ÚJV-20SMP075
divize 1000
oddělení 1003

4/2020

Technicko-ekonomické posouzení implementace vodíkového pohonu v Ústeckém kraji

Etapa 1

© ÚJV Řež, a. s., Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec, Česká republika

Údaje v tomto dokumentu nesmí být kopírovány ani předány dalším stranám bez písemného souhlasu ÚJV Řež, a. s.

Obsah

Shrnutí 8

1 Specifikace zadání 9

2 Vodíkové autobusy (FCEB) 10

2.1 Popis technologie 11

2.2 Emise skleníkových plynů 14

2.3 Porovnání investičních a provozních nákladů s autobusy s jiným pohonem 16

2.4 Provozní specifika (pravidelné revize, životnost nádrží a dalších komponent, bezpečnost provozu) 18

2.5 Dodavetelé FCEB 20

3 Vodíkové plnicí stanice 21

3.1 Popis technologie 21

3.2 Náklady na vodíkovou plnicí stanici střední velikosti 26

3.3 Vodíkové plnicí stanice v České republice a zahraničí 29

3.4 Základní legislativní požadavky pro výstavbu plnicí vodíkové stanice 32

3.5 Varianty řešení 33

4 Vodík jako palivo 35

4.1 Výroba vodíku 35

4.2 Cena vodíku 37

4.3 Výroba vodíku v České republice 40

5 Možnosti financování vodíkových technologií 41

5.1 Příklad financování projektu 42

5.2 Národní programy/Operační programy 44

5.3 Evropské programy 45

6 Případové studie 49

6.1 Vybrané vodíkové projekty v oblasti mobility 49
6.2 Přehled parametrů realizovaných projektů FCEB vč. popisu zajištění vodíku 53
6.3 Predikce budoucího vývoje.....55
6.4 Porovnání nákladů různých pohonů (H2/CNG/Elektromobilita).....56
7 Doporučení a další postup 60
Reference 62

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
CNG	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
CO_2	Oxid uhličitý
FCEB	Elektrický autobus s vodíkovým palivovým článkem (Fuel Cell Electric Bus)
H_2	Vodík
HRS	Vodíková plnicí stanice (Hydrogen Refuelling Station)
LNG	Zkapalněný zemní plyn (Liquified Natural Gas)
LPG	Zkapalněný ropný plyn (Liquified Petroleum Gas)
SMR	Parní reforming zemního plynu (Steam Methane Reforming)
CAPEX	Investiční náklady (Capital Expenditures)
OPEX	Provozní náklady (Operational Expenditures)
LP/MP/HP	Nízký, střední a vysoký tlak (Low Pressure, Medium Pressure, High Pressure)
GH_2	Plynný vodík (Gaseous Hydrogen)
LH_2	Kapalný vodík
PEM	Proton – výměnná membrána (Proton-exchange Membrane)
CCS	Záchyt a uskladnění oxidu uhličitého (Carbon Capture and Storage)

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Cesty dodavatelského řetězce vodíku, z projektu CHIC [2] 10

Obr. 2.2: Schéma palivového článku [3] 12

Obr. 2.3: Příklad hlavních součástí FCEB od výrobce Van Hool [4] 13

Obr. 2.4: Emise skleníkových plynů „well-to-wheel“ – fosilní paliva a elektřina [6] 15

Obr. 3.1: Popis jednotlivých částí stojanu vodíkové plnicí stanice [12] 21

Obr. 3.2: Hlavní součásti vodíkové plnicí stanice [13] 22

Obr. 3.3: Schéma typického konceptu vodíkové plnicí stanice a vodíkových tras, z NewBusFuel [14] 22

Obr. 3.4: Dodavatelský řetězec výroby vodíku mimo lokalitu, z H2ME [16] 24

Obr. 3.5: Dodavatelský řetězec výroby vodíku na místě, z H2ME [16] 25

Obr. 3.6: Vodíková plnicí stanice v Neratovicích [22] 29

Obr. 3.7: Vodíkové plnicí stanice na konci roku 2018 [23] 30

Obr. 4.1: Grafické znázornění elektrolýzy PEM [29] 36

Obr. 4.2: Grafické znázornění chloralkalického procesu [30] 36

Obr. 4.3: Zásobování plnicí stanice prostřednictvím závozu svazků tlakových lahví 38

Obr. 4.4: Zásobování plnicí stanice přepouštěním vodíku do velkokapacitního zásobníku 39

Obr. 4.5: Lokální výroba vodíku přímo v místě plnicí stanice 39

Obr. 5.1: Vodík v Evropě: členové a projekty – prosinec 2019 [31] 41

Obr. 5.2: Ilustrativní příklad nákladů a zdrojů financování projektu vodíkových autobusů [32] 42

Obr. 6.1: Vodíkový autobus v městě Bolzano 50

Obr. 6.2: Vodíkový autobus Fébus od společnosti Van Hool [38] 51

Obr. 6.3: Vodíkové autobusy (13 m) provozované v Kolíně nad Rýnem 52

Obr. 6.4: Plán vodíkové infrastruktury v České republice, 2018 [40] 56

Obr. 6.5: Přehled nákladů na kilometr, dle typu pohonu 59

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články, z projektu CHIC [2] 14

Tab. 3.1: Parametry vodíkové plnicí stanice pro typickou flotilu 10-ti až 20-ti autobusů s palivovými články [15] 23

Tab. 3.2: Souhrnná tabulka fixních investičních a provozních nákladů vodíkové plnicí stanice [21] 28

Tab. 4.1: Porovnání nejběžnějších způsobů výroby vodíku 37

Tab. 5.1: Evropské projekty na zavádění vodíkových autobusů 46

Tab. 6.1 Základní parametry plnicí stanice v Bolzanu 50

Tab. 6.2: Základní parametry plnicí stanice v Pau 51

Tab. 6.3: Základní parametry plnicí stanice v Kolíně nad Rýnem (2011, výrobce Air Products) 53

Tab. 6.4: Základní parametry vodíkových autobusů v rámci zmíněných projektů 54

Tab. 6.5: Srovnání plnicích stanic pořízených v rámci zmíněných projektů 54

Tab. 6.6: Typické náklady na provoz autobusů v EUR a CZK (1) 58

Tab. 7.1: Členění projektu 60

Shrnutí

Studie je zpracována na základě smlouvy o dílo č. 20/SML1416 (číslo objednatele) resp. 20SMP075 (číslo zhotovitele) ze dne 17.3.2020, která byla zveřejněna v registru smluv a nabyla účinnosti dne 30.3.2020.

- **Popis**

Cílem této studie je posoudit možnosti využití bezemisní vodíkové mobility. Výsledkem bude návrh vhodného řešení pro implementaci vodíkového pohonu do veřejné dopravy v Ústeckém kraji.

- **Činnosti/Organizace**

Provedení celé studie je realizováno ve dvou etapách:

Etapa I Vypracování technicko-ekonomického posouzení implementace vodíkového pohonu v Ústeckém kraji. Výstupem této fáze je tato studie, jejímž hlavním smyslem je posoudit možnosti využití bezemisní vodíkové mobility ve veřejné dopravě Ústeckého kraje a navrhnout další postup zavádění technologie do praxe.

Etapa II Výstupem bude studie proveditelnosti, která bude posuzovat konkrétní možnosti využití bezemisní vodíkové mobility ve veřejné dopravě Ústeckého kraje, včetně podrobnějších specifikací a vyčíslení nákladů.

- **Vyloučení odpovědnosti**

V tomto dokumentu jsou použity údaje z různých zdrojů. Prezentované informace/údaje se mohou u jednotlivých zdrojů lišit, a proto by měly být uvažovány s ohledem na tuto skutečnost

- **Výsledek**

Studii mohou zúčastněné strany využít jako zdroj informací, vstupní doporučení a předběžné údaje pro implementaci vodíkové mobility ve veřejné dopravě.

1 Specifikace zadání

Autobusy s pohonem vodíkovými palivovými články jsou provozovány ve světě již mnoho let a směřují ke komerčnímu průlomu, který povede k rychlému rozvoji vodíkové mobility na mezinárodní úrovni. Elektromobilita s použitím vodíkových palivových článků začíná být ekonomicky zajímavější a nabízí současně výhody spalovacích i elektrických motorů:

- ✓ Stejně jako mobilita s použitím spalovacích motorů: umožňuje dlouhý dojezd a rychlé doplnění paliva,
- ✓ Jako elektrická mobilita: jedná se o čistou technologii mobility, která respektuje životní prostředí; žádné emise hluku, CO_2 ani mikročástic.

Evropská unie souhlasí s rozsáhlým rozvojem vodíkové mobility, protože umožňuje dekarbonizovat dopravu a snížit emise a současně splňuje provozní požadavky provozovatelů.

V souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva schválila česká vláda dne 20. listopadu 2015 Národní akční plán pro čistou mobilitu (NAP CM). Směrnice požaduje, aby členské státy vytvořily vhodnou infrastrukturu nabíjecích a plnicích stanic (elektřina, CNG, LNG a vodík).

NAP CM stanoví požadavky na výstavbu plnicích a dobíjecích stanic s časovým horizontem 2020-2030. Podpora vozidel s nízkými emisemi přispěje ke snížení emisí ze sektoru silniční dopravy, zejména ve městech a metropolitních oblastech, kde je doprava hlavním faktorem ovlivňujícím kvalitu ovzduší.

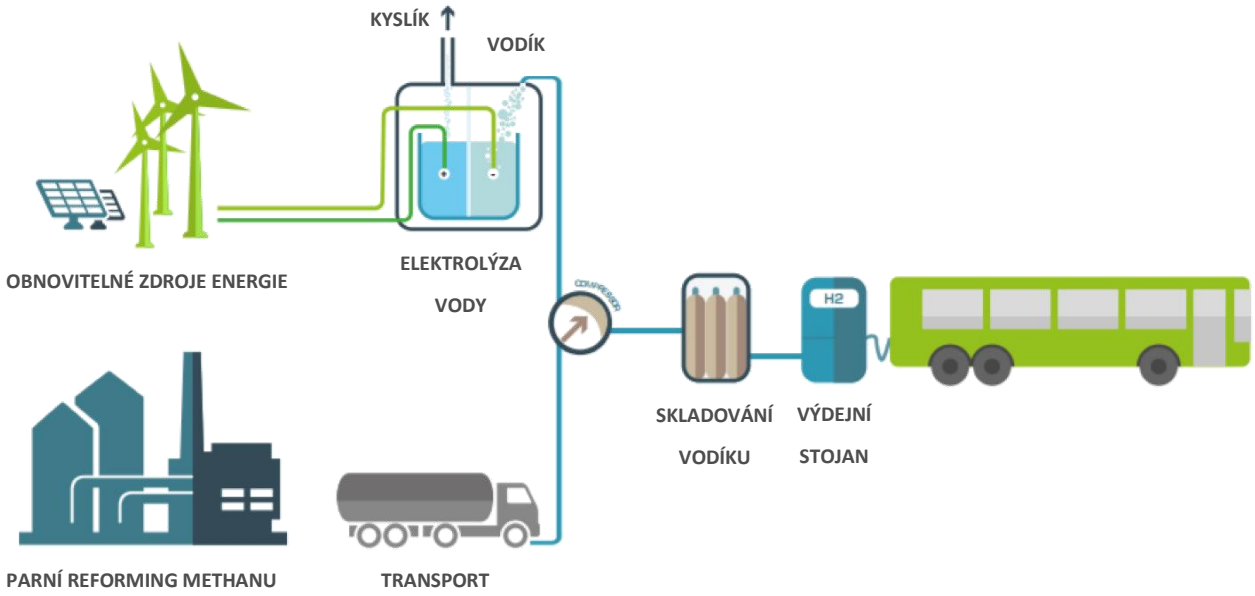
Rozvoj čisté mobility bude mít pozitivní dopady nejen na životní prostředí a zdraví obyvatel, ale také na snížení závislosti země na ropě, proto představuje velký potenciál pro český energetický a automobilový průmysl. [1]

2 Vodíkové autobusy (FCEB)

Vodíkový autobus, formálně označovaný jako FCEB (Fuel Cell Electric Bus), je vozidlo s elektrickým motorem, opatřeným zásobním vodíkem umístěným v nádrži, který se používá k získání elektrické energie chemickou reakcí s kyslíkem prostřednictvím tzv. palivového článku.

Elektrické autobusy s palivovými články mají dnes potenciál nahradit dieselové autobusy díky **dlouhému dojezdu**, **flexibilitě trasy** a **krátké době doplňování paliva**. Bateriová a vodíková elektromobilita jsou navzájem komplementárními technologiemi. Volba jedné nebo druhé varianty závisí především na provozních omezeních a dostupnosti infrastruktury dobíjecích/plnicích stanic. Nepopiratelnou výhodou elektrického vozidla s palivovými články je rychlá doba doplňování paliva za pouhých několik minut a vyšší autonomie pro ekvivalentní hmotnost a rozměry.

Pro provoz autobusů na vodíkové palivové články je nutná zejména místní dostupnost vodíku či výroba na místě a vodíková plnicí stanice. Obr. 2.1 schematicky znázorňuje možnosti získávání vodíku, až po jeho uplatnění jako palivo v autobusech.



Obr. 2.1: Cesty dodavatelského řetězce vodíku, z projektu CHIC [2]

Hlavní výhody autobusů s vodíkovými palivovými články, oproti ostatním technologiím v autobusech jsou:

- ✓ nulové emise skleníkových plynů z autobusu, FCEB uvolňuje pouze vodu a teplo,

- ✓ autonomní dojezd až 450 km,
- ✓ rychlé doplňování paliva: 8-12 minut pro úplné doplnění umožňující 18 hodin nepřetržitého, provozu, bez nutnosti nočního nabíjení, jako u bateriových elektrobusů,
- ✓ flexibilita trasy: plnění na vodíkové plnicí stanici eliminuje nutnost infrastruktury dobíjecích stanic na trase, jako u bateriových elektrobusů,
- ✓ výkon při jízdě do kopce nebo za chladného počasí je srovnatelný s dieselovými a CNG autobusy,
- ✓ autobusy na vodíkový pohon jsou kompatibilní s vysokou funkční úrovní autobusové linky,
- ✓ kontrolovaná bezpečnost je srovnatelná s vozidly na zemní plyn,
- ✓ akustický komfort, nízká hlučnost jako u elektrické mobility,
- ✓ životnost palivových článků přesahující 30 000 hodin.

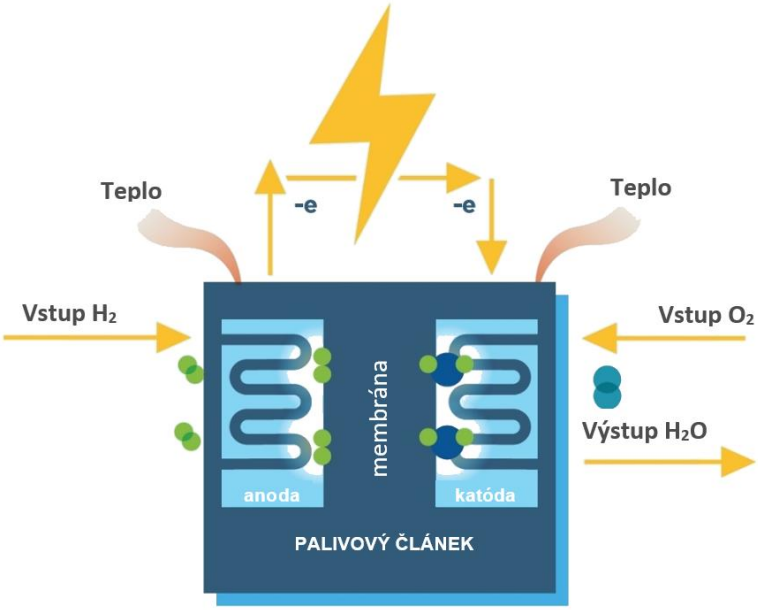
Mezi nevýhody FCEB autobusy patří:

- x vyšší pořizovací cena než u jiné technologie používané v autobusech,
- x nutnost vodíková plnicí stanice,
- x nutnost dodavatelského řetězce vodíku,
- x zavedení nových technických metod údržby.

2.1 Popis technologie

Autobusy s vodíkovými palivovými články mají běžný autobusový podvozek. Obsahují elektromotor, vodíkové zásobní nádrže, palivový článek, baterie a/nebo ultrakapacitory, které dohromady tvoří srdce pohonu samotného autobusu. Elektrická energie se vyrábí z kombinace vodíku, a kyslíku ze vzduchu, kdy se uvolňuje pouze teplo a vodní pára. Baterie a ultrakapacitory se používají v kombinaci s palivovým článkem pro rychlou reakci na zvýšenou spotřebu energie a pro regenerativní brzdění.

Systém palivových článků tvoří bipolární desky společně s proton-vodivými membránami a elektrodami. Princip elektrochemické reakce probíhající v palivovém článku je znázorněn na Obr. 2.2. Palivový článek je připojen k pomocným komponentám, jako je zvlhčovač vzduchu, čerpadla, ventily, ventilátory atd., které společně tvoří podpůrné zařízení.

