA UHLOVODÍKOVÝCH PALIV V DOPRAVĚ

Východiskem pro navržení metodického postupu rozvoje infrastruktury je spotřeba paliv (energie) v jednotlivých kategoriích vozidel v regionech NUTS 3. Na jejím základě je plošně rozdělena prognózovaná spotřeba vodíku podle postupů uvedených níže v kapitole: 4.3. *Rozvoj sítě VČS na základě scénářů spotřeby vodíku*. Obrázek 5 uvádí ukázkou podílů osobních, lehkých užitkových a těžkých vozidel na spotřebě energie v silniční dopravě v ČR v členění po jednotlivých krajích. Nejvíce energie bylo v roce 2021 spotřebováno bez ohledu na kategorii vozidel v Praze, Středočeském a Jihočeském kraji. Dále pak v Jihočeském a Moravskoslezském kraji.





Obrázek 5: Podíl spotřeby energie podle kategorie vozidel

4.1.2. PŘEHLED ZDROJŮ VODÍKU

V současné době je naprostá většina vodíku v ČR vyráběna v chemickém průmyslu [40]. V dalších letech (více k poptávce vodíku v pracovním balíčku WP1: Návrh rozvoje vodíkového hospodářství v dopravním sektoru v souladu se strategickými dokumenty a aktuálnímu stavu technologie) se čekává [31], že ČR nebude ve výrobě vodíku soběstačná a značná část vodíku se bude dovážet. Očekáváme, že se vodík bude vyrábět elektrolýzou vody z nízkoemisní elektrické energie buď přímo v ČR nebo v zemích, které mají příznivější podmínky pro obnovitelné zdroje energie (především fotovoltaické případně větrné nebo vodní elektrárny). Dalším očekávaným způsobem bude výroba nízkoemisního vodíku v jaderných elektrárnách, nebo v jejich bezprostřední blízkosti v obdobích nízké poptávky po elektřině.

Ke konci prvního pololetí roku 2023 bylo v ČR v provozu 8 výroben vodíku, 2 byly v procesu realizace, u 10 projektů probíhala aktivní příprava a 19 subjektů oznámilo záměr výrobu vodíku vybudovat. Jde tedy celkem o 39 veřejně oznámených projektů na výrobu vodíku. Mezi výrobny, které jsou v provozu převažuje počtem i výrobní kapacitou výroba z fosilních paliv. Jeden projekt využívá zasmulněnou energii z jaderné elektrárny. Výrobu z obnovitelné energie zastupuje jediný demonstrační projekt se zkušební kapacitou 1 kg H₂ denně. Přehled projektů na výrobu vodíku v ČR je uveden v (Tabulka 3) [41].



Tabulka 3: Zdroje vodíku v ČR

ID	Kraj	Stav	Výrobní kapacita [kg·den ⁻¹]	Zdroj vodíku
38	Ústecký	provoz	5 750	Chlor-alkalická elektrolýza (jaderná energie)
39	Ústecký	provoz	203 000	Parciální oxidace ropných zbytků, pyrolýza uhlovodíků, reforming benzínu
40	Středočeský	provoz	52 000	Reforming benzínu
41	Středočeský	provoz	6 850	Dehydrogenace etylbenzenu
42	Moravskoslezský	provoz	37 400	Parní reforming zemního plynu
43	Zlínský	provoz	3 800	Parní reforming zemního plynu
44	Moravskoslezský	provoz	35 500	Pyrolýza černého uhlí
100	Jihomoravský	provoz	1	Elektrolýza (OZE)
30	Zlínský	realizace	82	Elektrolýza (OZE)
102	Liberecký	realizace	N/A	Elektrolýza (OZE)
34	Moravskoslezský	příprava	400	Elektrolýza (OZE)
35	Moravskoslezský	příprava	400	Elektrolýza (OZE)
46	Praha	příprava	60	Elektrolýza (OZE)
47	Jihomoravský	příprava	55	Elektrolýza (OZE)
67	Moravskoslezský	příprava	1 000	Elektrolýza (OZE)
70	Středočeský	příprava	N/A	Elektrolýza (OZE)
77	Ústecký	příprava	N/A	Elektrolýza (OZE)
98	Moravskoslezský	příprava	N/A	Elektrolýza (OZE), zplyňování plastu
99	Jihočeský	příprava	220	Elektrolýza (OZE)
101	Olomoucký	příprava	N/A	Elektrolýza (OZE)
37	Jihočeský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
49	Moravskoslezský	záměr	1 000	Elektrolýza (OZE)
51	Ústecký	záměr	8 000	Elektrolýza (OZE)
52	Jihomoravský	záměr	210	Elektrolýza (OZE)
53	Ústecký	záměr	1 400	Zplyňování plastu
66	Moravskoslezský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
71	Středočeský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
72	Pardubický	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
73	Jihomoravský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
75	Ústecký	záměr	1 920	Elektrolýza (OZE)
83	Středočeský	záměr	200	Elektrolýza (OZE)
85	Praha	záměr	200	Elektrolýza (OZE)



ID	Kraj	Stav	Výrobní kapacita [kg·den ⁻¹]	Zdroj vodíku
91	Moravskoslezský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
92	Královéhradecký	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
93	Středočeský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
94	Pardubický	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
95	Liberecký	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
96	Středočeský	záměr	N/A	Elektrolýza (OZE)
103	Ústecký	záměr	200	Elektrolýza (OZE)

Pozn. ID dle Vodíkové mapy ČR [41]

V ČR se v současnosti vyrábí celkem 344 301 kg H₂ denně, z toho 1,67 % je potenciálně nízkoemisní a 1 kg (0,0003 %) představuje potenciálně obnovitelný vodík. Veřejně oznámené projektové záměry dávají dohromady výrobní kapacitu 359 648 kg denně, z toho 1,99 % je potenciálně nízkoemisní a 4,27 % potenciálně obnovitelných. Je ale třeba dodat, že u 16 projektů není známá výrobní kapacita a z těchto 16 je 15 projektů, které plánují využívat elektřinu z OZE a jeden, který plánuje kombinovat OZE se zplyňováním plastů. Je tedy zřejmé, že všechny plánované projekty cílí na výrobu obnovitelného nebo nízkoemisního vodíku.

Popis stavu elektrolytické výroby vodíku v ČR

Největší český elektrolyzátor provozuje Spolek pro chemickou a hutní výrobu a.s. (Spolchemie) v Ústí nad Labem. Jde o chlor-alkalický elektrolyzátor, který vyrobí až 3 000 tun vodíku ročně dle odhadu České vodíkové technologické platformy [40]. Primárním cílem chlor-alkalické elektrolyzy je především výroba chloru a alkalických hydroxidů, kde se spotřebuje dominantní množství vodíku. Odpadající vodík je zde spíše vedlejší produkt. Spolchemie podniká kroky pro využití vodíku, např. v městských autobusech v Ústí nad Labem. Vstupní elektřina pro elektrolyzátor byla nakoupena se „zeleným certifikátem“, tj. s garancí, že byla vyrobena z nízkoemisního (jaderného) zdroje energie.

Společnost SPOLANA provozovala chlor-alkalickou rtuťovou elektrolyzu do roku 2017, kdy byla z ekologických důvodů ukončena. Podle zdroje [42] byla její denní kapacita 10,94 tun vodíku, což odpovídalo cca 3 600 tun vodíku ročně. Většina vyrobeného vodíku představovala faktické přebytky, které byly využívány poměrně neefektivně formou spalování. Důvodem pro omezení dalšího využití vodíku byl i obsah rtuti ve vodíku a jeho související obtížné vyčištění. Rezidua rtuti jsou značně toxická pro palivové články. V nové etapě, po převzetí společnosti holdingem ORLEN UNIPETROL, se plánuje výstavba nové chlor-alkalické membránové elektrolyzy [43]. Očekává se, že se bude jednat o podobnou výrobní kapacitu chloru, jakou měla předchozí technologie. Využitelnost získaného vodíku pak bude výrazně širší, neboť již nebude obsahovat rezidua rtuti. Předpokládá se, že vodík bude využit jak pro další chemické zpracování – např. výroba kyseliny chlorovodíkové, tak v případně přiléhající vodíkové čerpací stanici. Kromě toho je možnost využít vodík pro potřeby kamionové dopravy, železniční dopravy (v areálu podniku je provozována železniční vlečka), případně dopravy lodní – v areálu podniku je na řece Labi vybudován přístav. Existuje riziko, že se vybuduje chlor-alkalická elektrolyza, která neprodukuje žádný vodík. Takový proces představuje např. technologie ODC (oxygen depolarised cathode), kdy proces chlor-alkalické elektrolyzy probíhá bez uvolnění vodíku,





kdy je na katodě redukován kyslík. Výhodou ODC je snížení energetické náročnosti procesu o cca 30 % [44]. ODC je komerčně dostupná, nabízí ji např. výrobce elektrolyzérů Denora [45].

Očekává se, že výstavba velkokapacitního elektrolyzéra bude výhodná zejména pro:

- Podniky v chemickém, ocelářském a dalším zpracovatelském průmyslu, které vodík využijí nebo již využívají v rámci svého produktového řetězce
- Velké výrobce elektrické energie (řádově >100 MW_e), kteří budou řešit velkokapacitní akumulaci nízkoemisní elektrické energie např. z OZE nebo z jaderného zdroje
- Dodavatele vodíku pro dopravu, kteří jsou schopni zajistit významnou spotřebu vodíku na dopravně exponovaných uzlech, ležících mimo tranzitní vodíkovody

Další instalaci představuje malý elektrolyzér společnosti Solar Global Service a.s., Napajedla [46] (plánované uvedení do provozu v roce 2024). PEM elektrolyzér [47], který denně vyrobí až 82 kg vodíku z fotovoltaické energie a bude schopen vyrobit ročně až 8 tun vodíku ročně, takové množství umožňuje ujetí 800 tisíc kilometrů v případě využití v osobním vozidle s vodíkovým pohonem nebo 80 tisíc kilometrů při natankování do vodíkového autobusu. Půjde o první komerční PEM elektrolyzér na výrobu nízkoemisního vodíku v ČR. Systém bude doplněn bateriovým úložištěm o kapacitě 206 kWh a výkonu 100 kW.

Výroba šedého vodíku

Šedý vodík [1] bude představovat 95 % spotřebovaného vodíku v roce 2030. Veškerý nízkoemisní vodík spotřebovaný v dopravě bude možné do určité doby vyrobit v ČR, ale předpokládá se, že v období po roce 2030, v závislosti na rychlosti rozvoje využívání vodíku v dopravě, bude nezbytné vodík dovážet. Výroba šedého vodíku v ČR nebude dostatečná pro zajištění soběstačnosti ve spotřebě vodíku. Očekáváme, že výroba šedého vodíku se soustředí do několika klastrů [48], umístěných především v uhelných regionech ČR. Klustry, dodávající vodík, mohou být umístěny v následujících, již existujících lokalitách:

Tabulka 4: Přehled stávajících velkokapacitních výrobní vodíku v ČR [48]

Společnost	Lokalita	Max. produkce vodíku [kt/rok]
ORLEN Unipetrol RPA	Litvínov	98
Synthos + ORLEN Unipetrol RPA	Kralupy nad Vltavou	9,5
BorsodChem MCHZ Ostrava	Ostrava	13,7
Spolek pro chemickou a hutní výrobu	Ústí nad Labem	3,0
DEZA	Valašské Meziříčí	1,4

Výroba nízkoemisního vodíku

Ze separátních analýz provedených EGÚ Brno v rámci projektu TAČR TK03010078 Výzkum uplatnitelnosti akumulace energie pomocí technologií power-to-gas lze odhadnout technický potenciál výroby vodíku z velkých (s instalovaným výkonem větším než 5 MWe) již existujících fotovoltaických a větrných elektráren v ČR na úrovni 11,45 kt. Analýza pracovala s předpokladem, že pouze část vyrobené energie z těchto zdrojů se využije pomocí přímo připojeného elektrolyzéra s proton-výměnnou membránou s 68% účinností, jehož jmenovitý výkon bude čtvrtinový oproti



výkonu zdroje výroby elektřiny. Tento postup zajistí relativně ekonomický provoz elektrolyzérů na úrovni 2205 hodin nominálního výkonu ročně pro FVE a 4123 hodin ročně pro větrné elektrárny.

Výroba nízkoemisního vodíku z FVE bude mít pravděpodobně výrazně sezónní povahu, přičemž sezónnost bude negativně korelovat se spotřebou vodíku pro vytápění a výrobu elektřiny. Spotřeba vodíku v dopravě bude mít jen mírně sezónní povahu, která bude způsobena především sezónností individuální dopravy. Lze tedy očekávat mírný přebytek vodíku v letních měsících díky nižší spotřebě při vytápění a výrobě elektřiny a současně vyšší výrobě z FVE, což může mít dopad do ceny vodíku. Očekáváme, že ke konci uvažovaného období, před rokem 2030, bude (nízkoemisní) vodík dodáván pomocí řady malých, decentralizovaných elektrolyzérů a zároveň pomocí potrubní dopravy.

