



ÚJV-20SMP075

7/2020

divize 1500

oddělení 1502

Technicko-ekonomické posouzení implementace vodíkového pohonu v Ústeckém kraji

Etapa 2





© **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	9
1 Rekapitulace závěrů Etapy 1	11
2 Vodíkové autobusy (FCEB)	15
2.1 Požadavky na garážování a servis	15
2.1.1 Legislativní rámec ČR a EU	15
2.1.1.1 Další legislativa EU	15
2.1.1.2 Technické normy ISO	16
2.1.1.3 Národní normy	17
2.1.1.4 Legislativa ČR	17
2.1.1.5 Další zákony	18
2.2 Další využití vodíkových pohonů	19
3 Vodíkové plnicí stanice	22
3.1 Posouzení vhodnosti vybraných lokalit	23
3.1.1 Ústí nad Labem	24
3.2 Bezpečnostní koncept	28
3.2.1 Identifikovaná nebezpečí pro vodíkové plnicí stanice	29
3.3 Možní dodavatelé vodíkových plnicích stanic	32
3.3.1 Velcí dodavatelé	32
3.3.2 Menší výrobci	34
3.4 Investiční a provozní náklady	34
3.5 Údržba, servis a pravidelné revize	36
3.6 Soupis požadavků pro stavební řízení	37
4 Výroba vodíku	39
4.1 Variantní posouzení (on-site výroba, dovoz vodíku)	39
4.1.1 Externí zásobování	41

4.1.2	On-site výroba vodíku	41
4.1.3	Vodík jako vedlejší produkt	45
4.2	Popis logistiky	45
4.2.1	Transport stlačeného vodíku na návěsu	45
4.2.2	Transport potrubím	46
5	Ekonomické zhodnocení	47
5.1	Porovnání cen baterií a palivových článků	47
5.2	Porovnání nákladů na snížení emisí skleníkových plynů	49
6	Závěr	55
7	Bibliografie	56

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. 1 Popis jednotlivých částí stojanu vodíkové plnicí stanice (1).....	12
Obr. 2 Vodíkové plnicí stanice na počátku roku 2020 (2)	12
Obr. 3 Metařský vůz poháněný vodíkovým palivovým článkem používaný v Nizozemsku (3)	19
Obr. 4 Popelářský vůz poháněný vodíkovým palivovým článkem používaný v Nizozemsku (4)	20
Obr. 5 Vysokozdvížný vozík poháněný palivovým článkem (5).....	20
Obr. 6 ITI – Programové období 2021-2027 (9)	24
Obr. 7 Autobusový vozovna Dopravního podniku města Ústí nad Labem	25
Obr. 8 Čerpací stanice vodíku v Ústí nad Labem, zelený křížek označuje již naplánovanou čerpací stanice, červený označuje potenciálně vhodné místo další čerpací stanice	26
Obr. 9 Popis jednotlivých cest první a druhé vybrané linky, vhodných pro implemetaci vodíkových autobusů	27
Obr. 10 Popis jednotlivých cest třetí vybrané linky, vhodné pro implementaci vodíkových autobusů	28
Obr. 11 Cena baterií používaných v současných elektromobilech (14)	47
Obr. 12 Ceny palivových článků.....	48
Obr. 13 CCS metoda schéma 1	50
Obr. 14 CCS metoda schéma 2	50
Obr. 15 CCS metoda schéma 3	51
Obr. 16 Emise oxidu uhličitého u různých druhů pohonu autobusů (17).....	52
Obr. 17 Náklady za výrobu a distribuci vodíku (bez pořizovacích nákladů za autobusy) na ujetý kilometr vs cena elektřiny	53
Obr. 18 Náklady za výrobu a distribuci vodíku (bez pořizovacích nákladů za autobusy) na ujetý kilometr vs nákupní cena vodíku z průmyslu.....	54

Seznam tabulek

Tab. 4.1: Srovnání komerčně dostupných elektrolyzérů	43
Tab. 5.1 Teoretické zvýšení ročních nákladů oproti dieselovému pohonu	52

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 (<https://smlouvy.gov.cz/smlouva/12077256>).

■ Popis

Cílem této studie je posoudit možnosti využití bezemisní vodíkové mobility a zpracovat dokumentaci včetně všech nalezených zdrojů informací o technických a ekonomických údajích. Výsledkem studie bude návrh vhodného řešení pro implementaci vodíkového pohonu do veřejné dopravy v České republice.