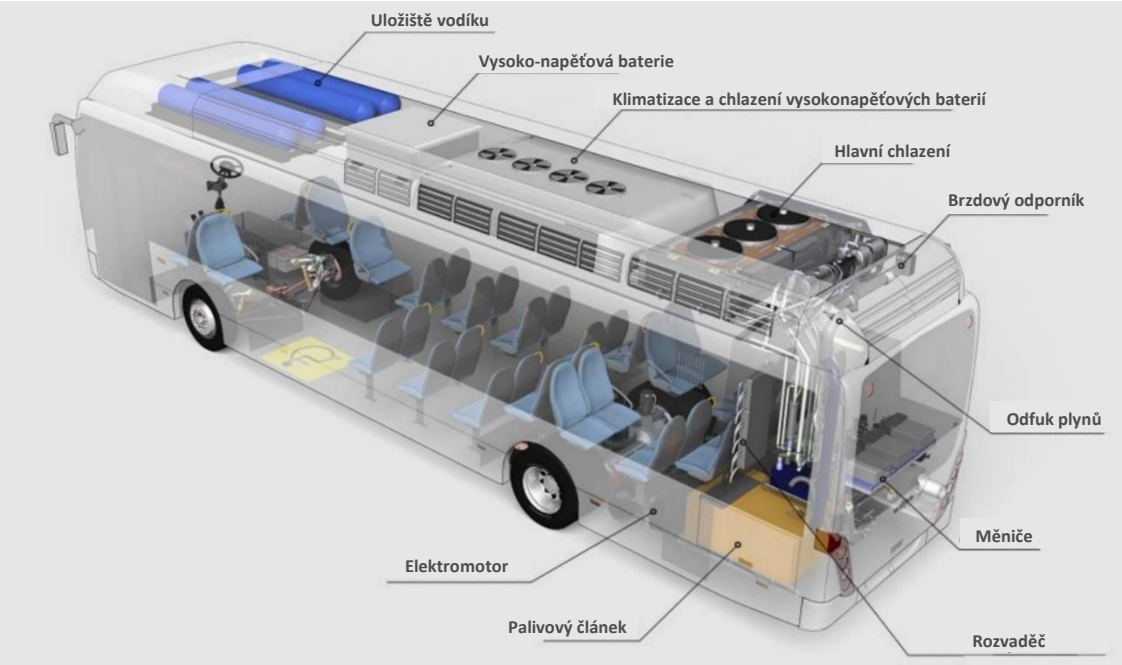


Obr. 2.2: Schéma palivového článku [3]

Vodíkové autobusy v provozu fungují stejně jako elektrické autobusy. Vyznačují se delším dojezdem a životností, navíc se očekává, že z dlouhodobého hlediska budou mít menší nutnost údržby motoru než u dieselových autobusů, protože se předpokládá menší abraze.

Dodavatelé nabízejí variabilní možnosti pohonu pro FCEB: například dimenzování zásobních nádrží vodíku podle potřeby, určení a dodání vhodné baterie pro kombinaci s daným palivovým článkem, sloužící k uchování nadbytečné elektrické energie a následné její využití. Některé modely autobusů s palivovými články používají větší baterii, menší zásobní nádrže vodíku a palivový článek o nižším výkonu, který je obvykle označován jako „prodlužovač dojezdu“. Například dimenzování výkonu palivového článku pro přímý pohon elektromotorů v kombinaci s bateriemi a ultrakapacitory, které slouží jako krátkodobý akumulační prvek (schopny pojmout energii při brždění, nebo dodat energii při akceleraci). Druhým konceptem modelu autobusu s palivovým článkem je volba výkonnějšího palivového článku v kombinaci s baterií o menší kapacitě.

Na Obr. 2.3 je uvedeno typické uspořádání hlavních komponent FCEB:



Obr. 2.3: Příklad hlavních součástí FCEB od výrobce Van Hool [4]

Následující Tab. 2.1: Klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články, z projektu CHIC [2] z projektu CHIC („Čistý vodík v evropských městech“) (2010–2016) [2] uvádí klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články:

Tab. 2.1: Klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články, z projektu CHIC [2]

Dodavatel autobusů	APTS	EvoBus Mercedes-Benz	New Flyer	Van Hool	Wrightbus
Provozováno v CHIC městě a počet autobusů	Kolín nad Rýnem (2)	Aargau (5) Bolzano (5) Hamburg (4) Miláno (3)	Whistler (20)	Kolín nad Rýnem (2) Oslo (5)	Londýn (8)
Celková délka (m)	18,5	12	12,5	13,2	11,9
Kapacita pasažérů	96	76	60	101/75	49
Celková hmotnost (t)	20,59	13,2	15,42	15,7/16,07	10,35 - 11,35
Výkon elektromotorů (kW)	240	240	170	170	134
Výkon palivového článku (kW)	150	120	150	150	75
Kapacita vodíkového uložiště (kg a kWh)	40 (1333)	35 (1167)	56 (1866)	40/35 (1333)	31 (1023)
Uložiště elektrické energie	NiMH baterie + superkapacitory	Li-Ion baterie	Li-Ion baterie	Li-Ion baterie	Superkapacitory
Výkon uložiště (kW)	200	250	x	90 (max. 120)/100	105
Kapacita uložiště elektrické energie (kWh)	26 + 2	26,9	47	24/17,4	20

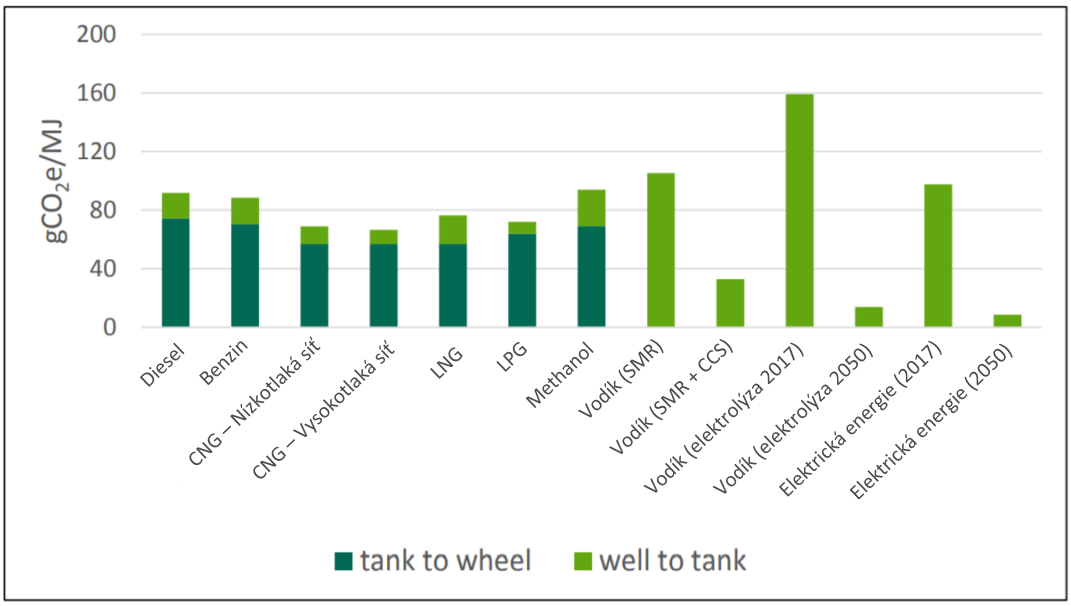
2.2 Emise skleníkových plynů

Autobusy s palivovými články jsou známé jako technologie s lokálními nulovými emisemi, protože vozidla s palivovými články emitují pouze čistou vodní páru z kombinace vodíku s kyslíkem, tedy žádné CO_2 či částice. FCEB se preferenčně uplatňují taky tam, kde jsou zvýšené požadavky na kvalitu ovzduší. Dopravní sektor je totiž významným producentem znečišťujících látek (prach, oxid uhelnatý, oxidy dusíku), skleníkových plynů a využití bezemisních vodíkových technologií v dopravě může významně přispět ke snížení znečištění ovzduší. Například v porovnání s platnou emisní normou EURO VI a na základě skutečnosti, že emise z pohonu FCEB jsou nulové, je při použití vodíkového pohonu ve vozidle kategorie M při ujetí 100 km uspořeno až 100 gramů oxidu uhelnatého, 10 gramů celkových uhlovodíků (THC – total hydrocarbons) (z toho 6,8 g uhlovodíku neobsahujících methan), 6 gramů NO_x a 0,5 gramu pevných částic ve srovnání se zážehovým motorem, respektive 50 gramů oxidu uhelnatého, 8 gramů NO_x, 17 g sumy THC + NO_x a 0,5 gramu pevných částic ve srovnání se vznětovým motorem [5].

Pokud jde o celý dodavatelský řetězec vodíku, od výroby vodíku po jeho spotřebu ve vozidle s palivovými články, celkové množství emisí CO_2 bude pocházet pouze z primárního zdroje energie pro výrobu vodíku a případně z přepravy vodíku z místa výroby do plnicí stanice. Tyto emise CO_2 se nacházejí v místech výroby vodíku a mohou být potenciálně sníženy pomocí technologií záchytu CO_2.

Obr. 2.4: Emise skleníkových plynů „well-to-wheel“ – fosilní paliva a elektřina [6] ze „*Zprávy o energetickém modelu dopravy*“ Ministerstva dopravy Velké Británie [5] ukazuje celkové emise skleníkových plynů u řady fosilních paliv a elektrickou síť v případě Velké Británie. Emise skleníkových plynů jsou rozděleny do dvou kategorií „well-to-tank“ a „tank-to-wheel“, které jsou definovány následovně:

- Well-to-tank: emise z výroby vodíku (např. těžba, transport a rafinace ropy) a přepravy paliva na místo určení (na stojan vodíkové plnicí stanice).
- Tank-to-wheel: emise z přeměny/spalování energie ve vozidle (z tankování na kola vozidla).



Obr. 2.4: Emise skleníkových plynů „well-to-wheel“ – fosilní paliva a elektřina [6]

Jak je znázorněno na Obr. 2.4, autobusy s palivovými články i elektrické autobusy neemitují ve fázi „tank-to-wheel“ žádné skleníkové plyny, což znamená lokálně nulové emise skleníkových plynů či částic z provozu vozidla. Emise „well-to-tank“ u vodíkových a elektrických autobusů přímo závisí na technologii výroby elektřiny a/nebo vodíku, včetně dopravy.

Emise skleníkových plynů z elektrické sítě se mají podle evropských cílů v příštích desetiletích snížit.

2.3 Porovnání investičních a provozních nákladů s autobusy s jiným pohonem

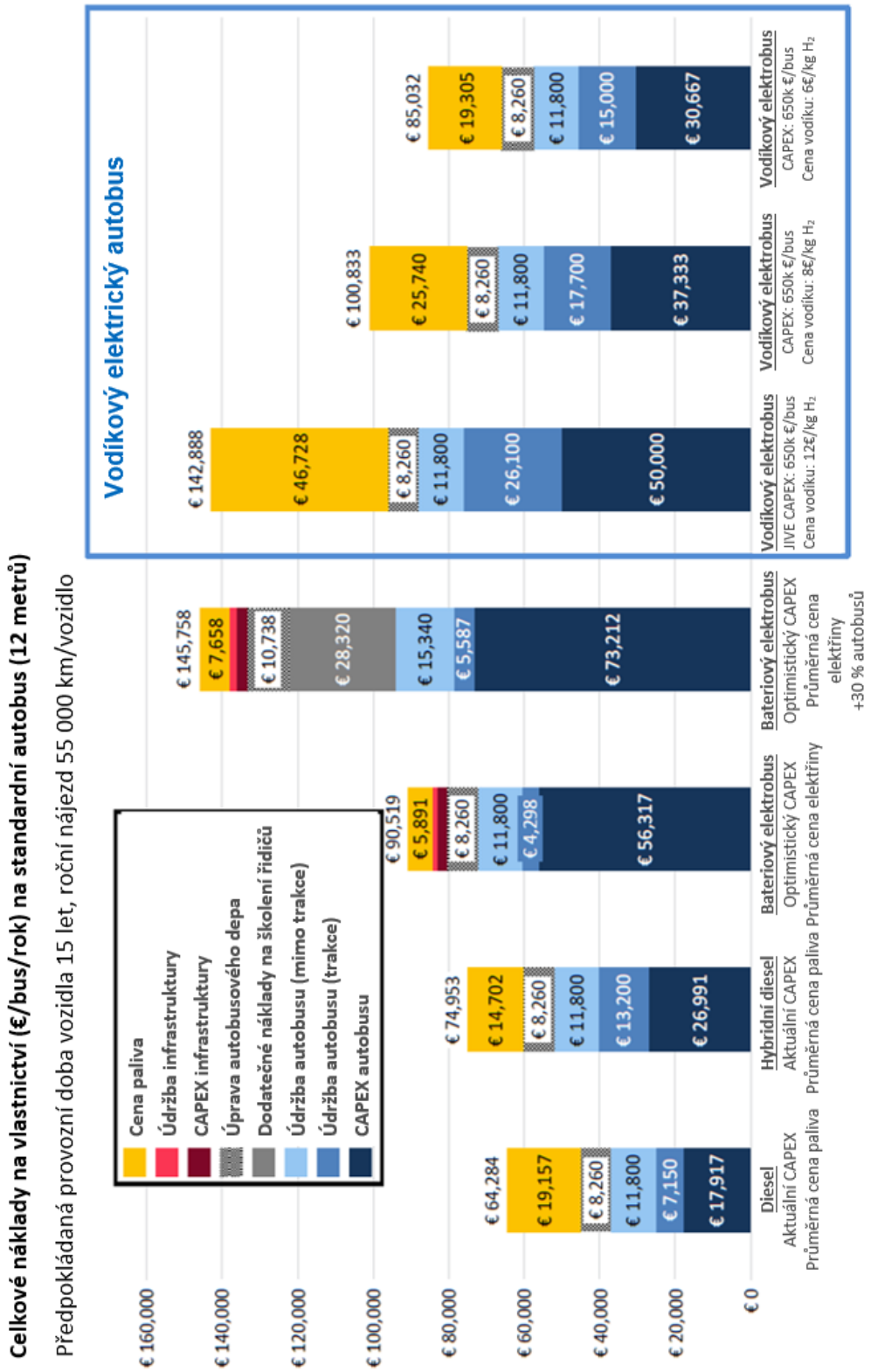
Při implementaci nových autobusů s palivovými články je pro vyhodnocení celkové investice nutné zvážit řadu parametrů. Například cena bude záviset na specifikách lokality, provozních požadavcích, dostupnosti vodíku a jeho ceně, volbě technologie a dotacích.

Následující údaje pocházejí od „Mobilité Hydrogène France“, což je konsorcium soukromých a veřejných subjektů sdružených ve francouzské asociaci pro vodíkové a palivové články AFHYPAC.

Tabulka zobrazena na Obr. 2.5 uvádí srovnání nákladů pro různé technologie autobusů v EUR/autobus/rok pro standardní 12 m autobus, 15 let provozu a 55 000 km/rok/autobus.

Graf porovnává náklady pro 7 případů:

- klasický dieselový autobus
- hybridní dieselový autobus
- bateriový elektrický autobus
- bateriový elektrický autobus + 30 % dalších elektrobusů z důvodu doby nabíjení
- vodíkový elektrický autobus, s cenou 650 tis. EUR/autobus (cena z projektu JIVE) a 12 EUR/kg H_2
- vodíkový elektrický autobus, s cenou 500 tis. EUR/autobus a 8 EUR/kg H_2
- vodíkový elektrický autobus, s cenou 400 tis. EUR/autobus a 6 EUR/kg H_2



Obr. 2.5: Porovnání nákladů na pořízení a provoz různých standardních autobusových technologií od společnosti Mobilité Hydrogène France [7]

Tato data naznačují, že s ohledem na předpokládané vylepšení technologie FCEB a snížení nákladů

na vodík se budoucí potenciál FCEB v oblasti technologií s nulovými emisemi stává ekonomicky stále konkurenceschopnějším, včetně lepší flexibility a delšího dojezdu než u elektrické mobility.

2.4 Provozní specifika (pravidelné revize, životnost nádrží a dalších komponent, bezpečnost provozu)

Vozidla využívající vodík jako palivo musí podléhat kontrolám stejně jako běžná motorová vozidla, zda jejich technický stav umožňuje bezpečné použití na veřejných komunikacích.

- **Pravidelné revize**

Pravidelným revizím podléhají pouze technická elektrická a strojní zařízení či spotřebiče, nikoliv vozidla. Za certifikaci a homologaci dílčích komponentů vozidla, jako celku, ručí výrobce vozidla. Stejně jako jakákoliv jiná vozidla, podléhají vodíkové autobusy pravidelné technické prohlídce, která je prováděna na stanicích technické kontroly a jejíž součástí je i měření emisí vozidel.

- **Technická prohlídka vozidla**

Tato prohlídka je prováděna 1x ročně a její průběh i podmínky upravuje zákon č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Tato prohlídka probíhá stejně jako u autobusů se vznětovým motorem a její součástí je:

- kontrola registrační značky a její upevnění, výrobních čísel,
- kontrola stavu brzdové soustavy na válcové zkušebně MOTEX 7580,
- kontrola řízení,
- kontrola náprav, kol pérování, hřídelí a kloubů,
- kontrola rámu a karoserie,
- kontrola a jednoduché seřízení světlometů,
- kontrola ostatních ustrojí a zařízení (zařízení pro zvukovou signalizaci, tachometr, el. vedení, akumulátor...),
- kontrola předepsané a zvláštní výbavy (lékárnička, výstražný trojúhelník, předepsaná minimální výbava atp.).

- **Měření emisí**

U vodíkových autobusů se neprovádí měření emisí, nicméně dle metodické postupu měření emisí vozidel [8] vydaného Ministerstvem dopravy se v rámci seznamu kontrolních úkonů využitelných při měření emisí uvádí následující kontroly:

6.1.3.7.4 Systém LPG/CNG/LNG nebo vodíkový systém není v souladu s požadavky, některá z částí systému je vadná.

6.1.3.8.1 Montáž systému pohonu na vodík/LPG/CNG ve vozidle není uvedena v technickém průkazu vozidla (neschválená přestavba).

6.1.3.8.2 Způsob montáže systému pohonu na vodík/LPG/CNG do vozidla není v souladu s požadavky.

6.1.3.8.3 Některý komponent systému pohonu na vodík/LPG/CNG je poškozený (např. plynotěsná skřínka), zcela chybí, není funkční nebo neodpovídá požadavkům homologace.