4.1.3. PŘEHLED VODÍKOVÝCH ČERPAČÍCH STANIC

Podle NAP ČM [33] by mělo být v České republice do roku 2030 postaveno alespoň 80 čerpacích stanic na vodík. Tento cíl by měl být naplněn postupným rozšiřováním vodíkové infrastruktury v rámci celé země, s důrazem na strategické lokality a doplněním stávající sítě čerpacích stanic. Tento cíl se jeví jako značně ambiciózní.

Ke konci prvního pololetí roku 2023 byly v ČR v provozu 3 veřejné vodíkové čerpací stanice, v Ústeckém kraji, hlavním městě Praze a v Moravskoslezském kraji. Ve fázi výstavby byly další 2 stanice, v procesu přípravy 5 stanic. U tří stanic byl ohlášen záměr výstavby. Celkem by výchozí veřejnou síť (k 31. 12. 2023) mělo tvořit 9 provozovaných a podpořených veřejných vodíkových čerpacích stanic (případně 13 při zahrnutí záměrů a dosud nepodpořených stanic) viz. Tabulka 5.

Z uvažovaných 9 veřejných vodíkových čerpacích stanic splňuje požadavky AFIR z pohledu instalovaného denního výkonu jediná stanice v Ostravě, u jedné stanice tento parametr nebyl v době zpracování metodiky dostupný. Síť v městských uzlech by tvořily 3 stanice v Praze, 3 stanice v Ostravě a jedna v Brně. Na síti TEN-T nebo v silniční vzdálenosti do 10 km od této sítě by se mělo nacházet až 8 stanic.

Tabulka 5: Přehled veřejných vodíkových čerpacích stanic k roku 2023

ID ¹⁾	Kraj	Tlak [bar]	Výkon [kg·den ⁻¹]	Zásoba [kg]	Plnění požadavků AFIR			Stav
					Výkon ²⁾	Uzel	TEN-T	
2	Ústecký	350, 700	460	175	n/a	Ne	Ne	Provoz
1	Praha	350, 700	460	175	Ne	Ano	Ano	Provoz
68	Moravskoslezský	700	40	110	Ne	Ano	Ano	Provoz
33	Moravskoslezský	350, 700	1000	700	Ano	Ano	Ano	Realizace (podpořeno)
31	Zlínský	350, 700	100	500	Ne	Ne	Ano	Realizace (podpořeno)
97	Středočeský	350	-	-	-	Ne	Ano	Příprava
4	Praha	350, 700	460	475	Ne	Ano	Ano	Příprava (podpořeno)



6	Moravskoslezský	350, 700	460	475	Ne	Ano	Ano	Příprava (podpořeno)
19	Jihomoravský	350, 700	460	475	Ne	Ano	Ano	Příprava (podpořeno)
45	Praha	350, 700	150	-	n/a	Ano	Ne	Příprava (podpořeno)
54	Ústecký	700	-	-	-	Ne	Ne	Záměr
95	Středočeský	350	400	500	Ne	Ne	Ne	Záměr
96	Praha	350, 700	-	-	-	Ano	Ano	Záměr

1) ID dle Vodíkové mapy ČR [41]

2) Parametr výkon je hodnocen pouze ve vztahu k hlavní síti TEN-T

Pro úplnost je zde uveden i přehled neveřejných vodíkových čerpacích stanic (Tabulka 6). Tyto VČS mohou využívat někteří významní odběratelé v dané lokalitě, např. dopravní podniky.

Tabulka 6: Přehled neveřejných vodíkových čerpacích stanic k roku 2023

ID	Kraj	Přístup	Tlak [bar]	Výkon [kg·den ⁻¹]	Zásoba [kg]	Stav
29	Středočeský	neveřejná	350	2	10	Provoz
103	Středočeský	neveřejná	350, 700	-	30	Provoz
36	Středočeský	neveřejná	350	-	200	Provoz
32	Ústecký	neveřejná	350, 700	500	500	Příprava
48	Jihomoravský	neveřejná	350	-	-	Příprava
69	Moravskoslezský	neveřejná	350, 700	100	200	Příprava
76	Ústecký	neveřejná	350	-	-	Záměr
50	Moravskoslezský	neveřejná	350	-	-	Záměr

Pozn. ID dle Vodíkové mapy ČR [41]

Příklady vodíkových čerpacích stanic v ČR

Do roku 2021 byly v provozu neveřejné čerpací stanice v Neratovicích (uvedení do provozu v r.2009) pro autobusy a nákladní vozidla. Následovalo otevření čerpací stanice v Řeži (uvedení do provozu v r. 2021) pro osobní vozidla. První veřejná stanice byla zprovozněna v červnu 2022 v Ostravě-Vítkovicích [49], [50] a poté následovaly další. Uvedená první veřejná vodíková čerpací stanice vodíku v Ostravě-Vítkovicích (Obrázek 6) má následující parametry: malá čerpací stanice 700 bar, plocha 90 m², objem zásobníku 7,26 m³, investiční náklady dosáhly 15 mil. Kč. Postup při plnění: plnění nádrže na tlak 500 barů trvá cca 3 minuty, což znamená naplnění nádrže osobního auta, pracujícího s tlakem 700 barů, ze 70 %. Zbýlých třicet procent, tedy plnění na 700 barů, vyžaduje dalších 50 minut, uvádí web společnosti Vítkovice, a. s. Příklady VČS uvádí Tabulka 7.



Tabulka 7: Příklady VČS

Termín zprovoznění	Společnost	Město	Popis
5.11.2009	ÚJV Řež a. s.	Neratovice	neveřejná čerpací vodíková stanice pro autobusy veřejné dopravy a nákladní vozidla (plnicí tlak 350 bar), Ke Spolaně 1457, Neratovice 277 11
1.12.2020	ÚJV Řež a. s.	Husinec-Řež	neveřejná čerpací vodíková stanice pro osobní vozidla (plnicí tlak 700 bar), Hlavní 130, Husinec Řež 250 68
29.6.2022	Vítkovice, a. s. Cylinders Holding	Ostrava- Vítkovice	1. veřejná čerpací vodíková stanice (700 bar a 350 bar) křižovatka Vítkovická a Ruská, Vítkovice 703 00
10.3.2023	ORLEN Unipetrol/Benzina	Praha 5 - Barrandov	veřejná čerpací vodíková stanice K Barrandovu 1136, Praha 5 – Hlubočepy 152 00
20.6.2023	ČEPRO a.s.	Mstětice u Prahy	podniková nákladní doprava, pro provoz vysokozdvíhových vozíků, včetně osobních vozů, nákladních vozů, autobusů, Areál ČEPRO, Mstětice 257 56
28.6.2023	ORLEN Unipetrol/Benzina	Litvínov	veřejná čerpací vodíková stanice u silnice č. 27, Záluží, Litvínov 436 01
2024 (plán)	Spolek pro chemickou a hutní výrobu a.s., ČEPRO a. s.	Ústí nad Labem	provoz MHD (20 autobusů), veřejná, Solvayova ul., Ústí nad Labem 400 01



Obrázek 6: Tankování vozidla na první veřejné čerpací stanici

4.2. Rozvoj sítě VČS splňující minimální požadavky AFIR

4.2.1. VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY

V Metodice byly uplatněny následující předpoklady:

- Rozvoj sítě je zaměřen pouze na městské uzly a hlavní síť TEN-T.
- Pokrytí všech městských uzlů definovaných v příloze II nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013 [51], resp. v příloze 2 návrhu nařízení Evropského parlamentu a Rady COM(2021) 812 [52], tj. Praha, Ostrava, Brno, Liberec, Olomouc, Plzeň, Ústí nad Labem. Je zvažováno rozšíření městských uzlů ještě o České Budějovice, Pardubice a Hradec Králové. Požadavek na minimální denní výkon VČS, stejně jako výdejní tlak, v městských uzlech není dle návrhu AFIR definován.
- VČS na hlavní síti TEN-T by měly být dle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/1804 [53] o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva (AFIR) v maximálních vzájemných vzdálenostech 200 km. Stanice může být umístěna i mimo hlavní síť, pokud její dojezdová vzdálenost po silniční síti od sjezdu nepřesáhne 10 km. Stanice by měly mít minimální denní výkon 1 t vodíku. Tento výkon může být rozdělen mezi více stanic.



- VČS bude součástí stávající čerpací stanice (na uhlovodíková paliva)
- Zásobování VČS trajlerovými vozy s plynným vodíkem je z ekonomického pohledu, oproti jiným způsobům distribuce, výhodné do 500 kg-den⁻¹ [54].

4.2.2. METODICKÝ POSTUP

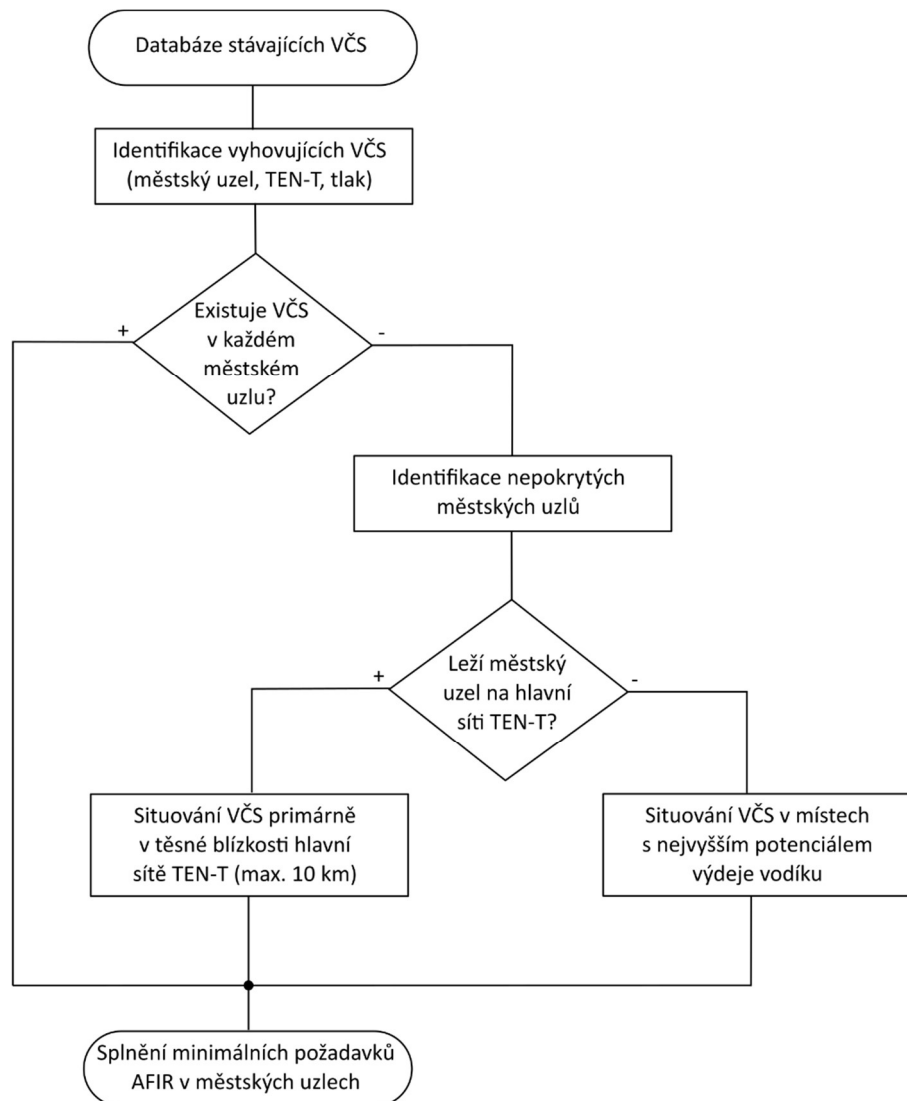
Metodicky je postup rozvoje základní sítě VČS v souladu s požadavky AFIR rozdělen do dvou etap:

- v městských uzlech
- na hlavní síti TEN-T

Rozvoj sítě v městských uzlech

Postupy rozvoje sítě veřejných VČS v městských uzlech jsou přehledně zobrazeny v diagramu (Obrázek 7). Hlavním vstupem je databáze stávajících veřejných VČS, z nichž se uvažují pouze ty, které splňují požadavky AFIR, tj. umístění v městském uzlu a požadavek na minimální tlak 700 barů (pokud by zároveň měly být využity pro splnění požadavků stanic na síti TEN-T). V městských uzlech, v nichž dosud neexistuje veřejná VČS (provozovaná nebo ve fázích výstavby, přípravy nebo záměru) je vhodné upřednostnit výstavbu stanice v krátké dojezdové vzdálenosti od hlavní sítě TEN-T (max. 10 km od sjezdu), pokud je vedena městem nebo v jeho těsné blízkosti. Tato lokalizace umožní započítat denní výkon stanice do požadavku na maximální vzájemnou vzdálenostech veřejných VČS v hlavní síti TEN-T (200 km). Pokud městský uzel není na hlavní síti TEN-T, pak se zhodnotí nejlepší vhodné umístění vzhledem k potenciálu odběru (tedy s ohledem na ekonomickou návratnost investice a možnost zásobování více druhů dopravy), např. v okolí multimodálních uzlů, logistických center, průmyslových zón apod.