■ Činnosti/Organizace

Provedení celé studie je realizováno ve dvou etapách:

- Etapu I Vypracování technickoekonomického 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 v případě její implementace.
- Etapu II V případě zájmu bude provedena 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 v české veřejné dopravě.

■ Důvěrnost

Výhradním vlastníkem či vykonavatelem všech vlastnických práv ke všem předmětům autorských práv, práv duševního vlastnictví, metodik, technik, nápadů, konceptů, obchodních tajemství a know-how, které jsou součástí této studie, je ÚJV Řež, a. s. Veškeré informace, které byly poskytnuty

v souvislosti s plněním smlouvy, jež byla podepsána mezi ÚJV Řež, a. s. a Ústecký kraj. Na základě této smlouvy je objednavatel Ústecký kraj oprávněn používat materiály a jejich kopie výhradně pro své vlastní interní účely, pokud ÚJV Řež, a. s. písemně nestanoví jinak.

1 Rekapitulace závěrů Etapy 1

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.

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

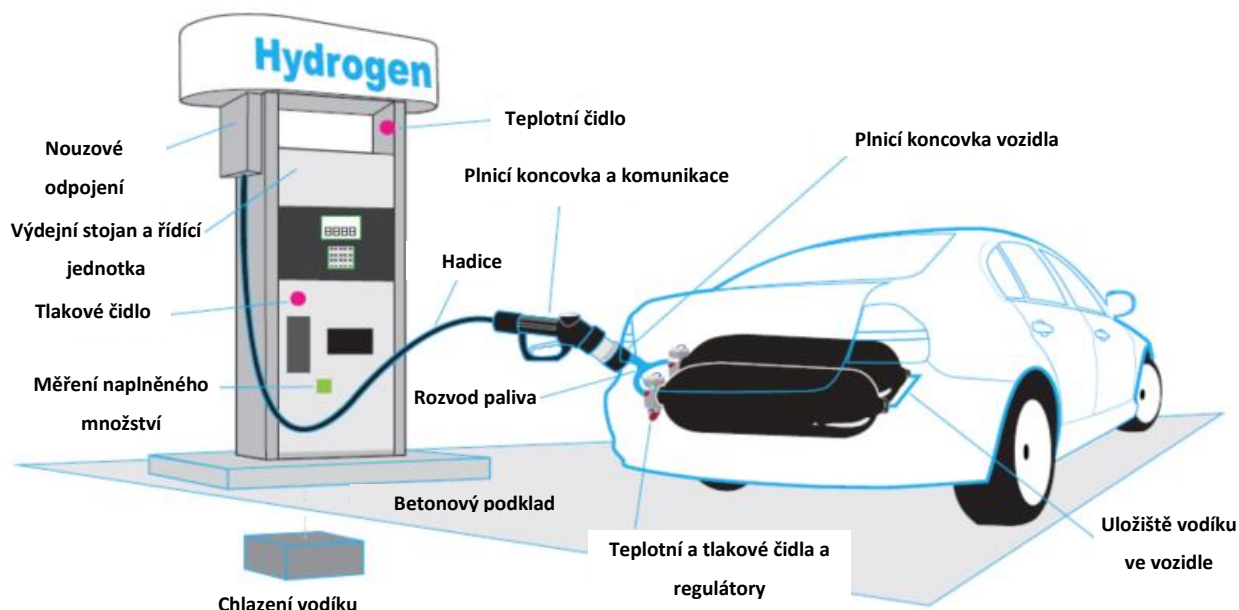
- ✓ nulové emise skleníkových plynů z autobusu, FCEB uvolňuje pouze vodu a teplo,
- ✓ autonomní dojezd až 450 km,
- ✓ rychlé doplňování paliva: 8-12 minut pro úplné doplnění umožňující 18 hodin nepřetržitého, provozu, bez nutnosti nočního nabíjení, jako u bateriových elektrobusů,
- ✓ flexibilita trasy: 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.