6.1.3.8.4 Způsob montáže systému pohonu na vodík/LPG/CNG ve vozidle je v rozporu s požadavky na bezpečnost a bezprostředně ohrožuje život a zdraví přepravovaných osob, bezpečnost jízdy vozidla nebo provoz na pozemních komunikacích.

- **Životnost nádrží a dalších komponent**

Jako zásobní nádrže se používají kompozitní tlakové lahve a jejich životnost určuje výrobce. Jeden z předních výrobců vodíkových kompozitních lahví používaných ve vodíkových autobusech uvádí životnost (Service Life) pro své výrobky 20 let, případně 5 000 plnících cyklů (Cycle Life), pokud jich je dosaženo dříve [9].

Další zásadní komponentou je vlastní palivový článek, tzn. zařízení přeměňující vodík na elektrickou energii. Přední světový výrobce palivových článku pro autobusy, kanadská firma Ballard, uvádí pro svou osmou generaci palivového článku životnost 30 000 provozních hodin [10]. Při průměrné rychlosti 40 km/h, tak lze očekávat životnost palivového článku cca 1 200 000. km.

2.5 Dodavetelé FCEB

Mezi evropské výrobce vodíkových autobusů patří následující [11]:

- Alexander Dennis
- CaetanoBus
- ebe Europa
- EvoBus
- Rampini
- Safra
- Solaris
- Ursus Bus
- Van Hool
- VDL
- Wrightbus

Mimo uvedené vyrábí vodíkové autobusy i američtí výrobci (New Flyer, Thor Industries), japonská Toyota, korejské Hyundai a řada čínských výrobců.

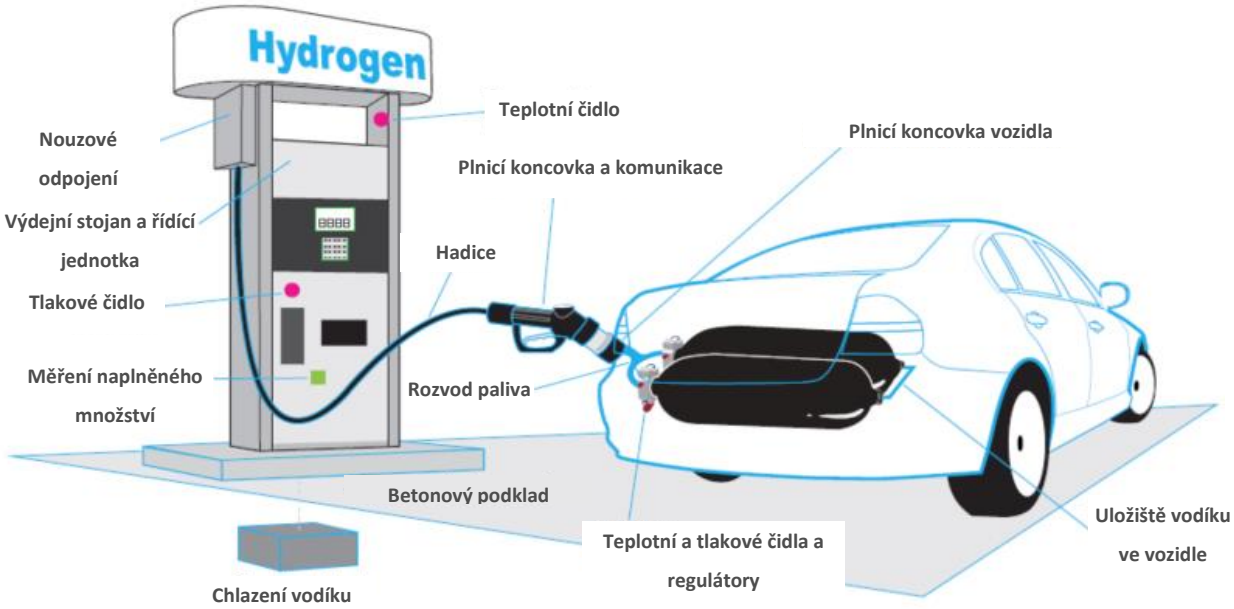
Ke vstupu na trh se chystají i další regionálně relevantní výrobci.

3 Vodíkové plnicí stanice

3.1 Popis technologie

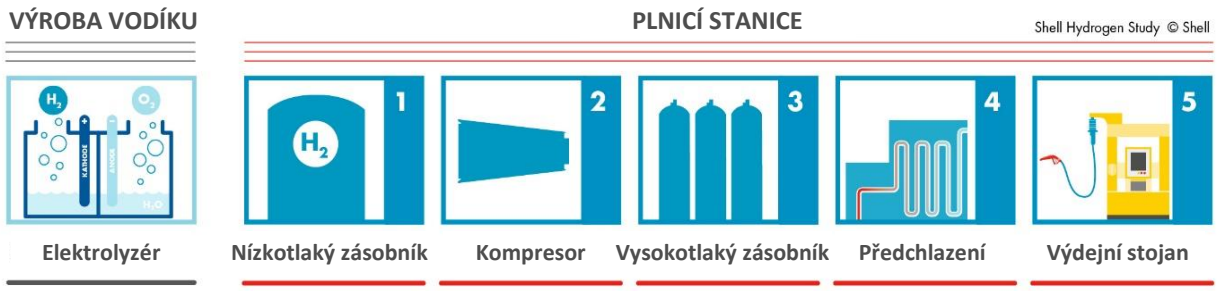
- **Schéma vodíkové plnicí stanice**

Pro koncového uživatele má vodíková plnicí stanice podobnou dávkovací pistoli a použití jako je u čerpací stanice zemního plynu. Vodík se do vozidla doplňuje pomocí pružné hadice a plnicí koncovky připojené k nádrži vozidla stejným způsobem jako u plynové stanice. Obvykle se vodík doplňuje při tlaku 350 bar u autobusů a těžkých vozidel, a 700 bar u osobních vozidel s vodíkovým pohonem. Na Obr. 3.1 je vyobrazen výdejní stojan a jeho jednotlivé součásti spolu s vodíkovým automobilem.



Obr. 3.1: Popis jednotlivých částí stojanu vodíkové plnicí stanice [12]

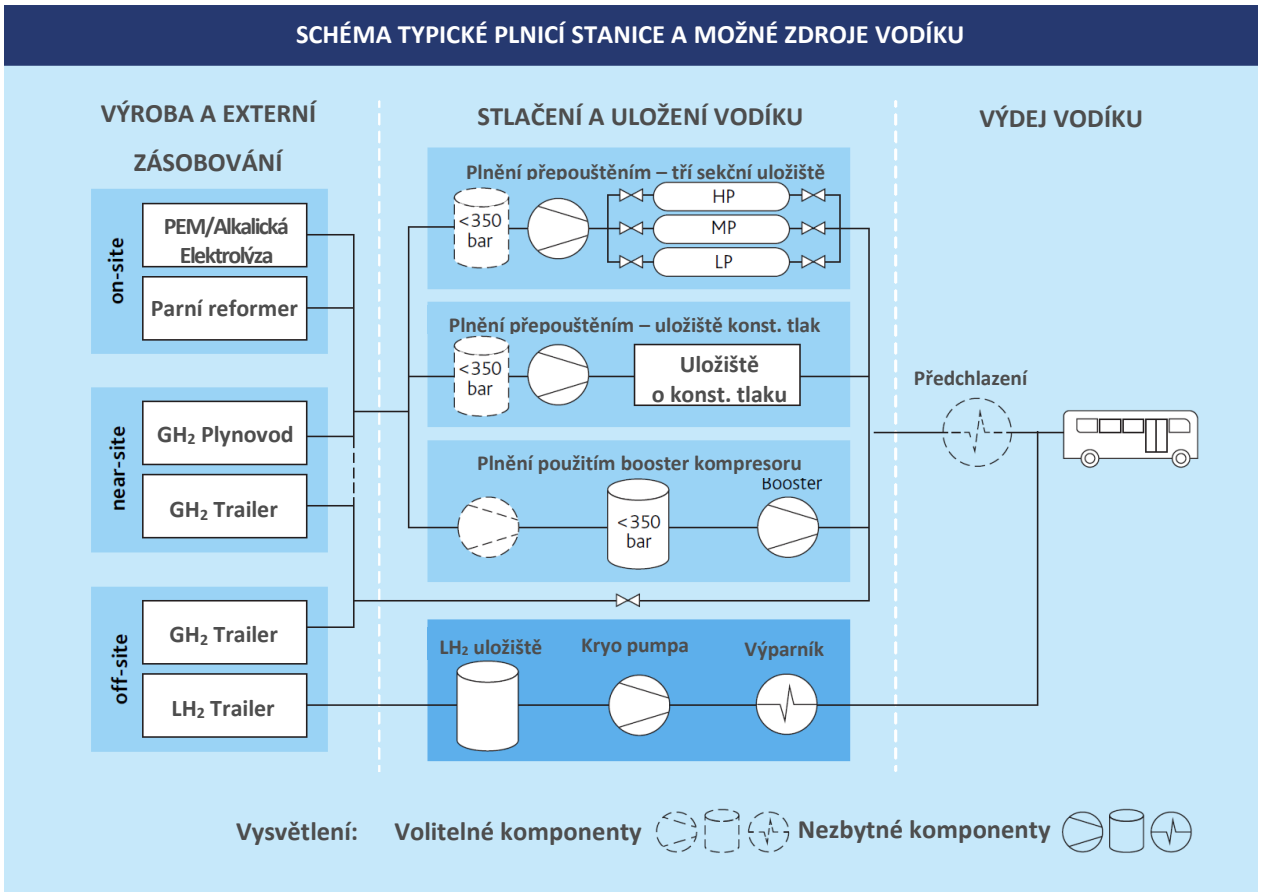
Hlavní součásti vodíkové plnicí stanice jsou zobrazeny na Obr. 3.2: několik zásobních nádrží s nízkým, středním a vysokým tlakem, kompresorová jednotka, předchlazení, výdejní stojan s plnicí koncovkou a případně technologie pro výrobu vodíku přímo v místě (on-site).



Obr. 3.2: Hlavní součásti vodíkové plnicí stanice [13]

Typické uspořádání vodíkové plnicí stanice

Schéma na Obr. 3.3 shrnuje různé konfigurace vodíkové plnicí stanice v závislosti na zdroji výroby vodíku, volbě komprese, skladování, až po plnění do vodíkového autobusu.



Obr. 3.3: Schéma typického konceptu vodíkové plnicí stanice a vodíkových tras, z NewBusFuel [14]

Technická volba mezi závozem vodíku z externího zdroje a výrobou na místě bude mít velmi významný vliv na místní požadavky, investice, provozní náklady, náklady na vodík a organizaci dodavatelského řetězce.

Konečná konfigurace vodíkové plnicí stanice by měla být navržena s ohledem na:

- kapacitu denního množství vydávaného vodíku,
- počet výdejních stojanů,
- výrobu vodíku na místě nebo externí dodávku,
- tlakovou úroveň vydávaného vodíku (tzn. 350, 350/700 nebo 700 bar),
- tlak vodíku dodávaného do vodíkové plnicí stanice,
- kompresor a skladovací kapacitu,
- propojení a přípravné práce na místě.

Vodík dodávaný z vodíkové plnicí stanice

Průměrná spotřeba 12 m FCEB je přibližně 8 až 10 kg vodíku na 100 km. Například vozový park 10-ti autobusů na palivové články vyžaduje pro celodenní provoz infrastrukturu s kapacitou přibližně 200 kg vodíku denně [15]. Jednotlivé parametry vozového parku jsou uvedeny v Tab. 3.1.
Další informace: Běžná spotřeba osobních vodíkových automobilů je přibližně 1 kg na 100 km.

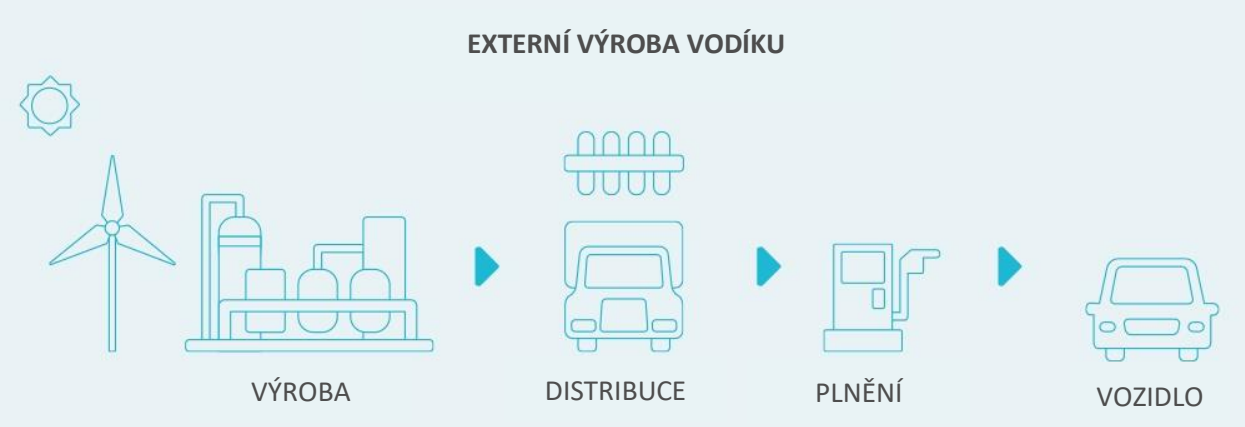
Tab. 3.1: Parametry vodíkové plnicí stanice pro typickou flotilu 10-ti až 20-ti autobusů s palivovými články [15]

Parametr	Typické rozmezí
Počet provozních dní za autobus	250 - 350 dní v roce
Typická velikost první flotily FCEB	10 - 20
Denní spotřeba vodíku pro první flotilu	200 - 600 kg H_2

Důležitým parametrem pro plnicí stanici, jak je popsáno výše, je zdroj vodíku. Vodík může být zavážen nejlépe od nedalekého dodavatele nebo ho lze vyrábět na místě. Tyto dvě možnosti jsou popsány níže:

- **Dovoz vodíku do plnicí stanice (off-site)**

Vodík může být zavážen v cisterně v plynném nebo kapalném stavu či dodáván potrubím, tzn. způsobem, jakým se v současnosti dopravují na stanice kapalná paliva v podobě benzinu a nafty. Předností takovéto vodíkové stanice je snadnější integrace do stávajících stanic kapalných paliv, a i uvedení do provozu může být levnější. Proces je schematicky znázorněn na Obr. 3.4.



Obr. 3.4: Dodavatelský řetězec výroby vodíku mimo lokalitu, z H2ME [16]

Externí zásobování vodíku může být na krátké vzdálenosti realizováno nízkotlakým potrubím nebo zavážením vodíku kamiónem, který je vhodný i na větší vzdálenosti. Potrubí může přenášet velké objemy vodíku, ale počáteční investice je velmi nákladná, zejména v městských oblastech. Vodík může být trailerem dodán buď ve formě plynu nebo ve formě zkapalněného vodíku.

Při zkapalňování vodíku se spotřebovává značné množství energie, při současném stavu technologie je to asi jedna třetina obsahu energie obsažené ve vodíku. Ve srovnání s dodávkou plynného vodíku je v jedné nakládce kapalného vodíku přepravováno výrazně větší množství. Kapalný vodík se obvykle dováží na přívěsech s kapacitou přes 3 t. Z tohoto důvodu jsou náklady na přepravu na kilogram obvykle nižší u kapalného vodíku než u plynného. Pokud je tedy nutné dovážet vodík z velké vzdálenosti, tak je vhodné zvážit variantu zásobování kapalným vodíkem, která může být ve výsledku ekonomicky výhodnější. Při dodávce v plynném stavu je vodík kvůli nízké

hustotě stlačován na 200 až 500 bar pro přepravu od několika stovek kg až do 1000 kg vodíku v jedné nakládce. V České republice je standardně vodík převážen v trailerech o tlaku 200 bar.

Pokud jde o plnicí stanici, hlavní rozdíl v zařízení mezi dodávkou kapaliny nebo plynu je, že dodávka kapalného vodíku vyžaduje vysoce izolované zásobní nádrže (dopravovaný vodík je schlazen na svoji teplotu varu), aby se zabránilo zahřívání kapalného vodíku, kryočerpadlo a výparník. Zatímco stlačený plynný vodík vyžaduje vysokotlakou zásobníkovou nádrž a kompresor.

Studie „Městské autobusy: alternativní hnací ústrojí pro Evropu“ z roku 2012 [17] stanovuje, že dodávka kapalného vodíku bude ekonomicky výhodná u vzdáleností nad 275 km podle individuálních předpokladů a při zohlednění nákladových dopadů na investice do vodíkových plnicích stanic. Studie uvádí, že použití potrubí pro dodávku vede k nižším distribučním nákladům pouze na velmi krátké vzdálenosti do 5 km.

- **Výroba vodíku na místě (on-site)**

Při výrobě na místě se obvykle používá jedna ze dvou následujících technologií: elektrolýza nebo parní reforming. Elektrolyzér používá elektřinu k rozkladu vody na vodík a kyslík, zatímco parní reforming používá methan (zemní plyn) a horkou páru k výrobě vodíku katalytickou reakcí. Proces je schématicky znázorněn na Obr. 3.5.