Obrázek 7: Postup rozvoje sítě VČS v městských uzlech

Rozvoj sítě na hlavní síti TEN-T

Postupy rozvoje sítě veřejných VČS na hlavní síti TEN-T jsou přehledně zobrazeny v diagramech (Obrázek 7 a Obrázek 8). Základem postupu jsou výchozí veřejné VČS v městských uzlech Praha a Ostrava, ležících na síti TEN-T, kde se s výstavbou veřejných VČS začalo nejdříve a v největším měřítku. Z nich jsou uvažovány pouze stanice, které odpovídají požadavku na maximální možnou dojezdovou vzdálenost od sjezdů z hlavní sítě TEN-T. Problematika rozvoje sítě je řešena ve třech krocích:



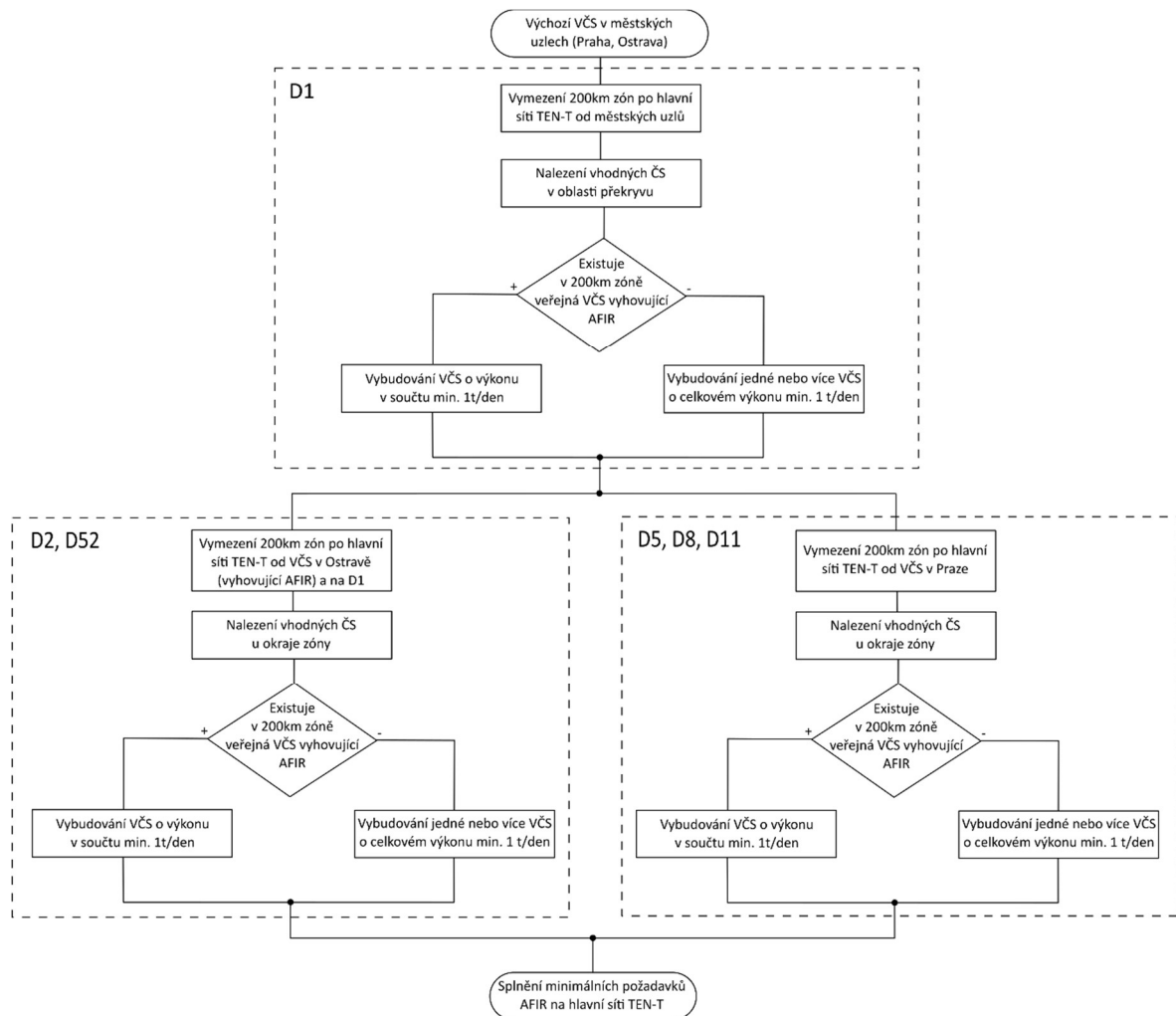
1. Dálnice D1
2. Dálnice D2 a D52
3. Dálnice D5, D8 a D11

Dálnice D1. Předpokládaná délka kompletně vybudované dálnice D1 je 350 km, tedy více než požadovaná maximální vzájemná vzdálenost VČS v Praze a Ostravě. Úsek D1, kde je vhodné vybudovat veřejnou VČS je dán překryvem 200 km vzdáleností od výchozích VČS po silniční síti. Pokud v 200 km zónách existuje v databázi veřejná VČS splňující požadavky AFIR na dojezdovou vzdálenost (např. v Brně), je možné snížit denní výkon předpokládané stanice o výkon stanice již zahrnuté v databázi za předpokladu, že součet denních výkonů na daném úseku dosáhne min. 1 t H₂·den⁻¹. Pokud nikoliv, pak je nezbytné v daném úseku vybudovat jednu nebo více VČS o celkovém denním výkonu min. 1 t H₂·den⁻¹.

Dálnice D2 a D52. Cílem je nalezení vhodných ČS v blízkosti okraje 200 km zóny od veřejných VČS v Ostravě čerpacích požadavky AFIR na dojezdovou vzdálenost od sjezdů ze sítě TEN-T a 200 km zóny (vždy po silniční síti) od VČS na D1, která byla stanovena v předchozím kroku. Pokud v definovaných zónách existuje v databázi veřejná VČS splňující požadavky AFIR na dojezdovou vzdálenost (např. v Brně), je možné snížit denní výkon předpokládané stanice o výkon stanice již zahrnuté v databázi za předpokladu, že součet denních výkonů na daném úseku dosáhne min. 1 t H₂·den⁻¹. Pokud není uvedena podmínka existence VČS splněna, pak je nezbytné v daném úseku vybudovat jednu nebo více VČS o celkovém denním výkonu minimálně 1 t H₂·den⁻¹.

Uvedené analýzy bude do budoucna nezbytné aplikovat rovněž na dálnici D49, vedoucí od křížení dálnic D1 a D55 po hraniční přechod Střelná/Lysá pod Makytou. Tato dálnice je plánována jako součást hlavní sítě TEN-T, a tedy po jejím vybudování pro ni budou rovněž platit požadavky dané AFIR.

Dálnice D5, D8 a D11. Cílem je nalezení vhodných čerpacích stanic u okraje 200km zóny vymezené po silniční síti od veřejných VČS v Praze, které plní požadavky AFIR na dojezdovou vzdálenost od sjezdů ze sítě TEN-T. Pokud v těchto zónách existuje v databázi veřejná VČS splňující požadavky AFIR na dojezdovou vzdálenost od posuzované komunikace (např. v městských uzlech), je možné snížit denní výkon předpokládané stanice o výkon stanice již zahrnuté v databázi, za předpokladu, že součet denních výkonů na daném úseku dosáhne min. 1 t H₂·den⁻¹. Pokud ne pak je nezbytné v daném úseku vybudovat jednu nebo více VČS o celkovém denním výkonu min. 1 t H₂·den⁻¹.



Obrázek 8: Postup rozvoje sítě VČS na hlavní síti TEN-T

Pro výběr nejvhodnější čerpací stanice v jejímž areálu by měla být VČS vybudována je možné provést na základě:

- posouzení potenciálu spotřeby, resp. prodeje vodíku s využitím multikriteriální analýzy (např. Saatyho metoda kvantitativního párového srovnání, kde váhy jednotlivých kritérií jsou určeny pomocí expertního hodnocení – využití kritérií pro rozvoj čerpacích stanic, navržených v rámci řešení projektu), kde výsledkem je pořadí stanovené na základě dosaženého počtu bodů,
- posouzení vhodnosti pro realizaci (prostorové dispozice, rezervovaný příkon, bezpečnost, dopady navýšení nákladní dopravy, apod.).



4.3. Rozvoj sítě VČS na základě scénářů spotřeby vodíku

4.3.1. VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY

V Metodice byly uplatněny následující předpoklady:

- Návaznost na základní síť VČS splňující parametry AFIR, jejíž rozvoj je metodicky popsán v kapitole 3.2 Plány výstavby čerpacích stanic v EU.
- Rozvoj sítě VČS v jednotlivých časových řezech (2030, 2040, 2050) je v souladu s očekávanou spotřebou vodíku, která byla modelována v tomto projektu CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR a je uvedena v kapitole 4.1.3 Přehled vodíkových čerpacích stanic.
- Spotřeba vodíku je mezi jednotlivé kraje rozdělena poměrově podle spotřeby energie v silniční dopravě.
- Rozvoj sítě je realizován v městských uzlech, dalších městech a na síti TEN-T, v delším časovém horizontu také na silnicích nižších tříd, zejména I. třídy.
- VČS bude ideálně součástí ČS, případně bude VČS umístěna v místě výroby vodíku.
- Zásobování VČS plyným vodíkem pomocí trajlerových vozů je z ekonomického pohledu, oproti jiným způsobům distribuce, výhodné do 500 kg.den⁻¹ [54]. V delším časovém horizontu se předpokládá i možné využití produktovodů.
- Po roce 2030, kdy je plánováno spuštění tranzitního vodíkovodu, bude možné odebírat vodík z míst kompresní stanice, a po vyčištění a stlačení jej transportovat dále do sítě čerpacích stanic.
- Postupně bude s ohledem na rostoucí spotřebu vodíku narůstat význam zásobování VČS zkvalitněným vodíkem a jinými energetickými nosiči (methanol apod.).

4.3.2. ROZDĚLENÍ SPOTŘEBY VODÍKU NA KRAJE ČR

Protože není možné předem predikovat, jak budou vodíková vozidla používána z geografického pohledu, tj. kde budou registrována a kde provozována, ani jaké bude prostorové rozdělení jejich dopravních výkonů, byl zvolen přístup předpokládající obdobné využití jako v případě stávajících vozidel. Výchozím krokem je stanovení podílu sledovaných kategorií vozidel v jednotlivých krajích na celkové spotřebě energie v silniční dopravě. Tato analýza ukáže, jak intenzivně je daná kategorie vozidel provozována v jednotlivých krajích. Následujícím krokem je rozdělení předpokládané spotřeby vodíku ve sledovaných kategoriích vozidel do jednotlivých krajů v podílech, které byly stanoveny na základě analýzy v předchozím kroku. Výpočet se provede podle vzorců (1) a (2). Výsledky jsou uvedeny v tabulkách (Tabulka 8 až Tabulka 10) pro referenční scénář, resp. v tabulkách (Tabulka 11 až Tabulka 13) pro koncepční scénář.

$$E_{H_2 i,j} = E_{H_2 j} \times \frac{E_{OP i,j}}{E_{OP j}} \quad (MWh) \quad (1)$$



$E_{H_2 j}$ je předpokládaná spotřeba vodíku u vozidel kategorie j (MWh),

$E_{OP i,j}$ je spotřeba energie vozidel kategorie j (fosilní paliva a biopaliva) v kraji i (MWh),

$E_{OP j}$ je celková spotřeba energie vozidel kategorie j (fosilní paliva a biopaliva) (MWh).

$$M_{pH_2 i,j} = \frac{E_{H_2 i,j}}{H_{H_2}} \quad (t) \quad (2)$$

$E_{H_2 i,j}$ je předpokládaná spotřeba vodíku u vozidel kategorie j v kraji i (MWh),

H_{H_2} je výhřevnost vodíku 33,3 MWh·t⁻¹ [55] [56] [57]

Tabulka 8: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2030 – referenční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	60	107	5	431	0,06
Středočeský	62	120	4	499	0,08
Jihočeský	34	30	2	287	0,06
Plzeňský	29	11	1	152	0,05
Karlovarský	13	13	0	45	0,01
Ústecký	32	24	1	171	0,03
Liberecký	22	24	1	124	0,03
Královéhradecký	29	21	1	209	0,03
Pardubický	28	25	1	205	0,04
Vysočina	31	25	1	144	0,04
Jihomoravský	48	62	3	274	0,06
Olomoucký	25	7	1	152	0,03
Zlínský	24	43	1	133	0,03
Moravskoslezský	44	88	2	202	0
Celkem	480	600	25	3 029	0,59

Tabulka 9: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2040 – referenční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	476	430	112	3 933	0,59
Středočeský	499	480	85	4 559	0,84
Jihočeský	273	121	44	2 623	0,57
Plzeňský	230	42	33	1 390	0,48
Karlovarský	107	54	9	413	0,09
Ústecký	259	95	30	1 566	0,31
Liberecký	176	94	20	1 130	0,30
Královéhradecký	233	82	32	1 910	0,33



Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Pardubický	223	100	24	1 872	0,37
Vysočina	244	99	28	1 313	0,39
Jihomoravský	381	248	69	2 499	0,57
Olomoucký	198	28	30	1 389	0,31
Zlínský	191	174	31	1 214	0,32
Moravskoslezský	350	352	41	1 848	0,46
Celkem	3 840	2 400	590	27 660	5,93