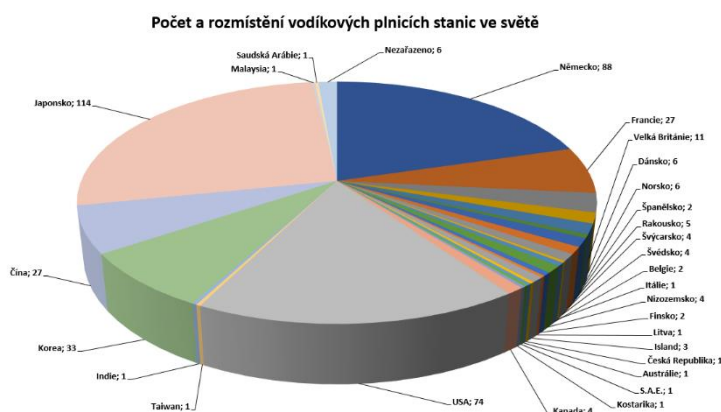
Schéma vodíkové plnicí stanice

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. 1 je vyobrazen výdejní stojan a jeho jednotlivé součásti spolu s vodíkovým automobilem.



Obr. 1 Popis jednotlivých částí stojanu vodíkové plnicí stanice (1)

Vodíkové stanice ve světě



Následující obrázek z IEA Fuel Cell ukazuje celkový počet vodíkových plnicích stanic po celém světě na začátku roku 2020. Po celém světě je v provozu celkem 432 plnicích stanic (veřejné i neveřejné). Nejvíce vodíkových plnicích stanic je v provozu v Japonsku (114), Německu (88) a USA (74), viz. Obr. 2

Obr. 2 Vodíkové plnicí stanice na počátku roku 2020 (2)

Druhy plnicích stanic

■ Plnicí stanice s vodíkem z parního reformingu

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

■ Plnicí stanice s vodíkem z elektrolyzéru

Plnicí stanice získává vodík za využití elektrolyzy vody. Velmi dobře kombinovatelné s fotovoltaikou.

■ Plnicí stanice se závozem vodíku (kamionem nebo potrubím)

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

■ Plnicí stanice napojená na nezávislý chemický průmysl

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

Možnosti financování

- **Mezinárodní:** The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking disponuje rozpočtem na podporu demonstračních projektů pokrývajících 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.

2 Vodíkové autobusy (FCEB)

2.1 Požadavky na garážování a servis

2.1.1 Legislativní rámec ČR a EU

Klíčovým dokumentem pro obor alternativních paliv je směrnice Evropského parlamentu a rady 2014/94/EU ze dne 22. října 2014, kterou měly členské státy povinnost implementovat do 18. 11. 2016.

Směrnice v oblasti vodíkové mobility především stanovuje, že členské státy, které se rozhodnou do svého vnitrostátního rámce politiky zahrnout veřejně přístupné vodíkové plnicí stanice zajistí, aby byl do 31. prosince 2025 dostupný přiměřený počet plnicích stanic.

Příloha II směrnice pak stanovuje také technické požadavky na plnicí stanice vodíku, čistotu vydávaného vodíku, algoritmy plnění paliva a přípojky (plnicí koncovky). Technické požadavky jsou specifikovány pomocí odkazů na mezinárodní normy (uvedeny níže).

V evropské legislativě je pak jedním z důležitých dokumentů sdělení Evropské komise týkající se strategie rozvoje nízkoemisní mobility jako reakci na zvyšující se emise skleníkových plynů z dopravy, a to v souladu s Bílou knihou, Pařížskou dohodou a Agendou 2030. Tento dokument představuje základní strategické body snížení emisní zátěže za souběžného zachování účinnosti systému dopravy, využití alternativních zdrojů a podpory dopravních prostředků s nízkými a nulovými emisemi. Z hlediska vodíkové mobility je tato strategie klíčová pro stanovení Evropského regulačního rámce a změn nutných pro usnadnění přechodu na nízkoemisní mobilitu (vybudování infrastruktury, investice do technologického rozvoje, stanovování cen v odvětví)

2.1.1.1 Další legislativa EU

Z hlediska vodíkové mobility je relevantní především níže uvedená legislativa:

- SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/46/ES, kterou se stanoví rámec pro schvalování motorových vozidel a jejich přípojných vozidel, jakož i systémů, konstrukčních částí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla.