Obr. 3.5: Dodavatelský řetězec výroby vodíku na místě, z H2ME [16]

Všechny typy výroby vodíku na místě vyžadují specifické připojení a dodávky. Protože elektrolýza vody spotřebovává velké množství elektřiny, síťové připojení musí zajistit dostatečný elektrický příkon a je nutné vyhrazené připojení k elektrické síti. Pro parní reforming se methan, který se

přeměňuje v parních reformerech, často odebírá ze sítě zemního plynu nebo se používají jiné zdroje uhlovodíků, které jsou vhodné pro parní reformování, např. zkapalněný ropný plyn – LPG. Jak elektrolýza, tak reforming vyžadují vodu, která se obvykle musí vyčistit v jednotce pro předúpravu, aby splňovala požadované specifikace kvality vody. [15]

Výroba vodíku na místě má výhodu v tom, že vylučuje dodavatelský řetězec dodávek vodíku a eliminuje závislost na externích dodavatelích, i když je třeba zvážit záložní řešení. Technologie elektrolýzy je také dostatečně flexibilní k tomu, aby mohla nabídnout služby vyrovnávání sítě a další strategie inteligentní optimalizace cen elektřiny. V případě vodíku vyrobeného elektrolýzou za použití pouze obnovitelné energie nemá vyrobený vodík žádné uhlíkové emise.

- **Bezpečnost**

Při uskladnění vodíku v nádrži, nehrozí žádné nebezpečí, pokud nedojde k poškození nádrže, nebo jejímu přehřátí. Vodík je plynné médium, které ve směsi se vzduchem tvoří zápalnou směs stejně jako jakékoli jiné palivo. Bezpečnost, resp. nebezpečnost vodíku lze srovnat s běžně užívanými konvenčními palivy [44] Kromě toho se vodík bezpečně používá v komerčním měřítku již více než 100 let, a to ve velkém množství, převážně v chemickém průmyslu.

Energetický obsah ve vodíkových nádrží ve vozidlech je obvykle nižší než u běžných benzinových nebo naftových vozidel. Automobilový průmysl celosvětově odsouhlasil tlak 700 bar pro vodík v osobních automobilech a 350 bar pro autobusy a nákladní automobily, Tlak systémů skladování vodíku je mechanicky regulovatelný. Všechna vodíková vozidla používaná v rámci demonstračních zkušebních programů prošla celým vývojovým cyklem výrobců automobilů, včetně nárazových zkoušek, a jsou schválena pro použití na Evropských silnicích. Vozidla jsou proto považována za stejně bezpečná jako běžná vozidla [16].

3.2 Náklady na vodíkovou plnicí stanici střední velikosti

- **Investiční náklady**

Investiční náklady značně závisejí na velikosti plnící stanice (tj. množství vodíku, které může stanice denně vydat, a její rezervní skladovací kapacitě):

- V současné době se investiční náklady na „malé“ stanice s kapacitou 10 až 50 kg H_2/den pohybují od 150 000 EUR do 600 000 EUR.

- U stanic s větší kapacitou (více než 100 kg H_2/den) jsou celkové náklady na technologii vodíkové stanice od 1 do 2,5 milionu EUR [18], s průměrnými náklady 1,5 milionu EUR [19] (bez zahrnutí vyvolaných investic).

Tyto náklady se týkají stanic, do nichž se vodík zaváží z externího zdroje. Stanice s on-site výrobou vodíku, kde je instalován elektrolyzér dimenzovaný podle kapacity stanice, mají dodatečné investiční náklady v řádu 70 % až 90 %.

Vývoj investičních nákladů

Studie: *„Srovnávací analýza infrastruktur: Vodíkové palivo a elektrické nabíjení vozidel“* [20] zveřejněná v roce 2018 hodnotí náklady na vodíkové stanice u několika scénářů nasazení vodíkové mobility na vnitrostátní úrovni v Německu. Tato studie odhaduje, že:

- pokud by bylo zavedeno 400 stanic s kapacitou 212 kg H_2/den (ve scénáři s celkem 100 000 vodíkových vozidel), náklady na každou z těchto stanic by činily 1 milion EUR (700 000 EUR stanice a 300 000 EUR náklady na instalaci), investice na 1 kg H_2/den činí 4717 EUR;
- pokud by bylo zavedeno 1 000 stanic s kapacitou 420 kg H_2/den (ve scénáři s celkem 1 milionem vodíkových vozidel), náklady na každou z těchto stanic by činily 1,46 milion EUR, investice na 1 kg H_2/den činí 3476 EUR;
- pokud by bylo zavedeno 7 000 stanic s kapacitou 1 000 kg H_2/den (ve scénáři s celkem 20 miliony vodíkových vozidel), náklady na každou z těchto stanic by činily 2,24 milion EUR, investice na 1 kg H_2/den činí 2240 EUR.

Provozní náklady

Fixní provozní náklady (provoz a údržba) se obvykle pohybují od 3 % do 5 % investičních nákladů. Například při použití hodnoty 4 % pro stanici s kapacitou 100 kg H_2/den, u které se předpokládá počáteční náklad 1,5 milionu EUR vychází fixní provozní náklady na 60 000 EUR/rok. Je však třeba poznamenat, že u stanic s malou kapacitou mohou být relativní fixní provozní náklady vyšší (vzhledem k velikosti stanic), stále však v řádu jednotek procent.

Variabilní provozní náklady:

- Pokud se vodík na stanici dodává, budou náklady záviset na řadě parametrů, včetně dodavatele, zeměpisné polohy, blízkosti zdrojů výroby vodíku, dodaných množství, trvání smlouvy a jejích podmínek atd.
- V případě vodíku vyráběného na místě budou výrobní náklady přímo záviset na ceně elektřiny, jakož i na dalších parametrech, zejména na účinnosti elektrolyzéru, jeho míře využití, ceně vody atd.
- V obou případech je vždy hledáno optimální řešení, jak se přiblížit k nákladům, které umožňují atraktivní cenu pro koncového uživatele – obvykle pod 10 EUR/kg H_2, nejlépe 7-8 EUR/kg H_2 u lehkých vozidel a 5-6 EUR/kg H_2 u těžších vozidel, jako jsou např. autobusy.

Hlavní zdroj výnosů je spojen s prodejem vodíku a přímo závisí na rozdílu mezi náklady na vodík (dovezený nebo vyrobený na místě) a pevnou cenou za vodík „u plnicí stanice“. Například v případě vodíku dodávaného za 7 EUR/kg H_2, je-li pevná cena za vodík „u plnicí stanice“ 8 EUR/kg H_2 pak hrubý zisk je 1 EUR/kg H_2. Sumární informace týkající se provozu a pořízení plnicích stanic jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Tab. 3.2: Souhrnná tabulka fixních investičních a provozních nákladů vodíkové plnicí stanice [21]

Investiční náklady (bez elektrolyzéru)	Běžné náklady	„Malá“ stanice (10 až 50 kg H_2/den)	<0,6 mil. EUR
		Stanice s větší kapacitou (od 100 do 200 kg H_2/den)	1-2,5 mil. EUR
	Náklady ze studie: „Srovnávací analýza infrastruktur: Vodíkové palivo a elektrické nabíjení vozidel“	Případ 1: 400 stanic s 212 kg H_2/den	1 mil. EUR
		Případ 2: 1000 stanic s 420 kg H_2/den	1,46 mil. EUR
		Případ 3: 7000 stanic s 1000 kg H_2/den	2,24 mil. EUR
Náklady na elektrolyzér	70-90 % investičních nákladů		
Provozní náklady	3-5 % investičních nákladů/rok		

3.3 Vodíkové plnicí stanice v České republice a zahraničí

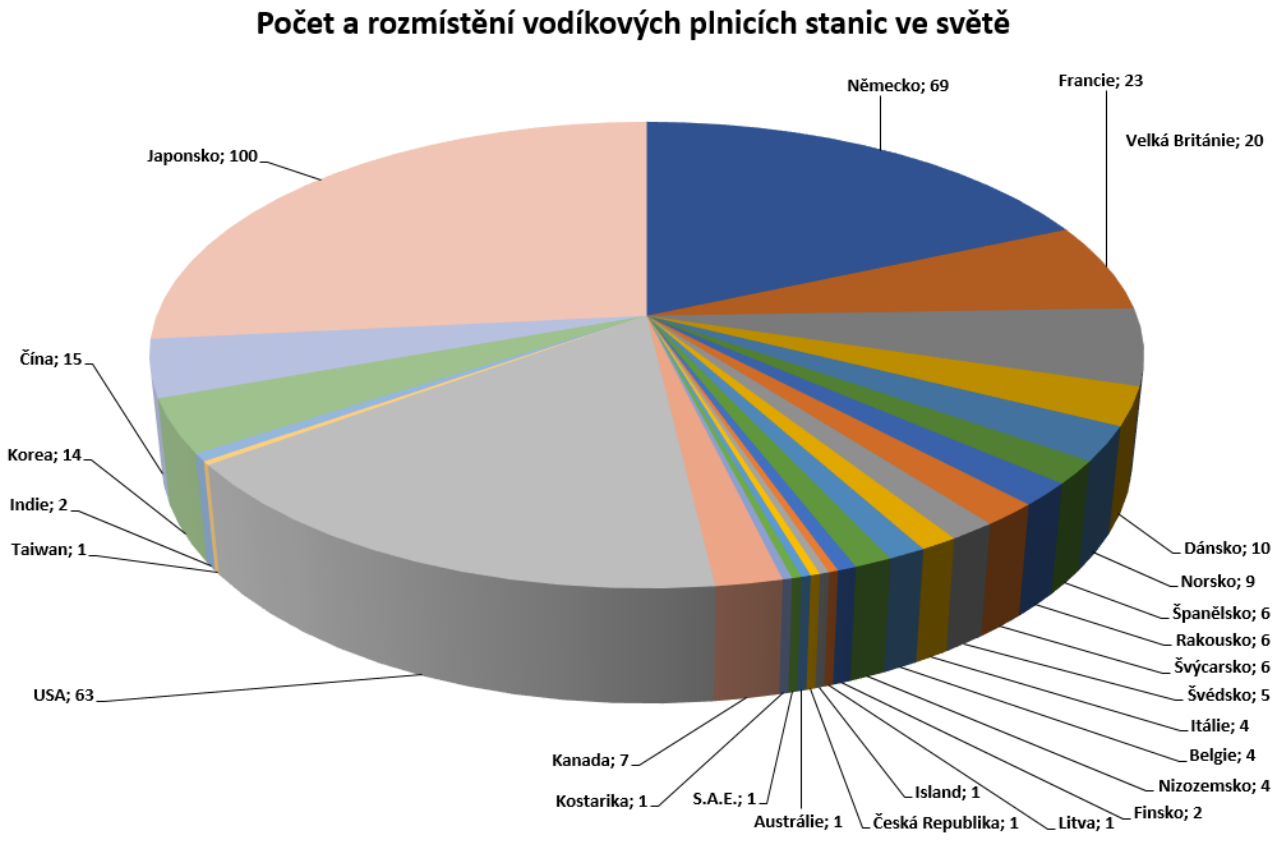
- **Česká republika**

V rámci projektu podporovaného Ministerstvem dopravy ČR byla v roce 2009 realizována vodíková plnicí stanice v Neratovicích. Jedná se o neveřejnou plnicí stanici s maximálním plnicím tlakem 350 bar. Tato stanice je zásobována vodíkem z parního reformingu zemního plynu, který je dodáván kamiony (vodík stlačený v několika sekcích tlakových lahví). Součástí projektu byl prototyp hybridního autobusu s vodíkovými palivovými články TriHyBus vyvinutý konsorciem vedeným ÚJV Řež (Škoda Electric, Proton Motor a další). Plnicí stanice na Obr. 3.6 je stále v provozu a jediná v ČR.

Obr. 3.6: Vodíková plnicí stanice v Neratovicích [22]

- **Svět**

Následující obrázek z IEA Fuel Cell ukazuje celkový počet vodíkových plnicích stanic po celém světě na konci roku 2018. Po celém světě je v provozu celkem 376 plnicích stanic (veřejné i neveřejné). Nejvíce vodíkových plnicích stanic je v provozu v Japonsku, Německu a USA, viz. Obr. 3.7.



Obr. 3.7: Vodíkové plnicí stanice na konci roku 2018 [23]

- **Cíle, vize a předpovědi [23]**

Evropa 2025: Minimálně 747 vodíkových plnicích stanic

Projekt Hydrogen Mobility Europe plánuje umístit do rukou zákazníků více než 1 400 vozů s palivovými články a do roku 2020 rozmístit po celé Evropě 49 vodíkových plnicích stanic.

Projekty JIVE plánují uvést do roku 2023 na silnice 291 FCEB autobusů.

Německo	2020: 100 vodíkových plnicích stanic
	2025: 400 vodíkových plnicích stanic
	2030: 1 000 vodíkových plnicích stanic.
Francie	2023: 100 vodíkových plnicích stanic
	2028: 400 až 1 000 vodíkových plnicích stanic
Španělsko	2020: 20 vodíkových plnicích stanic
Korea	2022: 310 vodíkových plnicích stanic a 2 000 FCEB autobusů
	2040: 1 200 vodíkových plnicích stanic a 60 000 FCEB autobusů
Japonsko	2020: 160 vodíkových plnicích stanic
	2025: 320 vodíkových plnicích stanic
USA	2023: 94 vodíkových plnicích stanic v Kalifornii
	2025: 200 vodíkových plnicích stanic v Kalifornii
	2030: 1 000 vodíkových plnicích stanic
Čína	2020: 100 vodíkových plnicích stanic
	2025: 300 vodíkových plnicích stanic
	2030: 1 000 vodíkových plnicích stanic

3.4 Základní legislativní požadavky pro výstavbu plnicí vodíkové stanice

V současnosti jediným předpisem je *Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení* [24], kterou 17. prosince 2018 certifikoval TÜV NORD.

- **Anotace metodiky**

Certifikovaná metodika je ve smyslu normy [25] normativním dokumentem vytvořeným na základě konsenzu a ve spolupráci zainteresovaných stran, schváleným na úrovni odvětví nezávislou organizací. Od okamžiku jejího schválení je v daném odvětví považována za uznané technické pravidlo vyjadřující stav techniky.

Tato metodika stanovuje základní podmínky pro stavbu nových plnicích stanic stlačeného vodíku do mobilních zařízení, zejména dopravních. Pro jejich umístění, projektování, provedení, zkoušení, provoz a údržbu byly využity zkušenosti z obdobných instalací a předpisů pro CNG a LPG, vlastní zkušenosti z projektování, stavby, provozu a údržby první a zatím jediné plnicí stanice stlačeného vodíku v Neratovicích a mezinárodně uznávaných technických standardů, ke kterým se Česká republika přihlásila. Metodika byla projednána s některými orgány a organizacemi státní správy zabývajícími se danou problematikou, a dále s odbornými oborovými organizacemi. Metodika se vztahuje výhradně na plnění stlačeného vodíku do mobilních zařízení a nevztahuje se na plnírny technických plynů.

Dokument neřeší problematiku on-site výroby vodíku ani použití kapalného vodíku. Metodika není v rozporu s dalšími předpisy, které řeší i problematiku, která se může vztahovat také na plnicí stanice vodíku. Jedná se zejména o předpisy v oblasti pracovně – právních vztahů, hygienické předpisy, ochranu životního prostředí a nakládání s odpady i obecné předpisy pro bezpečnost práce a technických zařízení.

- **Účel a určení metodiky**

Tato metodika stanovuje základní podmínky pro projektování, umísťování, realizaci, zkoušení a provoz plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení (vozidla, pracovní stroje apod.). Neustále se zvyšující zájem o ochranu životního prostředí je objektivním faktorem pro jeho užití, zejména v dopravě. Výhodou pohonu vodíkovými palivovými články je v porovnání s elektromobily, poháněnými pouze bateriemi, snadno dosažitelný delší dojezd a rychlé doplňování energie, tj. vodíku pro palivové články. V současné době vodíková vozidla ani vodíková plnicí infrastruktura

nejsou schopny bez dotací ekonomicky konkurovat vozidlům se spalovacími motory. Přesto dochází k jejich rozšiřování ve vyspělých státech Asie, západní Evropy i severní Ameriky, kde jsou různé legislativní rámce, odlišné od České republiky. Z tohoto důvodu byla zpracována tato metodika, jejímž účelem je majiteli, provozovateli nebo uživateli shrnout nezbytné procesy, definovat legislativní i technické podmínky pro výstavbu plnicí stanice vodíku v ČR a její následný provoz a údržbu. Odkazy na platné právní a technické normy umožňují jednak poskytnout oporu pro sjednocení jejich výkladu a rovněž i snadnou orientaci všem institucím pověřených výkonem státní správy, podílejících se na schvalovacích procesech výstavby a výkonu kontrolní činnosti v oblasti budování a provozu plnicí infrastruktury.

Metodika podléhá pravidelným revizím ve vhodných časových intervalech především proto, že se jedná o moderní a velmi dynamicky se vyvíjející systém využití alternativní energie mobilních zařízení. Lze právem očekávat další pokrok v oblasti jak technické, bezpečnostní, tak i možná v oblasti standardizace parametrů stanic nebo jejich prvků.

Plnicí stanice stlačeného vodíku pro mobilní zařízení není plynárenským zařízením ve smyslu zákona [26]. Toto zařízení je podle vyhlášky [27] §2 písmeno c) vyhrazeným plynovým zařízením – zařízení pro plnění nádob plyny.

Pro účely této metodiky jsou udávané objemy a průtoky vodíku vztaženy na standardní stavové podmínky, teplotu 15 °C a tlak 101,325 kPa.

3.5 Varianty řešení

- **Plnící stanice s vodíkem z parního reformingu**

  Vodík je získáván za pomoci parního refomingu z uhlovodíků, které se do stanice dopravují buďto v tlakových lahvích nebo potrubím.

- **Plnící stanice s vodíkem z elektrolyzéru**

  Plnící stanice získává vodík za využití elektrolýzy vody. Velmi dobře kombinovatelné s fotovoltaikou.

- **Plnící stanice se závozem vodíku (kamionem nebo potrubím)**

  Vodík je možné vyrábět i mimo plnící stanici a tento vodík do plnící stanice externě dodávat, tak jako u klasické benzínové plnící stanice.