Tabulka 10: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2050 – referenční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	3 970	4 081	1 636	42 127	1,76
Středočeský	4 158	4 564	1 245	48 827	2,53
Jihočeský	2 273	1 154	639	28 094	1,71
Plzeňský	1 916	399	481	14 892	1,43
Karlovarský	888	508	131	4 424	0,27
Ústecký	2 156	899	444	16 768	0,92
Liberecký	1 471	896	299	12 104	0,91
Královéhradecký	1 945	781	471	20 455	0,99
Pardubický	1 860	955	349	20 055	1,12
Vysočina	2 035	941	412	14 066	1,18
Jihomoravský	3 175	2 361	1 010	26 771	1,71
Olomoucký	1 646	267	435	14 874	0,92
Zlínský	1 588	1 652	449	13 007	0,96
Moravskoslezský	2 918	3 342	604	19 793	1,37
Celkem	32 000	22 800	8 606	296 256	17,78

Tabulka 11: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2030 – koncepční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	79	483	56	679	0,06
Středočeský	83	540	43	787	0,08
Jihočeský	45	137	22	453	0,06
Plzeňský	38	47	16	240	0,05
Karlovarský	18	60	4	71	0,01
Ústecký	43	106	15	270	0,03
Liberecký	29	106	10	195	0,03
Královéhradecký	39	92	16	330	0,03
Pardubický	37	113	12	323	0,04
Vysočina	41	111	14	227	0,04
Jihomoravský	64	280	35	432	0,06
Olomoucký	33	32	15	240	0,03



Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Zlínský	32	196	15	210	0,03
Moravskoslezský	58	396	21	319	0,05
Celkem	640	2 700	295	4 776	0,59

Tabulka 12: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2040 – koncepční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	1 298	1 343	739	11 170	8
Středočeský	1 360	1 501	562	12 946	12
Jihočeský	743	380	289	7 449	8
Plzeňský	627	131	217	3 948	6
Karlovarský	290	167	59	1 173	1
Ústecký	705	296	201	4 446	4
Liberecký	481	295	135	3 209	4
Královéhradecký	636	257	213	5 423	4
Pardubický	608	314	158	5 317	5
Vysočina	665	310	186	3 729	5
Jihomoravský	1 038	777	456	7 098	8
Olomoucký	538	88	196	3 944	4
Zlínský	519	543	203	3 449	4
Moravskoslezský	954	1 100	273	5 248	6
Celkem	10 463	7 500	3 886	78 550	81

Tabulka 13: Předpokládaná spotřeba vodíku [t] v jednotlivých krajích v roce 2050 – koncepční scénář

Kraj	Kategorie vozidel				
	M1	M2+M3	N1	N2+N3	L
Praha	11 909	4 941	5 750	67 913	70
Středočeský	12 475	5 525	4 375	78 715	101
Jihočeský	6 819	1 397	2 247	45 291	68
Plzeňský	5 748	483	1 691	24 007	57
Karlovarský	2 665	615	461	7 132	11
Ústecký	6 469	1 088	1 562	27 032	37
Liberecký	4 412	1 085	1 050	19 512	36
Královéhradecký	5 836	945	1 656	32 976	39
Pardubický	5 580	1 156	1 226	32 331	45
Vysočina	6 105	1 139	1 449	22 676	47
Jihomoravský	9 526	2 858	3 550	43 158	68
Olomoucký	4 938	323	1 528	23 979	37
Zlínský	4 763	1 999	1 577	20 969	38
Moravskoslezský	8 755	4 046	2 123	31 908	55
Celkem	96 000	27 600	30 243	477 600	711



4.3.3. LOKALIZACE VČS – SÍŤOVÉ ANALÝZY

Pro účely lokalizace VČS je zapotřebí provést detailnější rozdělení spotřeby vodíku v jednotlivých územních celcích. Jako optimální se ukazuje rozdělit spotřebu vodíku na sčítací úseky na základě dopravního výkonu (údaje ze sčítání dopravy). Pro každý kraj se vypočte předpokládaná spotřeba vodíku na jednotlivých sčítacích úsecích silnic v daném kraji podle vztahu (3). Takto rozdělená spotřeba představuje jeden ze základních vstupů do geoprostorových analýz.

$$M_{pH_2, s_{ú,k,j}} = M_{pH_2,j} \times \frac{d_{s_{ú,k}} \times I_{s_{ú,k,j}}}{\sum_x (d_{s_{ú,x}} \times I_{s_{ú,x,j}})} \quad (t) \quad (3)$$

$M_{pH_2,j}$ je předpokládaná spotřeba vodíku u vozidel kategorie j (t),

$d_{s_{ú,k}}$ je délka sčítacího úseku k (km),

$I_{s_{ú,k,j}}$ je roční průměr denních intenzit vozidel kategorie j na sčítacím úseku k ,

x je počítadlo sčítacích úseků v daném kraji.

Vstupní data

Mezi vstupní data každé síťové analýzy patří kromě nabídky potenciálních lokalit, na kterých je možné vybudovat novou stanici (*Candidate facilities*), také stávající "vyžadované" lokality již vybudovaných, příp. podpořených vodíkových stanic (*Required facilities*). Tato zařízení tedy musí být nutně zahrnuta v řešení analýzy, algoritmus tak s nimi musí počítat. Pro první scénář (rok 2030) jsou uvažovány vodíkové čerpací stanice, které byly v roce 2023 v provozu, ve fázi výstavby nebo podpořené z operačních programů. K 1.12.2023 se jednalo o 9 stanic – tři v Ostravě, tři v Praze, jedna v Brně, Napajedlech a v Litvínově. Každá z těchto stanic má v popisných atributech informaci o svém denním výkonu (v kg H₂), který byl využit při výpočtu síťové analýzy.

Dále dle požadavku AFIR vyplývá nutnost vybudovat nové stanice v tzv. městských uzlech. Kromě Prahy a Ostravy, na jejichž území jsou již vodíkové čerpací stanice funkční, se jedná o Brno, České Budějovice, Hradec Králové, Liberec, Olomouc, Pardubice, Plzeň, Ústí nad Labem. Těchto 8 městských uzlů proto také vstupovalo do analýzy v pozici "vyžadovaných lokalit" (*Required facilities*), abychom ve výsledku dosáhli alokace nových stanic mimo tato sídla, jež mají povinnost výstavby stanice dle zmíněné směrnice. Denní výkon stanic v těchto městských uzlech byl pro účely síťové analýzy ve výchozím časovém řezu (2030) pevně stanoven na 300 kg, tedy na hodnotu, která je předpokládaná jako investičně přijatelnější. Vyšší vytížení menší stanice, stejně jako snazší logistika zásobování, je pro provozovatele výhodnější, než v případě stanice větší. Nezanedbatelný význam je kladen rovněž i na dostupnou vzdálenost jiné stanice v případě poruchy či plánované odstávky.

Jak již bylo zmíněno, k alokaci určitého počtu nových stanic je nutné vycházet z většího počtu kandidátních lokalit (*Candidate facilities*), ze kterých může algoritmus vybírat optimální rozmístění (alokaci) vzhledem k poptávce ze zdrojů spotřeby. Dataset těchto kandidátů tvoří již vybudované benzinové čerpací stanice v dojezdové vzdálenosti 10 km od sledované sítě spotřeby (sít TEN-T pro



účely splnění požadavků AFIR a síť dálnic, silnic pro motorová vozidla a silnic I. třídy pro plošný rozvoj infrastruktury na celém území ČR). Podobně jako stávajícím stanicím (a zástupcům městských uzlů) byla všem kandidátním stanicím nastavena hodnota jejich maximálního denního výkonu (v závislosti na scénářích 300, 500 a 1000 kg, případně 2000 kg v roce 2050).

Nezbytnou součástí každé analýzy jsou zdrojová data poptávky (*Demand Points*), pro účely metodiky se jedná o spotřeby vodíku na sčítacích úsecích v ČR ve dvou scénářích – referenčním a koncepčním. Hodnota spotřeby každého úseku zájmové sítě slouží jako váha, která spolu se vzdáleností mezi úsekem a potenciální (kandidátní) stanicí vstupuje do alokačního algoritmu. Tato vzdálenost může být také uživatelem omezena, aby z důvodu naplněných kapacit stanic nedocházelo k tvorbě dlouhých tras mezi zdrojem a stanicí. Nastavení maximální možné vzdálenosti dojezdu bylo omezeno na 100 km, vstupní data spotřeby tak hledají "svou" potenciální stanicí do této vzdálenosti.

Síťová analýza v GIS

Příprava vstupních dat a analytické zpracování jsou popsány pro prostředí softwaru ESRI ArcGIS Desktop a extenzi Network Analyst. Součástí extenze jsou analytické nástroje pro routování, definování oblastí obslužnosti, řešení problematiky "obchodního cestujícího" a také vhodné nástroje pro optimální alokaci nových zařízení s ohledem na poptávku v síťovém prostředí (*Location-allocation analysis*).

Tento typ síťové analýzy je úlohou určení optimální polohy nových stanic na síti vzhledem k množině již existujících zařízení (*Required facilities*) a k množině míst, která stanice poptává (*Demand Points*), tedy úseky dopravní sítě ohodnocené spotřebou vodíku dle daného scénáře. Stejně jako je důležité správné nastavení vstupních dat – *Required facilities*, *Candidate facilities*, *Demand Points* je velice důležité před výpočtem specifikovat počet nových stanic, které mají být na síti alokovány. Výsledek analýzy tak odpoví na otázku: „Kde v ČR se má umístit kolik nových stanic s ohledem na spotřebu vodíku na úsecích sítě tak, aby jejich pokrytí co nejlépe respektovalo poptávku?“

Prvotní orientační odhad počtu hledaných stanic vychází z prognóz spotřeby vodíku v jednotlivých scénářích. Při odhadu je zohledněn také výkon existujících, realizovaných, případně podpořených VČS a výkon stanic vystupujících z analýzy infrastrukturní sítě pro splnění požadavků AFIR. Pro stanovení potřebného rozšíření počtu VČS se použije vzorec (4). Je zřejmé, že zejména v pozdějších časových řezech by potřebný počet VČS s malým denním výkonem, případně VČS s nižší hladinou středních denních výkonů byl vyšší než počet stávajících stanic na uhlovodíková paliva. Proto je v analýzách kromě hledání nových stanic zároveň v pozdějších časových řezech uvažováno i s navyšováním denního výkonu stanic z předcházejících scénářů.

$$nVPS = \frac{M_{pH_2} - CV_{VPSi}}{0,001 \times DV_{VPS} \times 365} \quad (ks) \quad (4)$$

M_{pH_2} je předpokládaná roční spotřeba vodíku v daném scénáři ($t \cdot rok^{-1}$),

CV_{VPS} je celkový roční výkon existujících/realizovaných/podpořených VČS ($t \cdot rok^{-1}$),

DV_{VPS} je denní výkon vodíkových čerpacích stanic ($kg \cdot den^{-1}$).



Algoritmus alokace pak vybírá nejlepší kandidátní stanice k přiřazení spotřební poptávky co nejefektivněji cestou vzhledem k typu problému a specifikovaným kritériím. Nástroj pro alokování nových stanic obsahuje několik typů úloh s různými omezeními a nastavitelnými parametry. Pro účel metodiky přicházejí v úvahu tyto:

Minimalizace nákladů (Minimize Impedance)

Tato nejjednodušší a nejrozšířenější alokační analýza je založena pouze na vzdálenosti zařízení a poptávkového bodu, který je ohodnocen hodnotou váhy (spotřebou vodíku). Je nutné znát přesný počet zařízení, která chceme z kandidátních zařízení vybrat – tato informace je pro tuto analýzu povinná. Používá se v případě, kdy je minimální vzdálenost k zařízení zásadní, **což v našem případě plně neplatí**. Výsledné náklady alokované stanice jsou minimální sumou vážených hodnot spotřeb na úsecích.

Maximální kapacitní pokrytí (Maximize Capacitated Coverage)

V této analýze se algoritmus snaží přiřadit co nejvíce poptávkových bodů k zařízením, avšak **nesmí dojít k překročení jejich výkonu**. Obecným cílem je pokrytí co nejvíce “zákazníků” – tedy pokrytí spotřeby vodíku na úsecích sítě, a dosáhnout tak nanejvýš plného vytížení stanice. Algoritmus umožňuje nastavit hraniční dojezdovou vzdálenost, do které se snaží pokrýt co největší množství bodů spotřeby. Podobně jako u úlohy Minimalizace nákladů je nutné zadat počet zařízení, které má algoritmus vybrat. Body poptávky opět využívají jako váhu svou hodnotu spotřeby na úseku dle daného scénáře. S ohledem na nastavení výkonu “vyžadovaných” a “kandidátních” stanic, který určuje horní mez při maximalizaci pokrytí, a na požadavek největšího pokrytí sítě, se **tento typ úlohy jeví jako nejvhodnější**.

Před spuštěním výpočetního algoritmu je tedy vždy nutné zadat počet stanic, které bude algoritmus hledat s ohledem na již vyžadované stanice (stávající stanice v řešeném časovém řezu a městské uzly). Zároveň bere do úvahy maximální denní výkon (reálný u vybudovaných stanic a modelovaný u kandidátů), který každá stanice nabízí svému okolí. Každý “zákazník” (reprezentován úsekem sítě) pak se svou denní spotřebou vodíku (namodelovanou pro daný scénář) požaduje najít svou optimální stanici v dojezdové vzdálenosti do 100 km. Pro tyto všechny podmínky musí algoritmus najít optimální řešení.

Výstupy ze síťových analýz

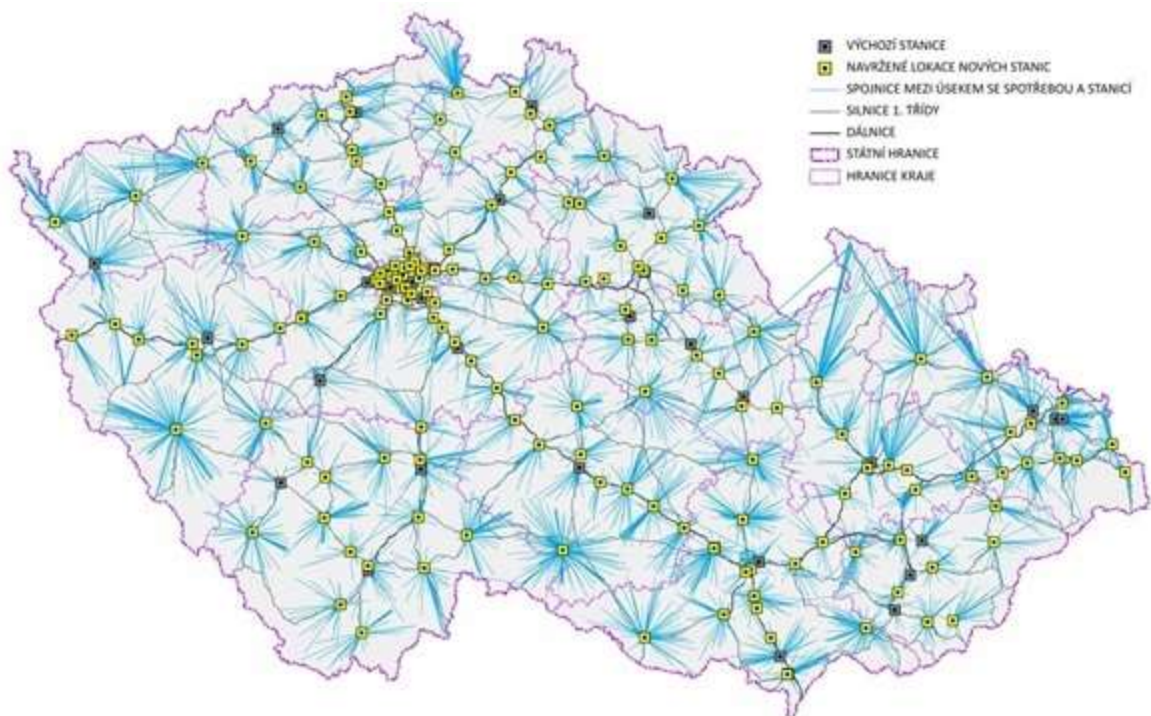
Nově alokované stanice

Ze vstupních kandidátních lokalit je algoritmem vybrán předem definovaný počet nových stanic (*Chosen facilities*) optimálně rozvržených na síti vzhledem ke zdrojům spotřeby. Dojde tedy ke změně z kandidáta na “**vybraný**” prvek, který dále obsahuje popisné atributy o počtu “přiřazených” úseků k této nové stanici a hodnotu jejich celkového denního výkonu (suma hodnot modelovaných spotřeb). Tato hodnota však nepřekračuje maximum kapacity stanice, definované ve vstupních parametrech algoritmu. Dále je pro každou vybranou stanici vypočítána suma dojezdových délek ze svých přiřazených úseků a hodnota vážené délky (součet pronásobených délek dojezdu a hodnot spotřeby).



Linie dojezdových tras

Tento výsledek analýzy obsahuje soubor spojnic z poptávaných lokalit spotřeb do vybraných stanic, které jim byly algoritmem přiřazeny. Výsledný tvar liniových tras může korespondovat s přesným síťovým průběhem anebo pro grafické zjednodušení může být reprezentován pouze přímkou, avšak se zachováním popisných atributů reprezentující síťové řešení optimální trasy (váha, síťová cena, vzdálenost trasy apod.). Příklad výstupu uvádí Obrázek 9.



Obrázek 9: Příklad vizualizace výstupů ze síťových analýz

4.3.1. VÝSLEDEK SÍŤOVÉ ANALÝZY

Výsledkem síťových analýz je predikce optimálního stavu vodíkové infrastruktury v definovaných scénářích (Tabulka 14). Výkony stanic byly pro splnění požadavků AFIR nastaveny na $1000 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$ na hlavní síti TEN-T a $300 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$ v městských uzlech. Pro oba scénáře roku 2030 (referenční i koncepční) byly předpokládány výkony hledaných stanic $300 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$. V obou scénářích roku 2040 byly u výchozích lokalit ponechány jejich denní výkony a u hledaných stanic byl zvolen výkon $500 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$. S ohledem na výši celkové spotřeby vodíku v roce 2050 byly v referenčním scénáři navýšeny výkony ve výchozích lokalitách (předpoklad obnovy technologií stanic po uplynutí životnosti) i v nově hledaných lokalitách, a to ve dvou variantách – $1000 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$ a $2000 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$. V koncepčním scénáři byl u výchozích i hledaných stanic zvolen výkon $2000 \text{ kg}\cdot\text{den}^{-1}$. Výsledkem provedených analýz byl současně soubor map. Tento výsledek projektu je zveřejněn na webu Čistá



doprava a je dostupný z web adresy: <https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>.

Uvedené výstupy jsou vztaženy ke vstupním datům a parametrům platným k roku 2023 a výše uvedeným předpokládaným výkonům VČS.

Tabulka 14: Výsledky síťových analýz – počet VČS

Scénář	Počet výchozích VČS [ks]	Počet nových VČS [ks]	Celkový počet VČS [ks]
Referenční AFIR	9	8 (1)*	17
Referenční 2030	17	18	35
Referenční 2040	35	162	197
Referenční 2050 1t	197	789	986
Referenční 2050 2t	197	296	493
Koncepční AFIR	9	10 (3)*	19
Koncepční 2030	19	48	67
Koncepční 2040	67	505	572
Koncepční 2050 2t	572	294	866

* Údaj v závorce udává počet nových stanic na hlavní síti TEN-T

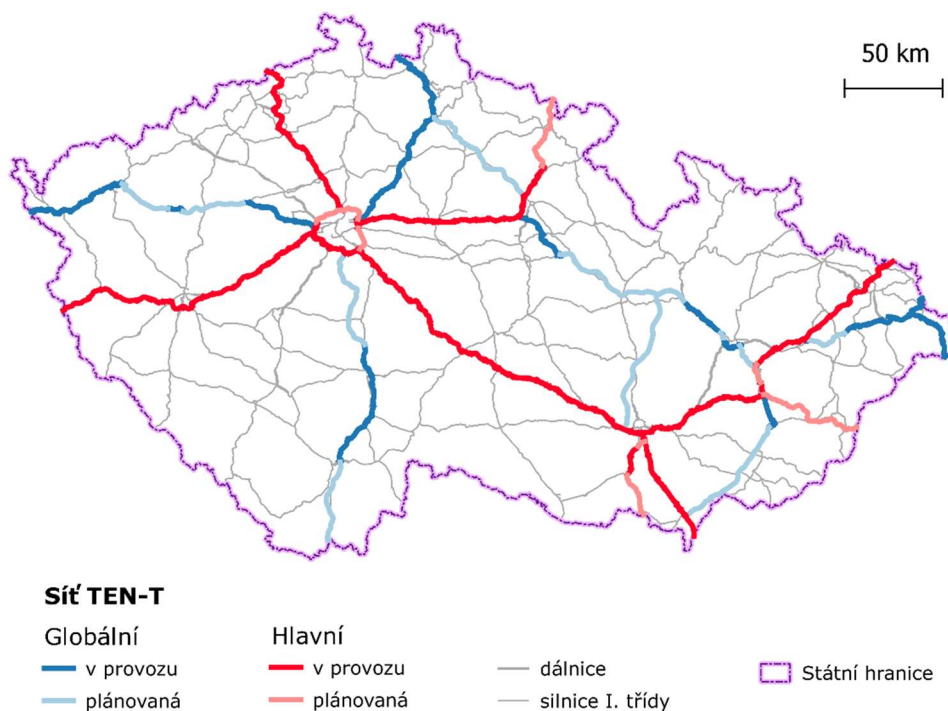
4.4. Výchozí podklady a vstupní data

4.4.1. SÍŤ TEN-T

Transevropská dopravní síť a její rozvoj jsou zakotveny v nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1315/2013, resp. návrhu nařízení Evropského parlamentu a Rady o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě, o změně nařízení (EU) 2021/1153 a nařízení (EU) č. 913/2010 a o zrušení nařízení (EU) č. 1315/2013 [51], COM(2021) 812 [52]. Nařízení obsahují orientační mapy cílové podoby globální a hlavní sítě TEN-T v členských zemích. V mapách jsou silnice členěné podle stavu na dokončené, určené k modernizaci a plánované. Aktuální stav sítě TEN-T v České republice je veřejně k dispozici na Geoportálu silniční a dálniční sítě ČR [58]. Pro využití geoprostorových analýz při plánování sítě vodíkových PS je potřebná mapová vrstva sítě TEN-T. Pro její vytvoření je možné použít mapové podklady Silniční databanky, primárních poskytovatelů dat nebo dostupné WMS služby. Geoprostorové analýzy pro plánování rozvoje sítě VČS v delším časovém horizontu



vyžadují rozšíření mapové vrstvy (Obrázek 10) stávající sítě TEN-T o plánované úseky, např. s využitím orientačních map obsažených v Nařízení č. 1315/2013/EU.



Obrázek 10: Mapa sítě TEN-T (zdroj: CDV)

4.4.2. SEZNAM MĚSTSKÝCH UZLŮ

Městské uzly jsou vyjmenovány v příloze II nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1315/2013, resp. návrhu nařízení Evropského parlamentu a Rady o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě, o změně nařízení (EU) 2021/1153 a nařízení (EU) č. 913/2010 a o zrušení nařízení (EU) č. 1315/2013 [52]. Návrh nařízení rozšiřuje počet městských uzlů na 7 krajských měst. Nad rámec návrhu probíhá diskuze o rozšíření na 10 měst. Navrhované městské uzly jsou vyznačeny v mapě (Obrázek 11).



Obrázek 11: Mapa TEN-T městských uzlů

4.4.3. SPOTŘEBA VODÍKU DLE SCÉNÁŘŮ

Budoucí spotřeba vodíku byla analyzována v projektu CK02000044 „Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR“. Analýza byla provedena na základě státní energetické, dopravní a environmentální politiky. Výstupy byly zpracovány ve variantních scénářích, přičemž pro rozvoj infrastruktury VČS jsou zásadní scénáře referenční a koncepční. Referenční scénář odpovídá nejlepšímu odhadu rychlosti rozvoje vodíkových dopravních prostředků, mimo jiné s ohledem na možnosti lokální výroby vodíku a také jeho dovozních kapacit. Pro scénář je charakteristická spotřeba vodíku zejména v kategorii silniční nákladní dopravy (kat. vozidel N3). Koncepční scénář do jisté míry vychází z predikce Vodíkové strategie ČR a udává v roce 2050 nejvyšší spotřebu vodíku rovněž pro kategorii vozidel N3. Významně však narůstá spotřeba také v kategorii osobních automobilů (kat. M1) a v mezinárodní letecké přepravě [59]. V průběhu řešení projektu CK02000044 došlo k významným změnám zejména v oblasti evropské legislativy, proto byly scénáře spotřeby vodíku v roce 2023 aktualizovány, aby reflektovaly vývoj v předmětné oblasti. Finální očekávaná budoucí spotřeba v referenčním a koncepčním scénáři charakterizuje Tabulka 15 a Tabulka 16. Pro účely tohoto metodického postupu jsou dále využívány pouze prognózy spotřeby vodíku v silniční dopravě.



Tabulka 15: Budoucí spotřeba vodíku v referenčním scénáři

Spotřeba H ₂ v roce podle kategorie vozidel	2030 [t/rok]	2040 [t/rok]	2050 [t/rok]
Silniční	4134	34496	359679
M1	480	3840	32000
M2+M3	600	2400	22800
N1	25	590	8606
N2	245	748	6256
N3	2784	26912	290000
L	1	6	18
Železniční	0	2400	5000
Lodní	0	0	895
Letecká vnitrostátní	0	21	328
Letecká mezinárodní	0	3688	59003
LSZM	0	4822	19286
Celkem	4134	45426	444192

Tabulka 16: Budoucí spotřeba vodíku v koncepčním scénáři

Spotřeba H ₂ v roce podle kategorie vozidel	2030 [t/rok]	2040 [t/rok]	2050 [t/rok]
Silniční	8412	100480	632154
M1	640	10463	96000
M2+M3	2700	7500	27600
N1	295	3886	30243
N2	136	1236	13600
N3	4640	77314	464000
L	1	81	711
Železniční	3000	12000	25000
Lodní	0	101	1611
Letecká vnitrostátní	0	34	547
Letecká mezinárodní	0	8297	132756
LSZM	1607	6429	25715
Celkem	13019	127341	817783

4.4.4. INTENZITY DOPRAVY

Intenzity dopravy vycházejí z celostátního sčítání dopravy, které probíhá každých 5 let. V době vzniku metodiky bylo poslední sčítání dopravy provedeno v roce 2020 [59]. V Praze pak probíhá samostatné sčítání, které realizuje Technická správa komunikací. Zatím poslední dostupné výsledky jsou z roku 2022 [60]. Pro sledované časové řezy (2030, 2040 a 2050) se provádí přepočítání s využitím technických podmínek TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy [61].