- **Plnící stanice napojená na nezávislý chemický průmysl**

  Využití odpadního vodíku z chemického průmyslu. Vystavěním plnící stanice v blízkosti takovéhoto chemického areálu, se výrazně sníží náklady na přepravu vodíku do plnící stanice či náklady na jeho výrobu.

4 Vodík jako palivo

4.1 Výroba vodíku

V současné době existují na trhu tři hlavní zdroje vodíku:

- **Vodík z fosilních paliv**

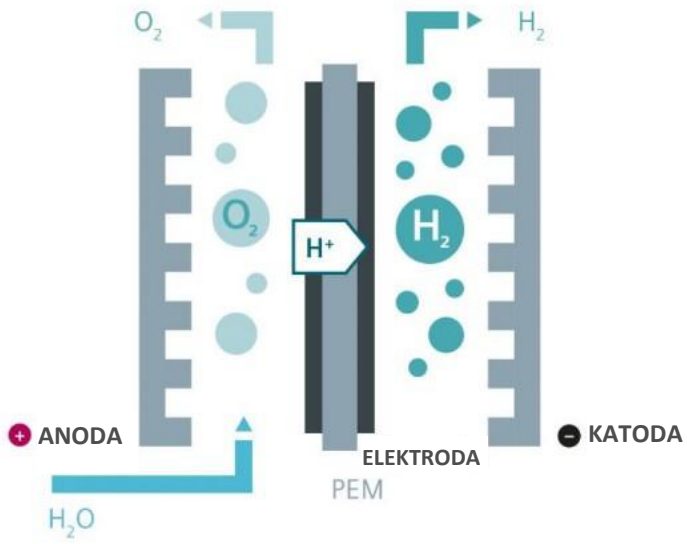
Většina vodíku používaného v současných průmyslových odvětvích se vyrábí z procesu parního reformingu kombinováním horké páry s uhlovodíky, jako je např. zemní plyn, ropa, černé uhlí nebo zkapalněný ropný plyn (LPG). Proces reformingu je popsán rovnicemi (1) a (2). Pokud se jako výchozí surovina použije zemní plyn, jedná se o tzv. SMR (Steam Methane Reforming). Výhodou této metody je nízká výrobní cena vodíku. Nevýhodami procesu jsou produkce velkého množství CO_2 a nutnost čištění vodíku před použitím ve vozidle s palivovými články.

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{\Delta T} CO + 3H_2 \tag{1}$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + \Delta T \tag{2}$$

- **Vodík vyrobený s využitím elektřiny**

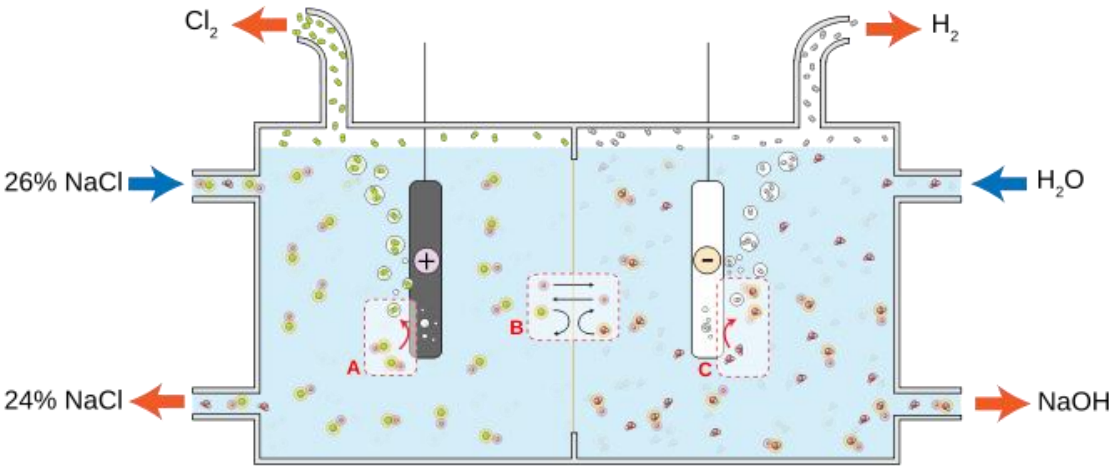
Vodík lze vyrábět pomocí elektřiny, kdy se voda štěpí na vodík a kyslík, viz. Obr. 4.1. Tento proces, nazývaný elektrolýza vody, je opačnou reakcí než technologie palivových článků používaná ve vozidlech. Pokud je elektřina použitá v elektrolyzéru vyráběna z obnovitelné energie, pak produkovaný vodík je „zelený“, což znamená, že se vyrábí s nízkými nebo nulovými emisemi skleníkových plynů z celého procesu. Tento proces produkuje vodík s velmi nízkým obsahem nečistot a konečné výrobní náklady přímo závisí na nákladech na elektřinu.



Obr. 4.1: Grafické znázornění elektrolýzy PEM [29]

- **Vodík jako vedlejší produkt**

Jedná se o vodík, který se vyrábí v chemickém průmyslu jako vedlejší produkt. Typickým příkladem je proces chlor-alkalické elektrolýzy, zobrazen na Obr. 4.2, používaný k výrobě chloru, jejímž vedlejším produktem je vodík.



Obr. 4.2: Grafické znázornění chloralkalického procesu [30]

- **Další zdroje vodíku**

  V současnosti se vyvíjejí další výrobní metody vodíku, jako např. biologická, solární, foto-elektro-chemická nebo metoda výroby vodíků z odpadů. Tyto metody jsou stále ve fázi výzkumu a vývoje a v současné době se pro velko-kapacitní výrobu vodíku nepoužívají.

Informace uvedeny v Tab. 4.1 srovnávají tří hlavní zdroje vodíku.

Tab. 4.1: Porovnání nejběžnějších způsobů výroby vodíku

	Fosilní (SMR)		**Vedlejší průmyslový produkt**	**Elektrolýza**
Cena	Nejnižší		Vedlejší produkt	Vyšší
Kvalita vodíku	Obsahuje nečistoty (nutnost čištění)		Závisí na procesu	Čistý vodík
Místo výroby	Mimo lokalitu	Na místě	Mimo lokalitu	Na místě
Logistika dopravy	Další náklady na dodávku vodíku	Ne	Další náklady na dodávku vodíku	Ne
Závislost na dodávce	Ano	Ne (pouze plyn)	Ano	Ne (pouze elektřina)
Emise CO_2	Vysoké		Ne (považuje se za vedlejší produkt)	V závislosti na elektrickém zdroji

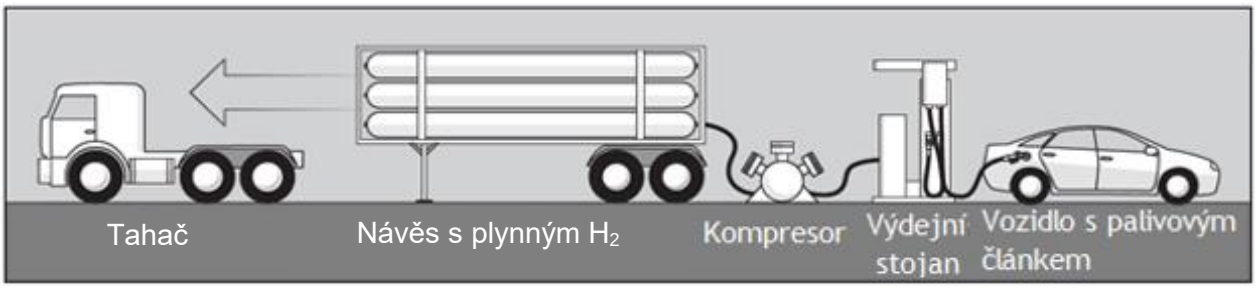
4.2 Cena vodíku

Zásobovaní plnicí stanice vodíkem lze řešit vícero přístupy. Vodík v kvalitě požadované palivovými články ve vodíkových dopravních prostředcích je možné obstarávat od dodavatelů technických plynů. Dle technologického řešení plnicí stanice se nabízí jako varianty buď závoz svazků tlakových lahví a následná výměna za prázdný svazek přímo na místě plnicí stanice, nebo závoz traileru s vodíkem a následné přepouštění do vysokokapacitního zásobníku zahrnutého v technologií plnicí stanice. Za zmínku stojí také možnost výroby vodíku přímo na místě plnicí stanice elektrolýzou vody – toto řešení je z pohledu technologie komplexnější a výrazně ovlivní pořizovací cenu plnicí stanice (dodatečné náklady na pořízení elektrolyzéru).

- **Varianta 1 – Závoz svazků tlakových lahví**

Možnost závozu tlakových lahví je vhodná spíše pro provozy, kde je omezená spotřeba vodíku v řádech desítek kilogramů vodíků měsíčně. Proces je zobrazen na Obr. 4.3. Jeden svazek tlakových lahví je tvořen 12 tlakovými láhvemi o objemu 50 L, které jsou schopny pojmout 10 kilogramů vodíku o tlaku 200 bar. Výhodou tohoto řešení je vyšší tlak na vstupu do kompresoru v rámci plnicí stanice a tím pádem nižší energetické nároky pro dodatečné stlačení vodíku na tlakovou úroveň 350 bar pro autobusy. Cena zahrnuje naplnění svazku a dovoz na místo plnění spolu s výměnou prázdného svazku.

Cena za 1 kg vodíku: >1 500 Kč

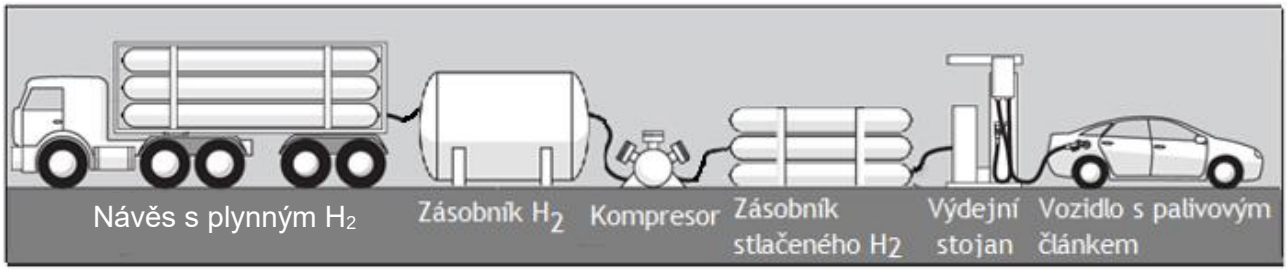


Obr. 4.3: Zásobování plnicí stanice prostřednictvím závozu svazků tlakových lahví

- **Varianta 2 – Závoz vodíku kamiónem s návěsem (trailerem)**

Technologické řešení plnicí stanice obvykle zahrnují vysokokapacitní zásobník vodíku na tlakové úrovni v řádech desítek barů. Proces je zobrazen na Obr. 4.4. Návěs s vodíkem se sestává ze zásoby vodíku na tlakové úrovni 200 bar, a proto umožňuje přepouštění vodíku do cílového zásobníku. Dodavatelé technických plynů jsou obvykle schopni realizovat závoz na denní bázi – četnost závozů je dána kapacitou zásobníku vodíku v rámci plnicí stanice a skutečnou spotřebou koncovým zákazníkem pro účely plnění dopravních prostředků. Cena zahrnuje náklady za dopravu, samotný vodík a také potřebné certifikáty kvality vodíku. Výhodou tohoto řešení je možnost zásobovat plnicí stanici dostatečným množstvím vodíku, které je prakticky omezeno jen kapacitou zásobníku na plnicí stanici.

Cena za 1 kg vodíku: >200 Kč

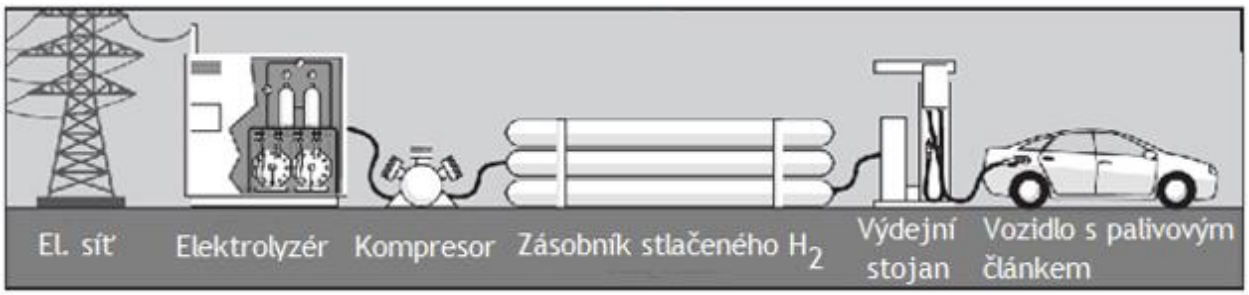


Obr. 4.4: Zásobování plnicí stanice přepouštěním vodíku do velkokapacitního zásobníku

- **Varianta 3 – On-site výroba vodíku**

Výroba vodíku přímo na místě plnicí stanice sebou nese řadu výhod: nezávislost od externích dodavatelů, výroba vodíku čistou technologií zatíženou jen emisní stopou energetického mixu a jistotu, že vyrobený vodík je v čistotě požadované palivovými články vodíkových vozidel. Nicméně co se týče investičních nákladů, může pořízení vhodného elektrolyzéru s dostatečnou mírou produkce vodíku dosahovat až 70 % investičních nákladů samotné plnicí stanice. Výrobní cena vodíku navíc, kromě odpisů za pořízení samotného elektrolyzéru, také zahrnuje potenciálně volatilní provozní náklady dané cenou elektrické energie. Pro účely studie je uvažován elektrolyzér s denní výrobní kapacitou 50 kg vodíku. Životnost elektrolyzéru je výrobcem garantovaná po dobu 80 000 hodin a pořizovací cena je uvažovaná 15 000 000 Kč. Spotřeba elektrické energie pro výrobu 1 kg vodíku činí obvykle 55 kWh. Pro výpočet provozních nákladů uvažujeme cenu elektrické energie (včetně dodávky, distribuce a stálých plateb za jističe) 5 Kč/kWh. Proces je zobrazen na Obr. 4.5.

Cena za 1 kg vodíku: >365 Kč



Obr. 4.5: Lokální výroba vodíku přímo v místě plnicí stanice

4.3 Výroba vodíku v České republice

- **Výroba vodíku v České republice**

Výrobní kapacity vodíku v ČR v r. 2019

Využitelný přebytek vodíku ze stávajících zdrojů:	0,466 mil. m^3/den (41,6 t/den)
tj. při zvážení 240 pracovních dní v roce:	111,8 mil. m^3/rok (9 984 t/rok)

Plánované nové zdroje (2020 – 2022)

Instalovaná kapacita	0,0075 mil. m^3/den (0,67 t/den)
tj. při zvážení 240 pracovních dní v roce:	1,8 mil. m^3/rok (160,8 t/rok)

Stávající + plánované zdroje celkem

Využitelný přebytek + nově instalovaná kapacita	0,474 mil. m^3/den (42,3 t/den)
tj. při zvážení 240 pracovních dní v roce:	114 mil. m^3/rok H_2 (10 147 t/rok)

Převažující způsob výroby vodíku ze stávajících zdrojů je parní reforming zemního plynu či parciální oxidace vyšších uhlovodíků, u plánovaných zdrojů se většinou jedná o elektrolýzu vody.

Skladovací/transportní kapacity H_2 v ČR

Tlakové trailery 16(30) m^3/200 bar	4,4 t H_2 (lze použít vícekrát za den)

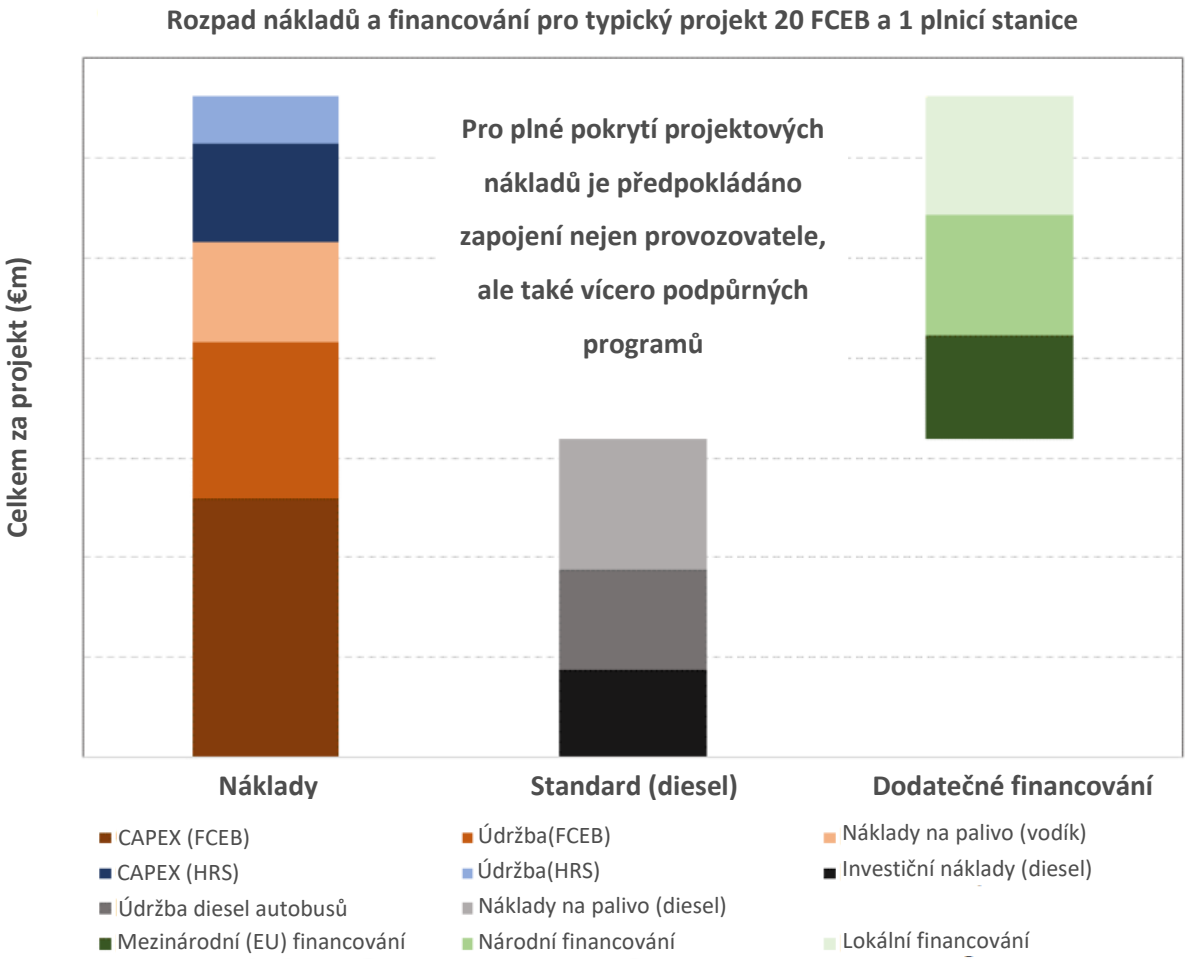
5 Možnosti financování vodíkových technologií

Protože řešení vodíkových elektrických autobusů je spolehlivá a schválená technologie, která splňuje požadavky na nulové emise a nízká provozní omezení pro provozovatele, vlády ji dotují za účelem urychlení jejího globálního rozvoje. Významný vývoj této technologie umožní v budoucnu následné snížení nákladů na dosažení skutečně efektivního komerčního uplatnění. Vodíkové technologie jsou velmi progresivní, jak deklaruje Obr. 5.1., který zobrazuje zapojení průmyslu, výzkumných ústavů, národních asociací v jednotlivých zemích.