Budoucí intenzity dopravy se stanoví pomocí metody jednotného součinitele vývoje. Výhledové intenzity dopravy jsou odvozeny z výchozí intenzity dopravy zjištěné na dané komunikaci (poslední



sčítání dopravy) a z koeficientu vývoje intenzit dopravy pro sledovaný časový řez. Koeficient se člení podle:

- druhu vozidel,
- typu komunikace,
- příslušného kraje a vzdálenosti od krajského města.

TP 225 používají sloučené skupiny vozidel, které nejsou shodné se skupinami vozidel definovanými pro sčítání dopravy.

Z údajů, které uvádí Tabulka 17 je zřejmé, že pro sčítání dopravy v Praze je pro osobní vozidla možné použít dvou koeficientů vývoje intenzit dopravy. Pokud nejsou k dispozici podrobnější výsledky sčítání, provede se v tomto případě rozdělení osobních vozidel do skupiny A a B na základě expertního odhadu.

Tabulka 17: Skupiny vozidel pro prognózy intenzit dopravy

Skupiny vozidel pro prognózy intenzit dopravy dle TP 225	Druhy vozidel dle celostátního sčítání dopravy	Druhy vozidel dle sčítání dopravy v Praze
A – Osobní vozidla	M – Jednostopá motorová vozidla	Osobní vozidla
	O – Osobní a dodávková vozidla bez přívěsů i s přívěsy	
B – Lehká nákladní vozidla	LN – Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t) bez přívěsů i s přívěsy	Pomalá vozidla (vč. autobusů bez MHD) Autobusy MHD
C – Těžká vozidla	SN – Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5–10 t) bez přívěsů	
	SNP – Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5–10 t) s přívěsy	
	TN – Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) bez přívěsů	
TNP – Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) s přívěsy		
	NSN – Návěsové soupravy nákladních vozidel	
	A – Autobusy	
	AK – Autobusy kloubové	

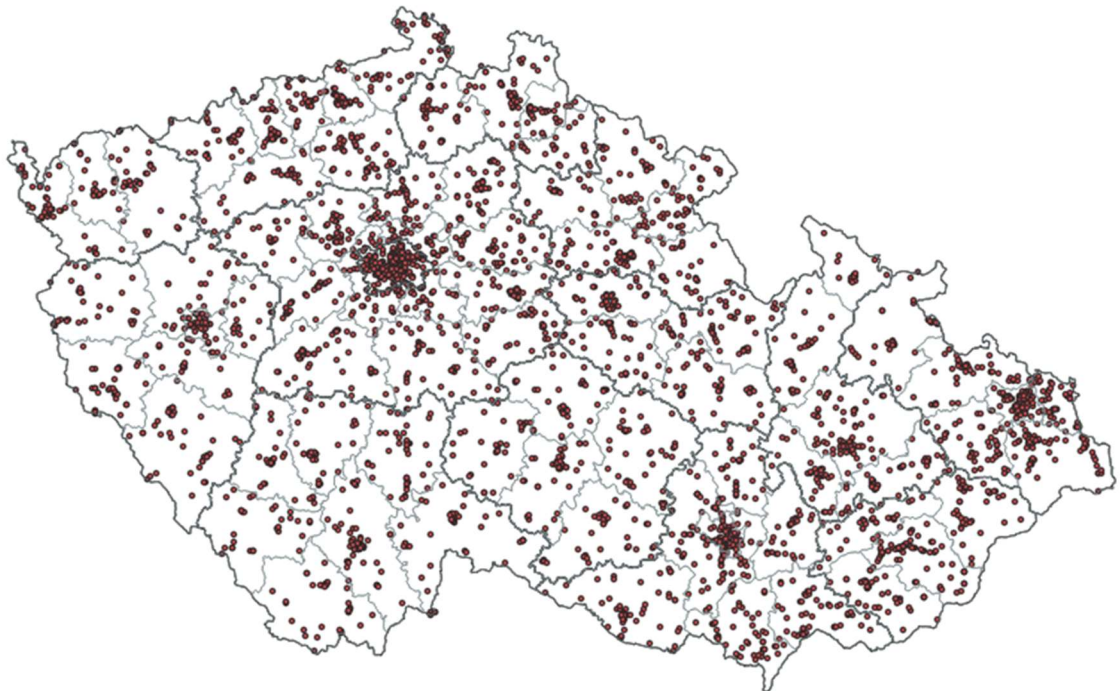
Vlastní stanovení budoucích intenzit dopravy pak probíhá podle postupů detailně popsanych v technických podmínkách TP 225 a koeficientů vývoje intenzit dopravy obsažených v jejich příloze [61]. Pro co nejuvěrnější stanovení intenzit dopravy je důležité jako vstupy používat vždy poslední známé výsledky sčítání dopravy a aktuální verzi technických podmínek.



4.4.5. SEZNAM ČERPACÍCH STANIC POHONNÝCH HMOT V ČR

Jedním z veřejně dostupných datových zdrojů je Seznam provozovaných veřejných čerpacích stanic pohonných hmot v ČR [62], který je dostupný na webu Ministerstva průmyslu a obchodu (www.mpo.cz) v sekci energetických statistik. Seznam čerpacích stanic obsahuje atribut statistické územní jednotky na úrovni LAU 1, adresu a případně upřesňující popis umístění. Dále poskytuje informace o typu pohonných hmot prodávaných na jednotlivých čerpacích stanicích a datum uvedení stanice do provozu. Tento seznam ovšem neobsahuje GPS souřadnice čerpacích stanic, potřebné pro provádění geoprostorových analýz.

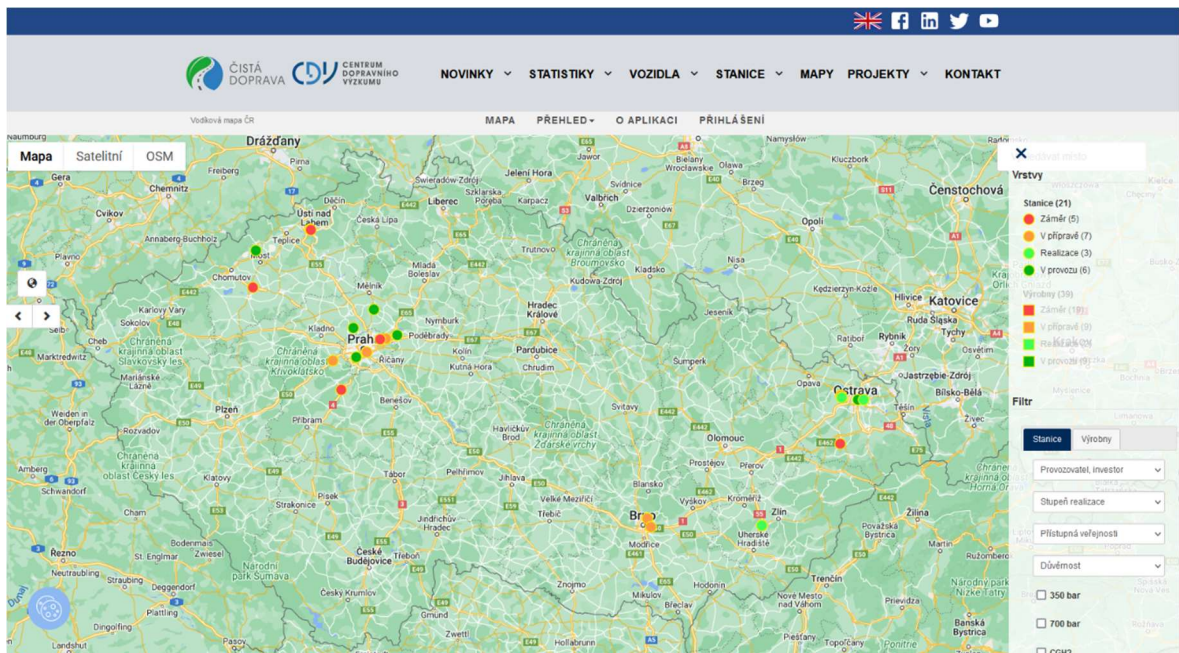
Databázi čerpacích stanic v ČR včetně GPS souřadnic spravuje Zeměměřičský úřad. Zdrojem geometrických dat (Obrázek 12) je Ministerstvo průmyslu a obchodu, ortofoto a vlastní šetření v terénu. Data jsou poskytována za úhradu.



Obrázek 12: Vizualizace dat ČÚZK

4.4.6. SEZNAM VODÍKOVÝCH ČERPACÍCH STANIC

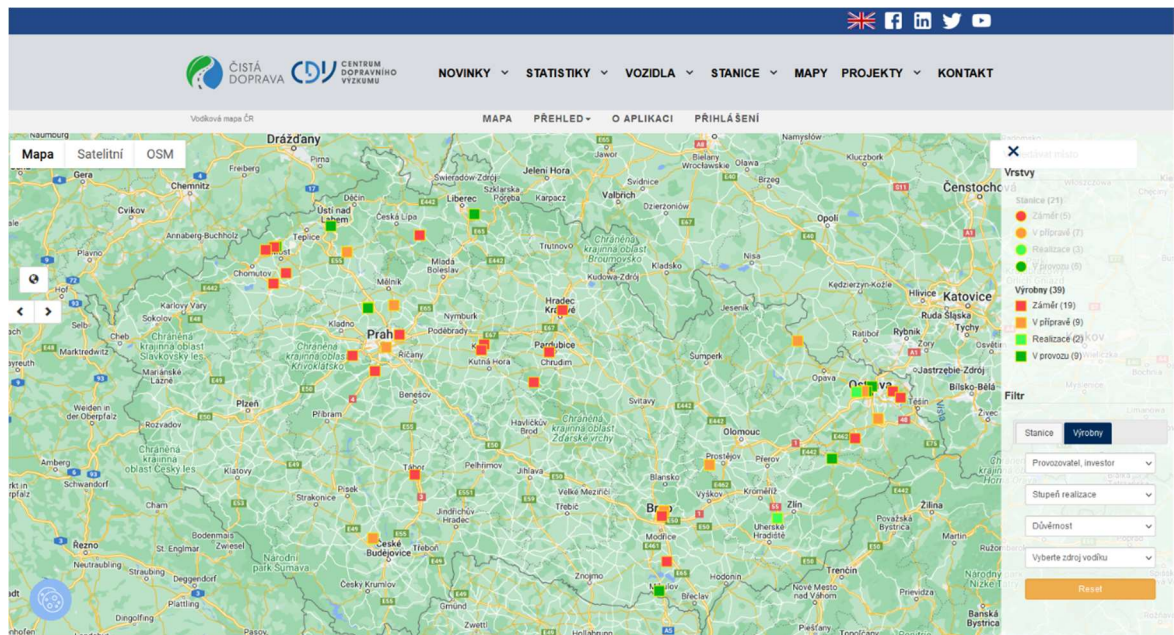
Pravidelně aktualizovaný seznam vodíkových čerpacích stanic (Obrázek 13) je součástí Vodíkové mapy ČR, dostupné na serveru Čistá doprava [41]. Data jsou dostupná kromě grafické formy také v tabulkové podobě.



Obrázek 13: Provozované a plánované VČS

4.4.7. SEZNAM ZDROJŮ VODÍKU

Pravidelně aktualizovaný seznam výroben bezemisního a nízkoemisního vodíku (Obrázek 14) je součástí Vodíkové mapy ČR, dostupné na serveru Čistá doprava [41]. Přehled výroben je k dispozici zároveň v tabulkové podobě.



Obrázek 14: Provozané a plánované elektrolyzéry, případně jiné druhy výroby vodíku

4.4.8. TERMINÁLY KOMBINOVANÉ DOPRAVY

V terminálu kombinované dopravy může existovat významný potenciál poptávky po vodíku (železniční a silniční doprava, manipulační stroje). Tento potenciál se uplatní pokud se při analýze identifikuje potřeba výstavby VČS v okolní lokalitě. V takovém případě může být VČS s výhodou umístěna v terminálu kombinované dopravy, spíše než v blízké ČS. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013 v příloze II specifikuje 10 veřejných kombinovaných terminálů železniční a silniční dopravy na síti TEN-T v rámci území ČR. Návrh nařízení Evropského parlamentu a Rady [52] zvyšuje původní počet terminálů kombinované dopravy na cílových 11. Jsou jimi:

Hlavní síť TEN-T

Česká Třebová
Děčín
Mělník
Ostrava
Pardubice
Plzeň
Praha-Uhřetěves
Přerov

Globální síť TEN-T

Brno
Lovosice
Ústí nad Labem

Kombinovaný terminál železniční a silniční dopravy je uveden v přílohách výše uvedených nařízení, pokud je splněna alespoň jedna z podmínek:



- roční objem překládky přesahuje u baleného zboží 800 000 tun nebo u volně loženého nákladu 0,1 % celkového ročního objemu nákladu odbaveného ve všech námořních přístavech EU,
- jde o hlavní kombinovaný terminál železniční a silniční dopravy určený členským státem pro region NUTS 2, za předpokladu že v daném regionu neexistuje žádný jiný kombinovaný terminál splňující požadavky ročního objemu překládky,
- je navržen členským státem v souladu s akčním plánem pro rozvoj sítě terminálů multimodální nákladní přepravy, vytvořeném na základě analýzy trhu a výhledové analýzy terminálů multimodální nákladní přepravy na svém území.

Výše uvedené analýzy jsou součástí Koncepce nákladní dopravy [63]. V koncepci jsou navrženy vhodné regiony pro terminály nákladní dopravy. Jsou jimi Kolín-Mělník-Lovosice, Přerov, Brno, Plzeň, Pardubice, České Budějovice-Nemanice, Ostravsko, Ústecko, Liberecko, Havlíčkův Brod, Karlovarsko-Mostecko, Českořebovsko, přičemž nelze vyloučit zájem investorů o vybudování terminálů i v jiných regionech. Z tohoto důvodu je doporučeno prověřit záměry uvedené v územně plánovací dokumentaci, v Politice územního rozvoje, případně podrobněji v ÚAP daného území. Zároveň je vhodné prověřit (potenciální) aktualizace strategických dokumentů jako je výše uvedená Koncepce nákladní dopravy, příp. Dopravní politika České republiky.

4.4.9. KRITÉRIA ROZVOJE INFRASTRUKTURY A JEJICH VÁHA

Kritéria slouží pro finální rozhodnutí o konkrétní poloze VČS nebo vhodné čerpací stanici pro instalaci vodíkové technologie na základě multikriteriální analýzy, jak je popsáno v kapitole 4.2. Kritéria byla podrobně definována v rámci projektu CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v ČR v pracovním balíčku WP2 – Definice kritérií pro strategický rozvoj a rozmístění čerpacích stanic a identifikace kritických míst a jsou uvedena ve výzkumné zprávě [64].

Kritéria jsou členěna na:

1) Kritéria ovlivňující prostorové rozmístění infrastruktury

- Potenciální zdroj vodíku – přítomnost obnovitelného zdroje energie pro výrobu vodíku elektrolýzou vody je významná v případě zvažování výroby tzv. zeleného vodíku přímo v místě, nebo v blízkosti umístění obnovitelného zdroje energie,
- Kumulace a potenciál poptávky (VHD, vlaková seřadiště, průmyslové areály apod.) – vzhledem k vysokým investičním nákladům na vybudování čerpacích stanic je žádoucí maximalizace využití jejich kapacit, význam kritéria spočívá v úsporách z rozsahu,
- Vazba na síť TEN-T – budování infrastruktury na páteřních sítích je významné pro umožnění provozu vozidel s vodíkovým pohonem v sítích určených členskými státy EU, tedy v rámci ČR, případně pro zajištění přeshraničních spojení,
- Dopravní, multimodální uzly – budování infrastruktury v těchto uzlech je významné z pohledu předpokládaného stabilního a dostatečně intenzivního odběru vodíku, který by měl zlepšit ekonomickou bilanci budovaných čerpacích stanic,
- Blízkost národních přírodních parků a dalších významných lokalit ochrany přírody – jedná se o posouzení významu a potenciálu budování infrastruktury v blízkosti chráněných přírodních lokalit,



- Významní spotřebitelé z průmyslu (výroba hnojiv, hutnictví...) – význam zejména pro lokální rozvoj infrastruktury v místě produkce vodíku,
- Předpokládaný dojezd vodíkových vozidel – zásadní význam především v prvních fázích zavádění vodíkové infrastruktury,
- Způsob zásobování (produktovod, cisterny, trajlerové vozy, drážní vlečka apod.) – způsob zásobování hraje důležitou roli v investičních a provozních nákladech VČS, klíčovým parametrem jsou náklady na výstavbu a provoz daného způsobu přepravy,
- Hustota zalidnění – souvisí s vyšším komerčním potenciálem v oblastech s vysokou hustotou zalidnění, a tedy s předpokladem možného zvýšení návratnosti investic do čerpacích stanic,
- Počet firem na 1000 obyvatel – souvisí s vyšším potenciálem pro využívání vozidel a strojů s alternativním pohonem u právnických osob,

2) Kritéria ovlivňující kapacitu infrastruktury

- Průměrné denní dopravní intenzity vybraných kategorií vodíkových vozidel na silniční síti – umožňuje na základě předpokládaného podílu vozidel poháněných vodíkem predikovat průměrné denní intenzity těchto vozidel na silniční síti, což umožňuje odhad poptávky po vodíku v daném úseku silniční sítě,
- Průměrná přepravní kapacita vozidel a strojů (velikost nádrže) – slouží pro dimenzování infrastruktury, např. pro optimální volbu kapacity vodíkových zásobníků čerpacích stanic,
- Průměrný denní výkon pracovních strojů – obdobně slouží pro dimenzování infrastruktury, např. pro optimální volbu kapacity vodíkových zásobníků čerpacích stanic

Kritéria mají v jednotlivých časových řezech přidělenou váhu v rozsahu 1–5 (viz. Tabulka 18 a Tabulka 19), kde hodnota 1 představuje malý význam, hodnota 5 představuje nejvyšší důležitost pro plánování rozvoje infrastruktury. Uvedené váhy jsou stanoveny jako zaokrouhlený aritmetický průměr hodnot navržených jednotlivými řešiteli.

Tabulka 18: Kritéria ovlivňující prostorové rozmístění infrastruktury

Kritérium	Význam v roce			
	Nyní/2025	2030	2040	2050
Potenciální zdroj vodíku	4	4	4	4
Kumulace a potenciál poptávky (VHD, vlaková seřadiště, průmyslové areály apod.)	5	4	3	3
Vazba na síť TEN-T	3	3	3	2
Dopravní, multimodální uzly	3	4	3	3
Blízkost národních přírodních parků a dalších významných lokalit ochrany přírody	1	1	2	2
Významní spotřebitelé z průmyslu (výroba hnojiv, hutnictví...)	4	4	3	3
Předpokládaný dojezd vodíkových vozidel	3	3	2	2
Způsob zásobování (produktovod, cisterny, trajlerové vozy, drážní vlečka apod.),	3	3	4	4
Hustota zalidnění	3	3	4	4
Počet firem na 1000 obyvatel	3	3	3	3



Tabulka 19: Kritéria ovlivňující kapacitu infrastruktury

Kritérium	Význam v roce			
	Nyní/2025	2030	2040	2050
Průměrné denní dopravní intenzity vybraných kategorií vodíkových vozidel na silniční síti	2	3	4	4
Průměrná přepravní kapacita vozidel a strojů (velikost nádrže)	3	3	3	2
Průměrný denní výkon pracovních strojů	2	3	3	4





5. Souhrn

V Metodice byla definována kritéria pro strategický rozvoj a rozmístění vodíkových čerpacích stanic a byla identifikována a posouzena kritická místa pro rozvoj infrastruktury. Toto bylo detailně zpracováno v samostatném, veřejně dostupném dokumentu, který je přístupný na adrese <https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>. Východiskem pro navržení metodického postupu rozvoje infrastruktury VČS byla spotřeba paliv (energie) v jednotlivých kategoriích vozidel v regionech NUTS 3. Na jejím základě byla plošně rozdělena prognózovaná spotřeba vodíku v jednotlivých regionech v ČR. Metodice předcházely odhad poptávky po vodíkové mobilitě na základě expertního dotazníkového průzkumu s relevantními zástupci firem v ČR.

Ke konci prvního pololetí roku 2023 bylo v ČR v provozu 8 výroben vodíku, 2 byly v procesu realizace, u 10 projektů probíhala aktivní příprava a 19 subjektů oznámilo záměr výrobu vodíku vybudovat. Jde tedy celkem o 39 veřejně oznámených projektů na výrobu vodíku. Mezi výrobkami, které jsou v provozu převažuje počtem i výrobní kapacitou výroba z fosilních paliv. Jeden projekt využíval zasmulvňovanou energii z jaderné elektrárny. Výrobu vodíku z obnovitelné energie zastupoval jediný demonstrační projekt se zkušební kapacitou 1 kg H₂ denně. Ke konci prvního pololetí roku 2023 byly v ČR v provozu 3 veřejné vodíkové čerpací stanice, v Ústeckém kraji, hlavním městě Praze a v Moravskoslezském kraji. Ve fázi výstavby byly další 2 stanice, v procesu přípravy 5 stanic. U tří stanic byl ohlášen záměr výstavby.

Rozvoj VČS determinuje primárně poptávka po vodíku. Zvažovaný metodický postup rozvoje sítě VČS v souladu s požadavky AFIR byl rozdělen na **městské uzly a hlavní síť TEN-T**. Bylo uvažováno pokrytí všech městských uzlů, tj. Praha, Ostrava, Brno, Liberec, Olomouc, Plzeň, Ústí nad Labem. Dále bylo uvažováno rozšíření uvedených městských uzlů ještě o České Budějovice, Pardubice a Hradec Králové. Celkem by výchozí veřejnou síť VČS (stav k 31. 12. 2023) mělo tvořit 9 provozovaných a podpořených veřejných vodíkových čerpacích stanic. Z uvedených veřejných vodíkových čerpacích stanic splňuje požadavky AFIR z pohledu instalovaného denního výkonu (pro hlavní síť TEN-T) jediná stanice v Ostravě. U jedné stanice tento parametr nebyl v době zpracování metodiky dostupný. Síť v městských uzlech by tvořily 3 veřejné čerpací stanice v Praze, 3 stanice v Ostravě a jedna v Brně. Z výchozích stanic se mělo 8 stanic nacházet na hlavní síti TEN-T, resp. v silniční vzdálenosti do 10 km od této sítě.

Spotřeba vodíku byla mezi jednotlivé kraje rozdělena poměrově podle spotřeby energie v silniční dopravě. Rozvoj sítě byl nejdříve předpokládán v městských uzlech, dalších městech a na síti TEN-T, v delším časovém horizontu, byl uvažován také na silnicích nižších tříd, zejména I. třídy. VČS bude ideálně součástí čerpací stanice (původně určené jen pro fosilní paliva), případně bude situována v místě výroby vodíku. Zásobování VČS plyným vodíkem pomocí trajlerových vozů je z ekonomického pohledu, oproti jiným způsobům distribuce, výhodné do 500 kg/den. V delším časovém horizontu se předpokládá i možné využití plynovodů a produktovodů. Po roce 2030 je plánováno (spol. NET4GAS) spuštění tranzitního vodíkovodu. Z něj bude možné odebírat vodík z míst na kompresních stanicích, kde se vodík po vyčištění transportuje dále do sítě čerpacích stanic. S ohledem na rostoucí spotřebu vodíku bude postupně narůstat význam zásobování VČS zkapalněným vodíkem a jinými energetickými nosiči (methanol apod.).





Pro účely lokalizace VČS bylo zapotřebí provést detailnější rozdělení spotřeby vodíku v jednotlivých územních celcích. Jako optimální se ukázalo rozdělit spotřebu vodíku na sčítací úseky na základě dopravního výkonu (údaje ze sčítání dopravy). Pro každý kraj byla vypočtena předpokládaná spotřeba vodíku na jednotlivých sčítacích úsecích silnic v daném kraji. Takto rozdělená spotřeba představuje jeden ze základních vstupů do geoprostorových analýz. Na základě těchto předpokladů byl získán orientační odhad počtu VČS v jednotlivých scénářích na základě škálování denního výkonu (malé, střední, velké).

Harmonogram k postupnému zavádění vodíkových technologií v dopravě byl rozdělen na tři nestejně dlouhé fáze: do roku 2025, do 2030 a do 2050. Na jejich základě byly odhadnuty spotřeby vodíku a požadavky na rozmístění VČS. Výsledkem geoprostorových analýz je predikce optimálního stavu vodíkové infrastruktury v definovaných scénářích. Výsledkem provedených analýz byl současně soubor map. Tento výsledek projektu je zveřejněn na webu Čistá doprava a je dostupný z adresy <https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>.

Uvedené výsledky jsou vztažené ke vstupním datům a parametrům platným k roku 2023 a výše uvedeným předpokládaným výkonům VČS.

Podle provedené analýzy, založené na výše uvedených předpokladech, by v roce 2030 měla být prognózovaná spotřeba vodíku optimálně pokryta 35 stanicemi podle referenčního scénáře resp. 67 stanicemi v případě koncepčního scénáře. Do roku 2040 by se počet VČS měl za předpokladu navýšení výkonu u nově budovaných stanic zvýšit na 197, resp. 572. Aby nedocházelo k neefektivnímu a nadbytečnému rozšiřování sítě vodíkové infrastruktury, byla by pro pokrytí předpokládané spotřeby v roce 2050 potřeba sít, v případě že by všechny VČS měly denní výkon 2 tuny vodíku, čítající až 493 (referenční scénář), resp. 866 (koncepční scénář) stanic. Při uvažování VČS o polovičním denním výkonu (1 tuna vodíku) v referenčním scénáři (nižší předpokládaná spotřeba H₂) by do roku 2050 bylo potřeba vybudovat až 986 stanic. Realistický stav se bude nacházet mezi oběma scénáři, ale pravděpodobně se bude více blížit referenčnímu scénáři.