Obr. 5.1: Vodík v Evropě: členové a projekty – prosinec 2019 [31]

5.1 Příklad financování projektu

Na Obr. 5.2 je vyobrazen graf, který znázorňuje předpokládané náklady ilustrativního příkladu nasazení a provoz flotily dvaceti autobusů s palivovými články v průběhu deseti let a možné finanční příspěvky od různých stran. V prvním sloupci jsou uvedeny náklady na zavedení a provoz flotily 20 FCEB s přidruženou infrastrukturou doplňování paliva. Druhý sloupec ukazuje náklady na zavedení a provozování rovnocenné flotily naftových autobusů. Třetí sloupec uvádí názorný příklad toho, jak by bylo možné zaplnit mezeru ve financování, tj. kombinací příspěvků z mezinárodních, národních a místních zdrojů. Data jsou převzata ze studie „Strategie společného zadávání zakázek na autobusy s palivovými články“ vypracovanou společností Element Energy [32].



Obr. 5.2: Ilustrativní příklad nákladů a zdrojů financování projektu vodíkových autobusů [32]

Výše uvedená ilustrativní ekonomická analýza zdůrazňuje potřebu obstarávat příspěvky z různých zdrojů, aby bylo možné realizovat projekty autobusů na palivové články v současné před-komerční fázi vývoje. Podrobnosti o upřednostňované strategii financování se mohou lišit v závislosti na městě/regionu, ale ve většině případů se obvykle hledá financování v následující kombinaci:

- **Mezinárodní**: The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking disponuje rozpočtem na podporu demonstračních projektů pokrývající řadu oblastí, včetně autobusů na palivové články. Některé prvky projektu je možné financovat také prostřednictvím jiných iniciativ, jako je například program Nástroj pro propojení Evropy, který podporuje zavádění infrastruktury pro čistá paliva v hlavní evropské dopravní síti.

- **Národní vlády**: Vlády mnoha evropských zemí si uvědomují schopnost autobusů na palivové články přispívat k plnění národních cílů (jako je snížení emisí uhlíku, zlepšení kvality ovzduší, bezpečnost dodávek energie). V důsledku toho může být k dispozici vnitrostátní financování na podporu projektů usilujících o přispění ke komercializaci této technologie a/nebo k „ekologizaci“ autobusových flotil.

- **Místní/regionální vlády**: je možné usilovat o příspěvek z místního veřejného sektoru na podporu zavedení autobusů na palivové články v daném městě nebo regionu. Tento případ obvykle vychází z místních výhod, které tato činnost přináší zlepšení kvality ovzduší a nové ekonomické příležitosti. V některých případech, jako je např. Londýn nebo Hamburk, jsou města připravena stát se průkopníky a podporovat technologický rozvoj, který je nezbytný pro dosažení environmentálních cílů.

Mnoho vodíkových projektů bylo podpořeno v Evropě v rámci programového období 2014-2020. Za pozitivní lze považovat skutečnost, že tak jako v dosavadním období bude i pro období 2021-2027 moci ČR na rozvoj čisté mobility počítat s určitou podporou z prostředků EU a z národních peněz. V první řadě jde o evropské strukturální a investiční fondy (ESI), z nichž jsou financovány jednotlivé operační programy (OP).

5.2 Národní programy/Operační programy

Nákup vodíkových autobusů a výstavbu plnící infrastruktury lze kofinancovat z veřejných zdrojů. Seznam možných příležitostí se mění a vyvíjí, není možné ho tedy postihnout plně v této zprávě. Je důležité průběžně sledovat výzvy, aby nedošlo ke zmeškání příležitosti. Výzvy se pravidelně opakují, zpravidla 1x ročně. S rostoucím významem lze také očekávat, že bude otevřena zcela nová výzva pro nákup vodíkových vozidel.

Níže uvedený přehled zacílení jednotlivých OP ve vztahu k čisté mobilitě vychází ze schváleného vládního materiálu „Národní koncepce realizace politiky soudržnosti po roce 2020“, který stanoví základní implementační rámec a klíčové strategické cíle jednotlivých dotačních zdrojů.

- **Operační program Konkurenceschopnost**

Program má být zaměřen na podporu nákupu osobních i nákladních vozidel na alternativní paliva (elektřina, vodík, CNG a LNG) pro podnikatele a budování příslušné neveřejné infrastruktury (včetně bytových či nebytových domů, pokud slouží jako sídlo podnikatelského subjektu).

- **OP Doprava**

Předpokládá se pokračování dotačního programu na podporu budování veřejné infrastruktury pro alternativní paliva s důrazem na dobíjecí stanice a vodíkové plnicí stanice. Předpokládá se, že by na tuto oblast mohlo být vyčleněno až 4 mld. Kč.

- **Integrovaný regionální operační program**

Program počítá s podporou intervencí zaměřených na pořízení nízkoemisních a bezemisních vozidel (autobusů/trolejbusů) a budováním související infrastruktury dobíjecích a plnících stanic pro veřejnou dopravu.

Za nový zdroj financování čisté mobility lze považovat modernizační fond. Ten byl zřízen v rámci revize směrnice o obchodování s povolenkami na období let 2021 až 2030, na podporu investic navržených oprávněnými členskými státy, včetně financování malých investičních projektů, do modernizace energetických soustav, skladování energie a zlepšení energetické účinnosti, a to včetně energetické účinnosti v sektoru dopravy. Pro ČR je určeno 16 % alokace fondu (120 mld. Kč) z toho 70 % bude určeno na tzv. „prioritní projekty“. Do této kategorie by měla spadat i čistá mobilita. I když přesné zacílení tohoto fondu ve vztahu k čisté mobilitě není zatím zřejmé, je jisté, že tento nástroj je možné použít mj. na nákup vlakových souprav a lokomotiv na elektropohon//vodík,

případně i nákup vnitrozemských plavidel na alternativní paliva, což jsou zatím oblasti, které nejsou nikterak pokryty výše uvedenými OP.

5.3 Evropské programy

- **Evropské programy pro financování:**
  - Společný podnik pro palivové články a vodík (FCH JU) uvolňuje celkový rozpočet 1,33 miliardy EUR (2014-2020) na podporu projektů na vodík a palivové články v rámci programu Horizont 2020.
  - Dalším důležitým zdrojem financování je finanční rámec Nástroj pro propojení Evropy (CEF) (dříve TEN-T). CEF má roční rozpočet několik miliard a může být použit k financování vodíkových infrastruktur.
  - Některé regiony EU mohou využívat strukturálních fondů (jako je např. Evropský fond regionálního rozvoje (ERDF)), které lze kombinovat např. s financováním FCH JU za zvláštních okolností (pokud nepokrývají stejné náklady).

- **Seznam evropských projektů zavádění vodíkové mobility:**

Seznam a popis evropských projektů pro nasazení vodíkových autobusů je k dispozici na internetových stránkách autobusů s palivovými články [33]. Tato webová stránka popisuje projekty, uvádí seznam partnerů a představuje interaktivní mapu s městy, kde se vodíkové autobusy používají.

Shrnutí těchto projektů je uvedeno v Tab. 5.1:

Tab. 5.1: Evropské projekty na zavádění vodíkových autobusů

Projekt	Popis
	H2BUS EUROPE **Realizace**: Konsorcium H2Bus vzniklo 3. června 2019. **Zavedení**: Grant umožní do roku 2023 zavést 200 elektrických autobusů s vodíkovými články a podpořit infrastrukturu v Dánsku, Lotyšsku a Velké Británii. **Financování**: První fáze projektu v celkovém počtu 600 autobusů je podporována částkou 40 milionů EUR z Nástroje pro propojení Evropy (CEF) EU.
	CHIC: Projekt Clean Hydrogen in European Cities (Čistý vodík v evropských městech) **Realizace**: Započal v roce 2010 a skončil v prosinci 2016. **Zavedení**: Po celou dobu existence projektu bylo zavedeno celkem 54 autobusů na palivové články: 26 elektrických autobusů s palivovými články, které získaly spolufinancování FCH-JU, bylo provozováno v kantonu Aargau (CH – 5 autobusů), v Bolzanu (IT – 5 autobusů), Londýně (UK – 8 autobusů), Miláně (IT – 3 autobusy) a Oslu (NO – 5 autobusů). Města Kolín nad Rýnem (DE – 4 autobusy) a Hamburg (DE – 4 autobusy) provozovala 8 dalších autobusů na palivové články prostřednictvím samostatně financovaných programů. Ve Whistleru (CA) bylo od roku 2010 (zimní olympijské hry) do března 2014 zavedeno 20 autobusů na palivové články. V Berlíně (DE) byly od roku 2006 do prosince 2014 provozovány 4 autobusy s vodíkovým spalovacím motorem (ICE). **Financování:** Celkový rozpočet projektu byl 81,8 milionů EUR, z toho 25,88 milionů bylo spolufinancováno FCH-JU.
	HIGH V.LO-CITY: Města urychlující integraci vodíkových autobusů do veřejných vozových parků **Realizace**: Započal v roce 2012 a bude pokračovat do konce roku 2019. **Zavedení**: Dodat 14 autobusů na palivové články ve 4 lokalitách a 3 vodíkové plnicí stanice: Antwerpy (BE), Aberdeen (UK), Groningen (NE) a San Remo (IT). **Financování**: Projekt je financován z FCH-JU na základě grantové dohody 278192.

	HYTRANSIT: Vodíkové přepravní autobusy ve Skotsku **Realizace**: Započal v roce 2013 a skončil v roce 2018. **Zavedení**: Dodávka 6 vodíkových autobusů a nejmodernější stanice na výrobu vodíku a plnění vodíkem. Provozovat autobusy v reálných podmínkách s provozem nejméně 14 hodin a 270 km denně. Prokázat, že provozní dostupnost autobusů je ekvivalentní s naftou (více než 90 %). Šest autobusů je provozováno v Aberdeenu společností Stagecoach. **Financování**: Projekt byl financován z FCH-JU na základě grantové dohody 303467. Projekt Aberdeen Hydrogen Bus rovněž získal finanční prostředky od těchto subjektů na místní a vnitrostátní úrovni: Innovate UK, Městská rada Aberdeen, Stagecoach Holdings Ltd, First Group, Scottish Government, Scottish Enterprise, Scottish Hydro Electric Power Distribution, Scotland Gas Network.
	3Emotion: Environmentally friendly **E**fficient Electric Motion **Realizace**: Od roku 2015 do roku 2019. **Zavedení**: nasazení 21 nových a další využití 8 stávajících autobusů na palivové články s požadovanou infrastrukturou doplňování paliva na 5 místech a provozovaných 7 provozovateli veřejné dopravy v těchto lokalitách v Evropě: Aalborg (DK), Londýn (UK), Pau (FR), Rotterdam (NL), Versailles (FR). **Financování**: Projekt je podporován EU prostřednictvím FCH-JU na základě grantové dohody 633174 a řadou místních úřadů.
	JIVE: Společná iniciativa pro vodíková vozidla (Joint Initiative for hydrogen Vehicles) v celé Evropě **Realizace**: JIVE bude běžet šest let počínaje lednem 2017. **Zavedení**: Cílem projektu je nasazení 139 nových autobusů na palivové články s nulovými emisemi a související infrastruktury pro doplňování paliva do pěti zemí. **Financování:** Spolufinancování z 32 mil. grantu od FCH-JU v rámci rámcového programu Evropské unie Horizont 2020 pro výzkum a inovace.
	JIVE 2: Společná iniciativa pro vodíková vozidla (Joint Initiative for hydrogen Vehicles) v celé Evropě **Realizace**: JIVE 2 bude běžet šest let počínaje lednem 2018. **Zavedení**: Zavést 152 autobusů na palivové články a související infrastrukturu doplňování paliva ve 14 evropských městech po celé Francii, Německu, Islandu, Norsku, Švédsku, Nizozemsku a Velké Británii. **Financování:** Spolufinancování z 25 mil. grantu od FCH-JU v rámci rámcového programu Evropské unie Horizont 2020 pro výzkum a inovace.

MEHRLIN H2 ZERO EMISSION	**MEHRLIN**: Models for Economic Hydrogen Refuelling Infrastructure (Modely pro ekonomickou infrastrukturu plnění vodíkem) **Realizace**: MEHRLIN započal v červenci 2017 a bude pokračovat do konce roku 2020. **Zavedení**: 7 vodíkových plnicích stanic pro autobusové flotily ve městech po celé Evropě, ve Velké Británii, Nizozemsku, Itálii a Německu. **Financování:** Projekt MEHRLIN je spolufinancován z Nástroje pro propojení Evropy Evropské komise (5,5 milionu EUR) a podporu řídí Výkonná agentura pro inovace a sítě.

6 Případové studie

6.1 Vybrané vodíkové projekty v oblasti mobility

Následující kapitola popisuje technické parametry třech úspěšných projektů zabývajících se integrací vodíkových autobusů a plnicí infrastruktury do měst Bolzana, Pau a Kolína nad Rýnem.

- **Projekt v Bolzanu, Itálie [34], [35]:**

Italské město Bolzano se účastnilo projektu CHIC, jehož cílem bylo v letech 2010 až 2016 ověřit, zda jsou autobusy poháněné elektromotory napojené na vodíkový palivový článek způsobilé pro nasazení ve městech. V rámci projektu byla úspěšně demonstrována schopnost bezemisních vodíkových autobusů nahradit stávající autobusy se vznětovým motorem. Součástí demonstrace bylo také pořízení a provozování plnicí stanice stlačeného vodíku, která byla vybavena lokální výrobou vodíku (elektrolýza), nebo byl vodík zavážen na plnicí stanici kamiónem. Způsob zásobování byl vybrán dle lokality. Parametry plnicí stanice v městě Bolzano jsou uvedeny v Tab. 6.1.

Město Bolzano, resp. provozovatel veřejné autobusové dopravy Sasa SpA, si pořídilo v rámci projektu 5 autobusů poháněných palivovým článkem a jednu plnicí stanici s lokální výrobou vodíku. Všech 5 autobusů bylo značky Mercedens-Benz, konkrétně model EvoBus se standardní délkou 12 m a celkovou váhou 13,2 t, který je zobrazen na Obr. 6.1.

Data z reálného provozu deklarovala spolehlivost vodíkových autobusů převyšující 89 % a na základě posledních dat z května 2019 bylo v rámci projektu najeto přes 1 milion km.

V roce 2019 provedlo město Bolzano novou objednávku na 12 autobusů na palivové články podporovaných projektem JIVE (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe) spolu-financované ze zdrojů EU. Společnost Solaris z Polska byla jedinou společností, která podala nabídku na poptávané řízení, a to ve výši 12,8 milionu EUR. Nabídka byla na dodání 12 autobusů poháněných palivovými články včetně smlouvy na 8-letý balíček údržby a oprav. Solaris poprvé dodá svůj nejnovější model Solaris Urbino 12 hydrogen, jedná se o 12 metrů dlouhý autobus s kapacitou 87 cestujících s délkou dojezdu na jedno doplnění 350 km.

Autobus model Urbino hydrogen bude vybaven dvěma elektrickými motory, jedním o výkonu 60 kW a druhým o výkonu 125 kW, baterií 29,2 kWh, palivovým článkem 60 kW a pěti kompozitními nádržemi, každá o objemu 312 l (celková kapacita vodíku je 36,8 kilogramů). Očekává se, že tyto

nové autobusy s palivovými články, které budou v Bolzanu spravovány společností SASA - Società Autobus Servizi d'Area S.p.A., budou uvedeny do provozu do roku 2021.

Obr. 6.1: Vodíkový autobus v městě Bolzano

Základní technické parametry plnicí stanice v Bolzanu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6.1 Základní parametry plnicí stanice v Bolzanu

Město	Denní kapacita lokální výroby vodíku (elektrolýza) [kg H2]	Pravidelné zavážení vodíku	Denní plnicí kapacita [kg H2]	Počet autobusů	Spolehlivost plnicí stanice	Opex [EUR]	Celkově dieselu nahrazeno [L]	Rychlost plnění [kg/min]
Bolzano	390	Ne	350	5	>99 %	12 - 28	239 672	2,8

- **Projekt v Pau, Francie [36], [37]:**

Dne 6. září byl slavnostně zahájen provoz vodíkových autobusů (Obr. 6.2) ve francouzském městě Pau. Samotný projekt byl koordinován konsorciem provozovatelů veřejné dopravy (Pau Béarn Pyrénées Mobilités) a místním provozovatelem autobusové dopravy (Idelis). Celkově byl projekt koncipován jako kompletní dodávka veškeré technologie, tedy vodíkových autobusů a plnicí stanice s on-site elektrolytickou výrobou vodíku. Parametry vodíkové plnicí stanice jsou uvedeny v Tab. 6.2.

Finálním dodavatelem v rámci veřejné zakázky se stalo konsorcium společností Van Hool (dodavatel vodíkových autobusů Fébus), ITM Power (dodavatel technologie plnicí stanice a elektrolyzéru) a společnosti ENGIE/GNVert, která je odpovědna za údržbu plnicí stanice po dobu 15 let.

Projekt byl částečně kofinancován organizací FCH-JU (společný podnik pro vodík a palivové články) a regiónem Nouvelle-Aquitaine. Celkové náklady projektu činili 74,5 milionů EUR, ze kterých majoritu (50 milionů EUR) tvořily náklady na stavební úpravy plánované trasy a zvelebení okolí. Pro pořízení 18 m dlouhých autobusů bylo alokováno 10 milionů EUR a na výstavbu plnicí stanice s lokální výrobou vodíku 4,5 milionů EUR.

Obr. 6.2: Vodíkový autobus Fébus od společnosti Van Hool [38]

Základní technické parametry plnicí stanice v Pau jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6.2: Základní parametry plnicí stanice v Pau

Město	Denní kapacita lokální výroby vodíku (elektrolýza) [kg H2]	Pravidelné zavážení vodíku	Denní plnicí kapacita [kg H2]	Počet autobusů	Spolehlivost plnicí stanice	Opex [EUR]	Celkově dieselu nahrazeno [L]	Rychlost plnění [kg/min]
Pau	174–268	Ne	174–268	8	-	-	-	-

- **Projekt v Kolíně nad Rýnem, Německo [38], [39]:**

V rámci německého města Kolín nad Rýnem byly v první fázi testovány 4 autobusy. V rámci celoevropského projektu CHIC bylo cílem společně s vodíkovou plnicí stanicí otestovat v reálném provozu vodíkové elektrobusy dvou délek. V první fázi byly pořízeny dva autobusy délky 13 m (viz Obr. 6.3) a realizována vodíková plnící stanice o parametrech uvedených v Tab. 6.3. V další fázi (od května 2014) byly do provozu zařazeny další dva vodíkové autobusy o délce 18 m.

V obou případech se jednalo o autobusy vybavené palivovým článkem o výkonu 150 kW od kanadského výrobce Ballard a disponující zásobními vodíkovými lahvemi o kapacitě 40 kg poskytující dojezd až 350 km na jedno naplnění. V prvním případě (13 m) byl palivo-článkový systém hybridizován bateriemi typu Li-Ion o kapacitě 24 kWh. V případě 18,5 m dlouhých autobusů byly pro hybridizaci použity NiMH baterie společně s ultrakapacitory o celkové kapacitě 28 kWh (26+2).

Zajímavostí je, že zatímco v případě 18,5 m dlouhých autobusů byla disponibilita pouze 39 % a vlivem velké hmotnosti vozidel (20 t) též vysoká spotřeba vodíku na úrovní 16,5 kg/100 km, v případě 13 m dlouhých autobusů bylo dosaženo disponibility téměř 85 % a spotřeby téměř o 20 % nižší (13,7 kg vodíku/100 km).

V návaznosti na výše uvedený projekt CHIC bylo rozhodnuto o dalším pořízení vodíkových autobusů v rámci projektů JIVE a JIVE2 (30 + 15 autobusů) pro region měst Kolín nad Rýnem a Wuppertal. Deset z těchto autobusů bylo již dodáno v průběhu ledna 2020 a další budou následovat v únoru až květnu. Dodavatelem těchto autobusů bude výrobce Van Hool a půjde o 12 m dlouhých autobusy typu A330 s dojezdem 350 km.

Obr. 6.3: Vodíkové autobusy (13 m) provozované v Kolíně nad Rýnem

Základní technické parametry plnicí stanice v Kolíně nad Rýnem jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6.3: Základní parametry plnicí stanice v Kolíně nad Rýnem (2011, výrobce Air Products)

Město	Denní kapacita lokální výroby vodíku (elektrolýza) [kg H_2]	Pravidelné zavážení vodíku	Denní plnicí kapacita [kg H_2]	Počet autobusů	Spolehlivost plnicí stanice	Opex [EUR]	Celkově dieselu nahrazeno [L]	Rychlost plnění [kg/min]
Kolín nad Rýnem	Bez výroby	Ano	350	4	>96 %	12-28	113 100	2,1

6.2 Přehled parametrů realizovaných projektů FCEB vč. popisu zajištění vodíku

Cílem této podkapitoly je prezentovat širokou škálu již provozovaných autobusů a plnicích stanic v západoevropských městech. Nabídka vodíkových autobusů je již bohatá a provozovatelé si mohou volit optimální model dle požadavků vybrané linky, kterou by měl autobus obsluhovat, tzn. je nutné porovnat požadovaný dojezd a výkon autobusů. Technické a provozní parametry autobusů provozovaných v jednotlivých městech jsou uvedeny v Tab. 6.4.

Plnicí stanice pořízené jakožto součást demonstračních projektů disponovaly ve dvou případech lokální výrobou vodíku elektrolytickým rozkladem vody. Je nutné konstatovat, že se jedná o města, která měla možnost pro výrobu vodíku používat elektrickou energií z obnovitelných zdrojů. Komplexnost plnicí stanice s lokální výrobou vodíku je výrazně větší než externí zásobování vodíkem a nese se sebou přidané riziko poruchy jednoho z technologických celků. Nicméně ve městě Bolzano byla demonstrovaná spolehlivost plnicí stanice převyšující 99 %. Srovnání jednotlivých plnicích stanic pořízených v rámci projektů je uvedeno v Tab. 6.5.

Tab. 6.4: Základní parametry vodíkových autobusů v rámci zmíněných projektů

Klíčové informace	Jednotka	1	2	3	4
Dodavatel	-	Mercedes-Benz	Van Hool	Van Hool	APTS
Model	-	EvoBus	Fébus		
Město	-	Bolzano	Pau	Kolín	Kolín
Délka autobusu	m	11,95	18,23	13,16	18,49
Hmotnost	kg	13200	19100	15700	20590
Počet cestujících	ks	76	125	101	96
Počet náprav	ks	2		3	3
Výkon elektromotoru	kW	2 x 120	200	2 x 85	240
Výrobce palivového článku	-	AFCC	Ballard	Ballard	Ballard
Výkon palivového článku	kW	120	100	150	150
Přídavný zdroj energie	-	Li-Ion baterie	Li-Ion baterie	Li-Ion baterie	NiMH a superkapacitory
Max. výkon baterií	kW	250	?	120	200
Max. kapacita baterií	kWh	26,9	?	24	26
Počet tlakových nádob na vodík	ks	7	?	8	8
Množství vodíku	kg	35	?	40	40

Tab. 6.5: Srovnání plnicích stanic pořízených v rámci zmíněných projektů

Město	Denní kapacita lokální výroby vodíku (elektrolýza) [kg H2]	Pravidelné zavážení vodíku	Denní plnicí kapacita [kg H2]	Počet autobusů	Spolehlivost plnicí stanice	Opex [EUR]	Celkově dieselu nahrazeno [L]	Rychlost plnění [kg/min]
Bolzano	390	Ne	350	5	>99 %	12–28	239 672	2,8
Pau	174–268	Ne	174–268	8	-	-	-	-
Kolín nad Rýnem	Bez lokální výroby	Ano	350	4	>96 %	12–28	113 100	2,1

6.3 Predikce budoucího vývoje

- **Rozvoj trhu vodíkových vozidel**

Rozvoj v oblasti vodíkových autobusů představuje klíčovou prioritu celkové strategie ČR v oblasti vodíkové mobility. Národní akční plán Čisté mobility (**NAP CM) v této oblasti cílí na dosažení 95 vodíkových autobusů k roku 2025 a 870 vodíkových autobusů k roku 2030.**

V oblasti **vodíkových autobusů** (FCEB) je situace na trhu optimistická, existuje řada společností, které se věnují vývoji autobusů a cílí na sériovou výrobu. Mezi hlavní aktéry tohoto trhu patří společnosti **Van Hool, Daimler** a **Toyota**, pozadu není ani střední Evropa, kde v této technologii figurují **Solaris** a ÚJV Řež (prototyp TriHyBus společně s partnery)**.** Cenová hladina jednoho FCEB pro evropský trh je v současnosti 625–650 tis. EUR (asi 17 mil. Kč), což v porovnání s 90. léty představuje pokles o 76 %. Do budoucna se předpokládá pokles na 570–600 tis. EUR v roce 2020, dále pak na 420–450 tis. EUR v roce 2025 a v roce 2030 na 400–450 tis. EUR.

Autobusová doprava vykazuje značný potenciál pro rozvoj vodíkové mobility, což dokládá 30 demonstračních projektů, které byly v této oblasti v posledních letech zrealizovány. Díky podpoře v rámci Horizon 2020 a iniciativě JIVE 1 a JIVE 2 (**Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe**) se podařilo jen v roce 2017 rozmístit 142 vodíkových autobusů do 9 evropských lokalit. Aktuálně nejvíce objednávek v oblasti vodíkových autobusů má **Německo.** Dlouhodobým podporovatelem vodíkových autobusů je také **Nizozemsko.**

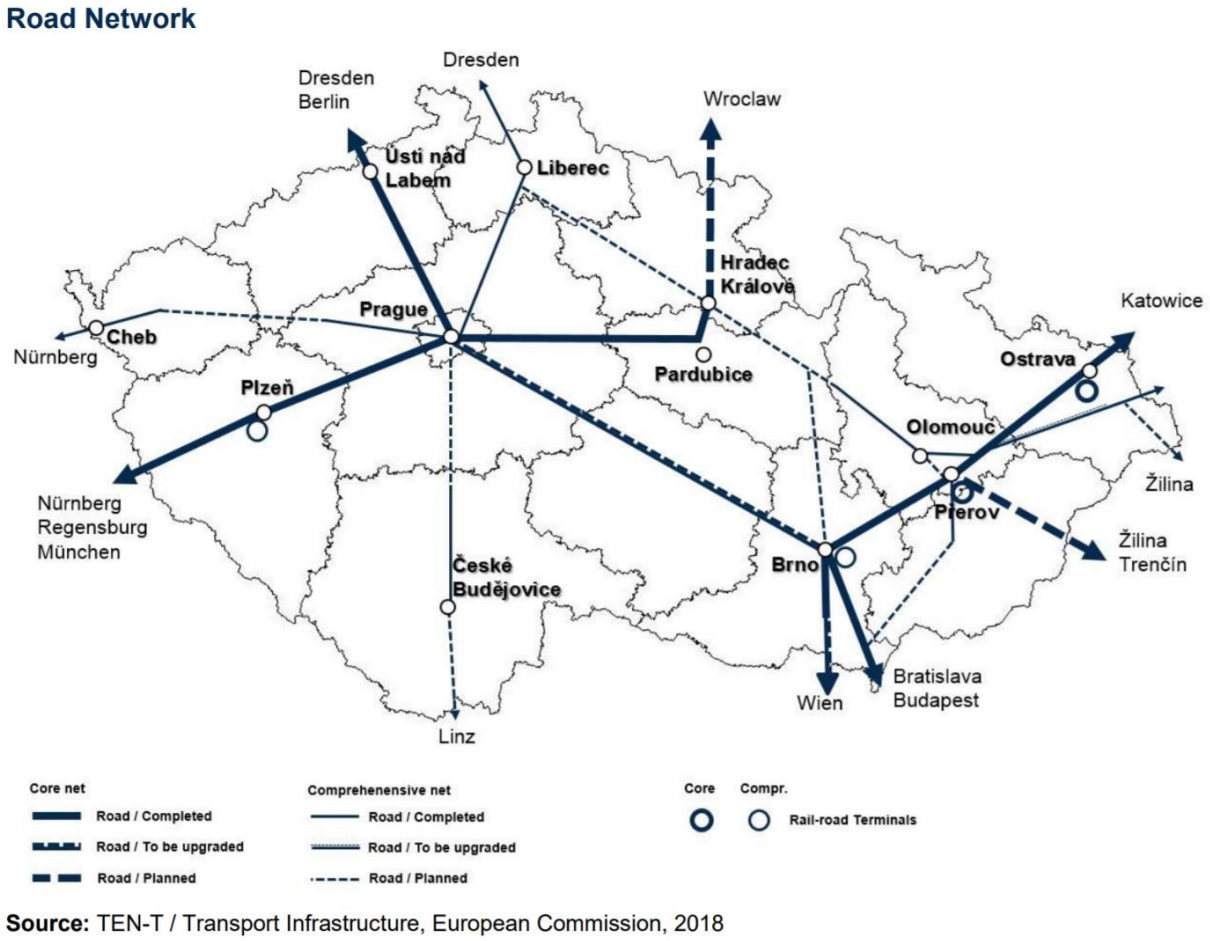
Jedním z nejvýznamnějších producentů vodíkových autobusů je společnost Zhongtong Bus, která v roce 2018 vyrobila 790 vozidel s palivovými články a 20 autobusů. Celkově se v Číně očekává, že do roku 2025 bude na silnicích jezdit 100 000 vozidel na vodíkový pohon.

- **Rozvoj infrastruktury vodíkových plnicích stanic**

Cílovou hodnotou dle NAP CM pro rok 2025 v rámci ČR je zbudování 15 vodíkových plnících stanic. Tento počet vodíkových stanic lze stanoven jako naprosté minimum pro řádný rozjezd vodíkové mobility v ČR a daná infrastruktura bude (např. po vzoru Německa) vznikat bez ohledu na to, jaký bude v ČR další vývoj v tomto segmentu trhu. Do roku 2030 by mělo vzniknout až 80 vodíkových plnících stanic, přičemž tento cíl bude ještě upřesněn v další aktualizaci NAP CM v návaznosti na další vývoj na trhu vodíkových vozidel nejen v ČR ale i v celé EU.

Speciálním bodem zájmu bude dle NAP CM státní podpora neveřejných vodíkových plnících stanic, které budou využívány především ze strany dopravních podniků, nákladní dopravy nebo třeba velkých firemních flotil. Neveřejné plnící stanice skýtají řadu výhod ať už v efektivitě provozu (otevírací doba nemusí být 24/7, plánování importu či výroby vodíku) nebo v dispozičním řešení samotné stanice.

Plánované lokality pro výstavbu vodíkových stanic jsou zobrazeny na Obr. 6.4.



Obr. 6.4: Plán vodíkové infrastruktury v České republice, 2018 [40]

6.4 Porovnání nákladů různých pohonů (H2/CNG/Elektromobilita)

Cílem této kapitoly je prezentovat srovnání typických provozních nákladů dieselových, CNG, bateriových a vodíkových autobusů za ekvivalentních provozních podmínek.

- **Modelová situace provozu autobusu:**
  - Velikost autobusu: Standardní 12 m dlouhý nízkopodlažní autobus
  - Životnost autobusu: 15 let
  - Typický denní provoz: 200 km
  - Roční provoz: 300 dní v roce, 60 000 km jeden autobus ročně
  - Nájezd km za dobu životnosti: 900 000 km

- **Specifika:**
  - Diesel a CNG: Od zavedení prvního evropského emisního standardu pro vozidla se spalovacím motorem v roce 1992 se průběžně v přibližně 5-letých intervalech snižují přípustné emisní limity v rámci evropské legislativy. V budoucnosti budou spalovací motory plně nahrazeny bez-emisními technologiemi, které jsou v souladu s Pařížskou dohodou o změně klimatu.
  - Baterie: v současnosti má bateriový elektrický autobus kratší dojezd a neumožňuje splnit denní dopravní výkon, pokud není během dne dobíjen v dělených směnách.
  - Vodík: elektrické autobusy s palivovým vodíkovým článkem vyžadují pro svůj provoz vodíkovou plnicí stanici. V Tab. 6.6 je náklad na vodíkovou plnicí stanici zohledněn ve výsledné ceně vodíku.