Předkládané výsledky jsou navázány na stávající relevantní strategické dokumenty, které neustále procházejí různou měrou aktualizace a zpřesňování. Jejich významná změna může zásadně ovlivnit podobu budoucích výstupů. Odhady vývoje poptávky po vodíku rovněž odráží současný stav poznání, který se zejména ve vzdálenějších časových horizontech může ukázat jako značně nepřesný. Dalším významným a obtížně predikovatelným faktorem jsou konkrétní územně analytické podklady ve vtipovaných územích.

Kritéria rozvoje infrastruktury a jejich váha slouží pro finální rozhodnutí o konkrétní poloze VČS nebo vhodné čerpací stanici pro instalaci vodíkové technologie na základě multikriteriální analýzy, jak je popsáno v kapitole: 4.2. Rozvoj sítě VČS splňující minimální požadavky AFIR. Kritéria byla podrobně definována v rámci projektu CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v ČR v pracovním balíčku WP2 – Definice kritérií pro strategický rozvoj a rozmístění čerpacích stanic a identifikace kritických míst a jsou uvedena ve výzkumné zprávě [64], dostupné na adrese <https://www.cistadoprava.cz/ck02000044-progresivni-rozvoj-vodikoveho-hospodarstvi-v-doprave-cr/>.



6. Literatura

1. Vodíková strategie České republiky, 2021, <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-schvalena-vladou--262590/>
2. RFNBOs - Renewable Fuels of Non-Biological Origins, January 2021, https://cdn.eurelectric.org/media/5182/eurelectric_reaction_paper_on_rfnbos-2021-030-0013-01-e-h-B5F7EAF8.pdf
3. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/1804 ze dne 13. září 2023 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva a o zrušení směrnice 2014/94/EU. In: L 234. Lucemburk: Úřad pro publikace Evropské Unie, 2023. <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/deployment-of-alternative-fuels-infrastructure.html>
4. „Otazka 7: Jake jsou požadavky na čerpací rychlospojky a čerpací hadice vodíkových stanic? | APT". <https://www.apr.cz/q7> (viděno 16. srpen 2022).
5. NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 stanovením minimální hodnoty pro úspory emisí skleníkových plynů z recyklovaných paliv s obsahem uhlíku. Štrasburk: Evropská komise, 2023, (EU) 2023/1185. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R1185>
6. M. Šenk, Evropská strategie k vodíku: Velké ambice a spousta práce, Euractiv 9.7.2020, <https://euractiv.cz/section/klima-a-zivotni-prostredi/news/evropska-strategie-k-vodiku-velke-ambice-a-spousta-prace/>
7. Plans unveiled to deploy 1,500 hydrogen stations in Europe by 2030, Petroplaza 2020, <https://www.petroplaza.com/news/26059>
8. A new dawn for hydrogen mobility in Europe, Petroplaza 2023, <https://www.petroplaza.com/news/32614>
9. A. Dokso, Air Products, a global leader in hydrogen production and distribution, has partnered with Aers Energy België to develop a groundbreaking multi-fuel hydrogen refueling station for trucks. 2023, <https://energynews.biz/europes-first-liquid-hydrogen-refueling-station-takes-shape/>
10. Die Nationale Wasserstoffstrategie, 10.6.2020, dostupná na <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>
11. Fortschreibung Nationale Wasserstoffstrategie, aktualizace z 26.7.2023, dostupná na <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Downloads/Fortschreibung.html>
12. Bayern setzt sich ehrgeizige Klimaziele und strebt eine konsequente Energie- und Mobilitätswende an. Innovative Technologien und CO2-frei erzeugter, grüner Wasserstoff spielen dabei eine besondere Rolle. , May 2020, <https://www.stmwi.bayern.de/energie/energiewende/wasserstoffstrategie/>
13. Polska Strategia Wodorowa do roku 2030, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>
14. Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku dostupné na <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>
15. Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, 2020, https://www.iphe.net/_files/ugd/45185a_eb89c38fe1b1418db4b36ee110ac8e32.pdf
16. Discours du Président de la République à l'occasion de la présentation du Plan France 2030, Télécharger 2021, <https://www.elysee.fr/front/pdf/elysee-module-18543-fr.pdf>





17. Strategia Nazionale Idrogeno Linee Guida Preliminari, 2020, https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf
18. Hungarian Government, "Hungary's National Hydrogen Strategy: Strategy for the introduction of clean hydrogen and hydrogen technologies to the domestic market and for establishing background infrastructure for the hydrogen industry" (2021)
19. Government Strategy on Hydrogen, 2020, <https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>
20. Wasserstoffstrategie für Österreich, 2022, <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/wasserstoffstrategie.html>
21. Národná vodíková stratégia: Pripravení na budúcnosť, 2021, <https://www.mhsr.sk/nvs>
22. AKČNÝ PLÁN Opatrenia pre úspešnú realizáciu Národnej vodíkovej stratégie, 2021, <https://www.economy.gov.sk/uploads/files/mPs9Bk3V.pdf>
23. Hydrogen Roadmap: a commitment to renewable hydrogen, 2020, <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno.html>
24. UK hydrogen strategy, 2021, <https://www.gov.uk/government/publications/uk-hydrogen-strategy/uk-hydrogen-strategy-accessible-html-version>
25. European Hydrogen Backbone: Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen, 6/2021, dostupná na <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen-June-2021-v3.pdf>
26. Představili jsme prototyp malé vodíkové plničky pro užitková vozidla, ÚJV Řež 2020, <https://www.ujv.cz/cs/aktuality/predstavili-jsume-prototyp-male-vodikove-plniciky-pro-uzitkova-vozidla-11689>
27. Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM <https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/>
28. European Alternative Fuels Observatory <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/vehicles-and-fleet>
29. A Global EV Outlook 2023, International Energy Agency, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf>
30. Šimeček M., Polanský P.: Průzkum ochoty firem využívat vodíkové technologie, Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v ČR, projekt TA ČR CK02000044, Závěrečná zpráva za etapu WP10, 2022, Centrum dopravního výzkumu
31. Kocůrek M.: Návrh rozvoje vodíkového hospodářství v dopravním sektoru v souladu se strategickými dokumenty a aktuálním stavem technologie, VÝSLEDEK V1 Projekt CK02000044 Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v dopravě ČR, EGÚ Brno 2022
32. Ministerstvo dopravy otevřelo výzvu OPD zaměřenou na podporu výstavby plnicích stanic na vodík, 2022, <https://opd3.opd.cz/stranka/Ministerstvo-dopravy-otevira-vyzvu-OPD-zamerenou-na-podporu-vystavby-plnicich-stanic-na-vodik>
33. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (NAP CM) 2019, schváleno vládou 24.4.2020, <https://www.mdcr.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vlada-schvalila-aktualizovany-Narodni-akcni-plan-c/Aktualizace-NAP-CM.pdf.aspx>
34. Desetiletý plán rozvoje přepravní soustavy v České republice 2024-2033; Verze dokumentu pro veřejnou konzultaci provozovatele přepravní soustavy, 30.6.2023 NET4GAS, s.r.o. https://www.net4gas.cz/files/rozvojove-plany/ntyndp24-33_cz_2023_230630_konzultace.pdf





35. Evropská vodíková síť se rozrůstá, 5.4.2022 NET4GAS, <https://www.net4gas.cz/cz/media/tiskove-zpravy/zpravy/evropska-vodikova-sit-se-rozrusta.html> nebo <https://ehb.eu/>
36. Central European Hydrogen Corridor, Vision 2021, (viděno 11.10.2023) <https://www.cehc.eu/>
37. Sunshyne Corridor, Vision 2021-30, (viděno 11.10.2023) <https://www.sunshynecorridor.eu/>
38. Czech German Hydrogen Interconnector, Vision 2022, (viděno 11.10.2023) <https://www.cghi.eu/>
39. Mapy NET4GAS, (viděno 11.10.2023), <https://www.net4gas.cz/cz/media/ke-stazeni/fotografie-mapy/mapy.html>
40. Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR, Tab. 3.1 Stávající kapacity výroby vodíku v ČR, <https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/TF-a-IAP-vodik-v-energetice-a-prumyslu-CR.pdf>
41. CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU [CDV]. Vodíková mapa ČR. Čistá doprava [online]. ©2023 [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/mapy/h2/>
42. Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR, Česká vodíková technologická platforma 2010, https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/SVA_HYTEP.pdf
43. Modrzejewski A.: PKN Orlen nechá v Unipetrolu více peněz na investice, OrlenUnipetrol 2018, https://www.orlenunipetrol.cz/cs/Media/RozhovoryAProjevy/Stranky/Andrzej_Modrzejewski_E15_1_2018.aspx
44. Oxygen Depolarized Cathode (ODC) Technology, Covestro 2017, https://www.covestro.com/-/media/covestro/corporate/sustainability/flagship-solutions/oxygen-depolarized-cathode/documents/3_6_covestro_produktblatt_oxygendepolarized_cathode_en_2017_te_v02.pdf
45. Electrolysis of hydrochloric acid with bipolar membrane cell and Oxygen Depolarized Cathode (ODC) technology, De Nora, (viděno 11.10.2023) <https://www.denora.com/applications/HCl-Electrolysis.html>
46. Solar Global, Firemní stránky (viděno 11.10.2023T) <https://www.solarglobal.cz/vodik>
47. Velký krok pro zelený vodík. První průmyslový elektrolyzátor je cestou k nezávislosti, Obnovitelně 30.10.2023, <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2784/velky-krok-pro-zeleny-vodik-prvni-prumyslovy-elektrolyzer-je-cestou-k-nezavislosti>
48. Technologický foresight a implementační akční plán využití vodíkových technologií v energetice a průmyslu ČR, HYTEP 2020, <https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/TF-a-IAP-vodik-v-energetice-a-prumyslu-CR.pdf>
49. Otevíráme novou vodíkovou stanici, Cylinders Holding 26. 6. 2022, <https://www.cylinders.cz/cs/otevirame-novou-vodikovou-stanici/a-125/>
50. Uvedli jsme do provozu 1. veřejnou vodíkovou stanici v ČR, Cylinders Holding 29. 6. 2022, <https://www.cylinders.cz/cs/uvedli-j sme-do-provozu-1-verejnou-vodikovou-stanici-v-cr/a-126/>
51. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013 ze dne 11. prosince 2013 o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě a o zrušení rozhodnutí č. 661/2010/EU. In: L 348. Lucemburk: Úřad pro publikace Evropské Unie, 2013
52. Návrh NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě, o změně nařízení (EU) 2021/1153 a nařízení (EU) č. 913/2010 a o zrušení nařízení (EU) č. 1315/2013. Štrasburk: Evropská komise, 2021, COM(2021) 812.





53. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/1804 ze dne 13. září 2023 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva a o zrušení směrnice 2014/94/EU. In: L 234. Lucemburk: Úřad pro publikace Evropské Unie, 2023
54. Polívka P., Špička L., Štefanica J. et al. Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v ČR: Navržení způsobů dopravy vodíku – WP5. Řež: Centrum výzkumu Řež, 2022
55. NATIONAL ACADEMIES PRESS. The Hydrogen Economy. Online. Washington, D.C: National Academies Press, 2004. ISBN 978-0-309-09163-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.17226/10922>. [cit. 2023-03-10]
56. PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. Hydrogen tools. Online. 2023. Dostupné z: <https://h2tools.org/hyarc/calculator-tools/lower-and-higher-heating-values-fuels>. [cit. 2023-03-10]
57. ENGINEERING TOOLBOX. Fuels - Higher and Lower Calorific Values. Online. Engineering ToolBox. 2023. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html. [cit. 2023-03-10]
58. Ředitelství silnic a dálnic ČR [ŘSD]. Geoportál silniční a dálniční sítě ČR. Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. ©2023a [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: <https://geoportal.rsd.cz/web/MapApplication>
59. Ředitelství silnic a dálnic ČR [ŘSD]. Celostátní sčítání dopravy 2020. Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. ©2023b [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://scitani.rsd.cz/CSD_2020/pages/results/default.aspx
60. Technická správa komunikací hl. m. Prahy [TSK]. Dopravní inženýrství. TSK Praha [online]. ©2023 [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi> (<https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>)
61. EDIP. Technické podmínky – TP 225: Prognóza intenzit automobilové dopravy. 3. vyd. Praha: Edip, 2018. Dostupné z: <https://pjk.rsd.cz/technicke-podminky-tp/>
62. Ministerstvo průmyslu a obchodu [MPO]. Seznam provozovaných veřejných čerpacích stanic pohonných hmot v ČR podle stavu evidence ke dni 09. 01. 2023. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2023. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-stanic/>
63. Ministerstvo průmyslu a obchodu [MPO]. Koncepce nákladní dopravy pro období 2017-2023 s výhledem do roku 2030. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, [2018]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Koncepce-nakladni-dopravy-pro-obdobi-2017-2023-s-v>
64. ŠPIČKA, Libor, Petr POLÍVKA, Michal KOCŮREK, et al. Progresivní rozvoj vodíkového hospodářství v ČR: Zpráva za WP2 – Definice kritérií pro strategický rozvoj a rozmístění čerpacích stanic a identifikace kritických míst. Řež: Centrum výzkumu Řež, 2022