- **Typické náklady na provozování autobusu**

Následující Tab. 6.6 poskytuje přehled typických nákladů pro jednotlivé typy pohonů autobusů:

Tab. 6.6: Typické náklady na provoz autobusů v EUR a CZK (1)

Technologie pohonu	Diesel	CNG	Baterie	Vodík
Investiční náklady	260 000 EUR *6 691 880 CZK*	293 000 EUR *7 541 234 CZK*	550 000 EUR *14 155 900 CZK* ⇘ bude klesat	600 000 EUR *15 442 800 CZK* ⇘ bude klesat
Dodatečné náklady způsobené dlouhým dobíjením	-	-	*+30 % za ekvivalentní denní dopravní výkon*	-
Údržba	0,13 EUR/km 7 800 EUR/rok *3,35 CZK/km* *200 756 CZK/rok*	0,21 EUR/km 12 600 EUR/rok *5,40 CZK/km* *324 298 CZK/rok*	0,6 EUR/km (2) 36 000 EUR/rok *15,44 CZK/km* *926 568 CZK/rok*	0,17 EUR/km 10 000 EUR/rok *4,3 CZK/km* *257 380 CZK/rok*
Cena paliva v 2019	0,95 EUR/L *24,45 CZK/L* ⇗ bude růst	0,4 EUR/kg *10,3 CZK/kg* ⇗ bude růst	0,2 EUR/kWh *5,1 CZK/kWh*	10 EUR/kg *257,4 CZK/kg* ⇘ bude klesat
Typická spotřeba paliva	37,6 L/100 km	48 kg/100 km	142 kWh/100 km	9 kg/100 km
Cena paliva na 100 km	35,7 EUR/100 km *918 CZK/100 km*	19,2 EUR/100 km *494 CZK/100 km*	28,4 EUR/100 km *730 CZK/100 km*	90 EUR/100 km *2316 CZK/100 km*
Celková cena paliva za dobu životnosti autobusu (900 000 km)	321 000 EUR (3) *8 269 619 CZK*	173 000 EUR (3) *4 447 526 CZK*	255 000 EUR (3) *6 578 632 CZK*	810 000 EUR (3) *20 847 780 CZK*

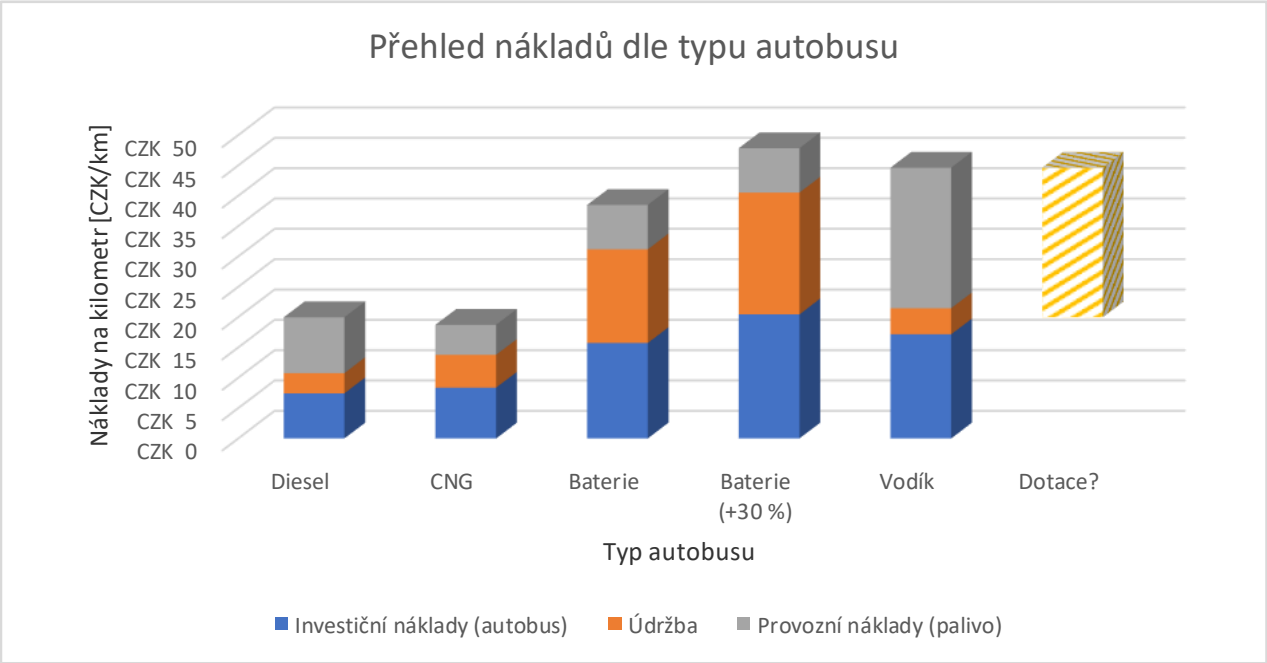
(1) Ekvivalent v českých korunách byl vypočten použitím průměrného směnného kurzu za 3. kvartál 2019 dle ČNB.

(2) Zahrnuto pořízení jednoho nového battery-packu

(3) Celková cena paliva je vypočtena použitím fixních palivových nákladů. Cena diesel a CNG bude mít tendenci v následujících letech růst, zatímco u vodíku se předpokládá opačný trend.

Detailnější přehled nákladů by měl zohlednit specifické podmínky lokality, období, v němž byla investice realizovaná, volatilitu ceny paliva atp. Uvedená tabulka prezentuje pouze zjednodušený přehled.

Graf na Obr. 6.5 přehledně srovnává náklady na kilometr pro jednotlivé technologie pohonu autobusů.



Obr. 6.5: Přehled nákladů na kilometr, dle typu pohonu

Z přehledu je zřejmé, že celkové náklady na provoz vodíkových autobusů jsou dvojnásobné ve srovnání s náklady stávajících dieselových a CNG autobusů. Pokud jsou zohledněny dodatečné náklady (30 %) pro provozování bateriových autobusů (dodatečné bateriové autobusy pro pokrytí plánovaného dopravního výkonu a dlouhé dobíjecí doby bateriových autobusů), tak jsou celkové náklady na provoz bateriových a vodíkových autobusů srovnatelné při celodenním provozu a celkovém nájezdu větším než 200 km.

7 Doporučení a další postup

Dopravní sektor je jedním z největších přispěvatelů k emisím, na celkových emisích skleníkových plynů v EU se podílí až z 27 %. Legislativa evropských zemí se postupně snaží o snížení emisí ať už zavedením penalizací za jejich uvolňování tak zaváděním finančních podpůrných nástrojů určených pro rozvoj čisté mobility. Vodíkové autobusy jsou v dnešní době již vyzkoušenou bezemisní technologií s výhodou rychlého plnění a dlouhého dojezdu. V současnosti je hlavní překážkou pro jejich širší nasazení zejména absence potřebné plnicí infrastruktury a celkové náklady vlastnictví (TCO), které jsou prozatím vyšší než u konvenčních technologií (diesel, CNG). Z těchto důvodu se Evropská komise, Česká vláda a regiony rozhodly podporovat rozvoj vodíkových technologií a vytvoření plnicí infrastruktury. Postupným rozvojem, resp. širším zaváděním vodíkových technologií se daří postupně snižovat cenu vodíku a investiční náklady na pořízení vodíkového autobusu. Je tedy možné očekávat, že v nejbližší dekádě se vodíkové autobusy stanou konkurenceschopnou bezemisní technologií.

Faktory, které přispívají k úspěšnému nasazení flotily vodíkových autobusů, zprovoznění plnicí stanice, jsou zajištění zdroje/výroby vodíku, přesná specifikace požadavků provozovatele a efektivní projektový management. Navzdory tomu, že každý demonstrační projekt má svá lokální specifika, je možné na základě zkušeností formulovat doporučení, které městům umožní vyhnout se některým komplikacím. Doporučené členění projektu pro zavedení vodíkových autobusů do měst je rozděleno na dvě fáze a formulováno dle „Fuel Cell Electric Buses“ v Tab. 7.1:

Tab. 7.1: Členění projektu

Zahájení projektu	Navázaní diskuze s lokálními zájmovými skupinami (stakeholdery) za účelem stanovení realistického rozpočtu, financování, finálního počtu autobusů a pro identifikaci relevantních dodavatelů. V každém případě je včasné a proaktivní zapojení koncového provozovatele klíčové, a to zejména z toho důvodu, že se zatím nejedná o standardní technologií a je tedy zapotřebí koordinovat spolupráci všech partnerů projektu.
Příprava na pořízení autobusů	Seznámení se s relevantními předpisy, normami, riziky a hledání strategických partnerů pro pořízení autobusů s robustním plánem implementace.
Pořízení autobusů	Příprava tendru s detailními specifikacemi na základě požadavků provozovatele.
Dodání autobusů	Koordinace s projektovými partnery a dodavatelem plnicí infrastruktury pro úspěšné uvedení autobusů do provozu.

Lze konstatovat, že Ústecký kraj již absolvoval první kroky na cestě k zavedení vodíkové mobility v rámci kraje. Jedním z prvních kroků, které Ústecký kraj uskutečnil, bylo naplánování výstavby vodíkové plnicí stanice v bezprostřední blízkosti dopravního podniku města Ústí nad Labem a další plnicí stanice v Záluží u Litvínova. Plnicí stanice poskytnou potřebný základ pro nastartování prvotních projektů a zároveň sníží investiční náročnost ve srovnání s projekty, u kterých je nutné budovat také infrastrukturu. Druhým krokem bylo získání lokálních zainteresovaný subjektů v oblasti vodíkových technologií v rámci vodíkové platformy Ústeckého kraje. Tohle propojení umožní efektivní zapojení relevantních partnerů do projektů rozvíjejících vodíkovou mobilitu, resp. vodíkové technologie v kraji.

Závěrem Etapy 1 lze uvést, že technologie vodíkového pohonu je z technického hlediska připravena pro nasazení do reálného provozu, což bylo demonstrováno v řadě projektů v rámci Evropy. Náklady na ujetý kilometr však značně převyšují konvenční řešení a je proto žádoucí zajistit dotační podporu pro významné prvky celého řetězce (investiční náklady autobusů a plnící stanice, případná provozní podpora pro provoz autobusů nebo výrobu zeleného vodíku), stejně jako pokusit se nalézt vhodný lokální zdroj levného vodíku. V tomto ohledu je Ústecký kraj jedním z nejperspektivnějších v rámci České republiky, jelikož disponuje značnou kapacitou vodíku vznikajícího jako vedlejší produkt chemického průmyslu u lokálních společností.

Jako další krok bude zpracována navazující Etapa 2 pro identifikaci konkrétní aplikace využití bezemisní vodíkové mobility v rámci Ústeckého kraje. Pro prvotní demonstrační projekt je obvykle vhodné pořízení vodíkových autobusů v počtu jednotek kusů pro seznámení provozovatele s provozními specifiky těchto autobusů. Součástí by měla být rozvaha a výběr optimálních linek a jejich provozovatelů v rámci obsluhovaného území, upřednostňovány jsou hlavně delší linky, kde je možné vidět benefit delšího dojezdu ve srovnání s bateriovými elektrobusy. Provozování vodíkových autobusů nese s sebou potřebu úpravy depa a servisních míst pro zajištění bezpečnosti práce techniků. Uvedené skutečnosti budou dále rozvíjeny v rámci Etapy 2 pro konkrétní lokalitu. Druhá etapa bude také zahrnovat detailní případovou studií specifickou pro dopravce operující v Ústeckém kraji se základním popisem projektu, návrhem technických parametrů, popisem dodavatelského řetězce a kvantifikaci nákladů. Důležitým faktorem bude zejména identifikace lokalit, kde bude mít prvotní zavedení veřejné vodíkové dopravy největší efekt.

Reference

[1] National Action Plan for Clean Mobility. 2016. MPO.
https://www.mpo.cz/en/industry/manufacturing-industry/automotive-industry/national-action-plan-for-clean-mobility--179151/

[2] CHIC Project. FUEL CELL ELECTRIC BUSES: A PROVEN ZERO-EMISSION SOLUTION KEY FACTS, RESULTS, RECOMMENDATIONS. 2016. Fuel Cell Electric Buses.

https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/CHIC_publication_final_0.pdf

[3] Fuel Cell & Hydrogen Energy Basics. 2019. FCHEA.

http://www.fchea.org/h2-day-2019-events-activities/2019/8/1/fuel-cell-amp-hydrogen-energy-basics

[4] VAN HECKE, Geert. VanHool Fuel Cell. 2018. European Commission.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/7._presentation_van_hool.pdf

[5] Využití vodíkového pohonu v dopravě v České republice. 2017. Ministerstvo Dopravy České Republiky

[6] Transport Energy Model Report, Moving Britain Ahead. June 2018. Department for Transport.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/739462/transport-energy-model.pdf

[7] L'opportunité bus électriques à hydrogène. 2018. Element Energy Ltd.

http://www.afhypac.org/documents/divers/Pr%C3%A9sentation%20de%20l%27opportunit%C3%A9%20bus%20%C3%A9lectriques%20%C3%A0%20hydrog%C3%A8ne%20-%2008.01.2018.pdf

[8] Metodický postup pro měření emisí motorových vozidel. 05.2017. Ministerstvo dopravy.

https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/SME/Metodicky-postup-pro-mereni-emisi-motorovych-vozid?returl=/Dokumenty/Silnicni-doprava/SME

[9] Inspection manual. Luxfer Carbon.

https://www.scubaengineer.com/pictures/scba_cylinders/luxcompinspectmanual.pdf

[10] Ballard unveils 8th generation fuel cell module for heavy duty motive market: FCmove-HD. 06.2019. Green car congress.

https://www.greencarcongress.com/2019/06/20190610-ballard.html

[11] List of Suppliers. Fuel Cell Electric Buses.

https://www.fuelcellbuses.eu/suppliers

[12] ISO/TS 19880:2016 - New technical document for hydrogen stations. 2016. Green Car Congress.

http://www.greencarcongress.com/2016/07/20160705-iso.html

[13] Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2. 2017. SHELL HYDROGEN STUDY.

https://www.shell.com/energy-and-innovation/new-energies/hydrogen/_jcr_content/par/keybenefits_150847174/link.stream/1496312627865/6a3564d61b9aff43e087972db5212be68d1fb2e8/shell-h2-study-new.pdf

[14] New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots. High-Level Techno-Economic Project Summary Report. 2017. New Bus Fuel.
http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2015/09/NBF_SummaryReport_download.pdf

[15] New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots. Guidance Document on Large Scale Hydrogen Bus Refuelling. 2017. New Bus Fuel.
http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2017/03/NewBusFuel_D4.3_Guidance-document-for-large-scale-hydrogen-refuelling_final.pdf

[16] Hydrogen Refuelling Infrastructure. . Hydrogen Mobility Europe.

http://h2me.eu/about/hydrogen-refuelling-infrastructure/

[17] Urban buses: alternative powertrains for Europe. 2012. GPPQ.

http://www.gppq.fct.pt/h2020/_docs/brochuras/fch-ju/20121029%20urban%20buses,%20alternative%20powertrains%20for%20europe%20-%20final%20report_0.pdf

[18] Orly : la deuxième station à hydrogène de la région est près de l'aéroport. 12.2017. Le Parisien.

http://www.leparisien.fr/orly-94310/orly-la-deuxieme-station-a-hydrogene-de-la-region-est-pres-de-l-aeroport-06-12-2017-7436496.php

[19] Ile-de-France : une troisième station à hydrogène inaugurée à Versailles. 03.2018. Breezcar.

https://www.breezcar.com/actualites/article/versailles-station-distribution-hydrogene-air-liquide-0318

[20] Comparative Analysis of Infrastructures Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles. 2018. Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik.

https://juser.fz-juelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf

[21] Déployer les stations hydrogène dans votre territoire. 2018. AFHYPAC, FNCCR.

http://www.afhypac.org/documents/divers/GUIDE-STATION-HYDROGENE-WEB.pdf

[22] Hydrogen Technologies. 2018. ÚJV Řež, a.s.
https://www.ujv.cz/en/products-and-services-1/non-nuclear-energetics/hydrogen-technology

[23] AFC TCP 2019 Survey on the Number of Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Refueling Stations and Targets. 2019. IEA Technology Collaboration Programme.

https://www.ieafuelcell.com/fileadmin/publications/2019-04_AFC_TCP_survey_status_FCEV_2018.pdf

[24] Metodika výstavby a provozu plnicích stanic stlačeného vodíku pro mobilní zařízení. 12.2018. UJV Rez, a.s., APT, spol. s.r.o.

https://www.hzscr.cz/soubor/metodika-vystavby-h2-stanic-2019-final-pdf.aspx

[25] ČSN EN 45020 Normalizace a související činnosti – Všeobecný slovník

[26] ZÁKON č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

[27] VYHLÁŠKA č. 21/1979 Sb.

[28] Hydrogen Production: Natural Gas Reforming. Fuel Cell Technologies Office.

https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming

[29] Hydrogen Solutions. Siemens.

https://new.siemens.com/global/en/products/energy/renewable-energy/hydrogen-solutions.html

[30] Chloralkali process. 12.2019. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Chloralkali_process

[31] Hydrogen Europe: members and projects. Hydrogen Europe.

https://hydrogeneurope.eu/

[32] Strategies for joint procurement of fuel cell buses. Final report. 2016. The FCH JU.
https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Strategies%20for%20joint%20procurement%20of%20FC%20buses_0.pdf

[33] Fuel Cell Electric Buses. Projects. 2018. Fuel Cell Electric Buses.

https://www.fuelcellbuses.eu/projects/

[34] Clean Hydrogen in European Cities, Final report. 02.2017. CHIC.

https://fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Final%20Report_CHIC_28022017_Final_Public.pdf

[35] Performance Data. 05.2019. Fuel Cell Electric Buses.

https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/performance-data-performance-data/performance-data

[36] Fébus : le bus à hydrogène est arrivé à Pau. 09.2019. H2 Mobilité.

https://www.h2-mobile.fr/actus/febus-bus-hydrogene-arrive-pau/

[37] Le premier véhicule arrive à Pau. 09.2019. Fébus.

https://www.pau.fr/allmedias/docs/20190906-DP-Arriv-e-F-bus.pdf

[38] Presentation of emerging conclusions. 10.2015. CHIC.

https://3emotion.eu/sites/default/files/documents/CHIC%20Emerging%20Conclusions__for%203Emotion.pdf

[39] First pictures of the fuel cell bus in cologne region unveiled. 06.2019. Fuel Cell Electric Buses.

https://www.fuelcellbuses.eu/public-transport-hydrogen/first-pictures-fuel-cell-bus-cologne-region-unveiled

[40] Czech Invest. Transport Infrastructure. 2018. Czech Invest.
https://www.businessinfo.cz/app/content/files/engdocs/fs-16-transport-infrastructure.pdf