Tato směrnice si klade za cíl harmonizovat a specifikovat prostřednictvím regulačních aktů. Definiuje technické požadavky použitelné na systémy, konstrukční části i samotné technické celky a vozidla

a definuje ustanovení o prodeji částí zařízení pro vozidla schválená v souladu s touto směrnicí a jejich uvádění do provozu. Hlavním cílem právních předpisů o schvalování vozidel je zajistit, aby nová vozidla, konstrukční části a samostatné technické celky uvedené na trh poskytovaly vysokou míru bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Směrnice také definuje míru ochrany spotřebitele a ukládá výrobcům hybridních vozidel koncové uživatele vozů náležitě informovat.

- Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 79/2009 o schvalování typu vozidel na vodíkový pohon a o změně směrnice 2007/46/ES.

Směrnice ES č. 79/2009 mění směrnicí ES č. 46/2007 ve věci legislativní úpravy pravomocí Evropské komise v oblasti schvalování typu vozidel na vodíkový pohon. Dále směrnice rozšiřují pravomoci ES ve věci stanovení požadavků a zkušebních postupů týkajících se nových forem skladování a užívání vodíku, přídatných vodíkových konstrukčních částí a pohonného systému. Komisi dále zmocňuje ke stanovení zvláštních postupů, zkoušek a požadavků s ohledem na ochranu při nárazu vozidel na vodíkový pohon a ke stanovení bezpečnostních požadavků na integrovaný systém. Směrnice taktéž definuje nové požadavky na výrobce vozidel na vodíkový pohon, zejména ty týkající se bezpečnostních a technických parametrů vozidel.

2.1.1.2 Technické normy ISO

Tabulka 1: Normy ISO (celkem 18 norem v gesci ISO/TC 197 Hydrogen Technologies) [64]

Norma	Dopad	Související
ISO 14687-2:2012 Hydrogen fuel -- Product specification -- Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles	Definuje kvalitativní požadavky na vodíkové palivo	VYHLÁŠKA 133/2010 Sb., 2014/94/EU
ISO/TS 19880-1:2016 Gaseous hydrogen -- Fuelling stations -- Part 1: General requirements	Definuje požadavky na veřejné a neveřejné plnicí stanice vodíku	2014/94/EU Zákon 183/2006 Sb.
ISO 17268:2012 Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices	Definuje technické požadavky na plnicí koncovky	ISO/TS 19880-1:2016
ISO/TS 20100	Definuje požadavky na veřejné a neveřejné plnicí stanice vodíku	

2.1.1.3 Národní normy

Tabulka 2: Národní normy

Norma	Dopad	Související
ČSN 07 8304 – Tlakové nádoby na plyny	Specifikují především požadavky na periodické revize zařízení	Vyhláška 18/1979 Sb.
ČSN 38 6405 – Plynová zařízení, zásady provozu		Vyhláška 18/1979 Sb.
ČSN 69 0012 - Tlakové nádoby stabilní		Vyhláška 18/1979 Sb.
ČSN P ISO/TS 19880-1 Plynný vodík - Čerpací stanice - Část 1: Obecné požadavky	Definuje požadavky na veřejné a neveřejné plnicí stanice vodíku	Převzetí originálu ISO/TS 19880-1:2016, vydání k 1. 3. 2017 v platnosti od 1. 4. 2017

2.1.1.4 Legislativa ČR

- **311/2006 Sb. zákon o pohonných hmotách a plnicích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů v platném znění;**

Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách v rámci příslušných předpisů ES (Evropského společenství) upravuje podmínky pro prodej a výdej pohonných hmot, registraci distributorů pohonných hmot, evidenci čerpacích stanic a požadavky na složení a jakost pohonných hmot (tedy jakýchkoliv paliv určených k pohonu vozidla). Zákon exaktně definuje nezbytné podmínky pro registraci distributora pohonných hmot a včetně věcného procesu registrace a provozu čerpacích stanic.

- **Návrh zákona o pohonných hmotách, čerpacích stanicích**

V české legislativě nicméně taktéž dojde k určitým změnám, které reflektují vývoj nízkoemisních vozidel v souladu s nařízením Evropské komise. Jednou z nich je zákon č. 542/16 Sb., který mění aktuálně platný zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot. Jeho předmětem je částečná transpozice směrnice o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Zákon dále definuje alternativní paliva, povinnosti pro provozovatele a vlastníky čerpacích a dobíjecích stanic a předkládá změny některých ustanovení zákona o pohonných hmotách. V české

legislativě je tak z hlediska dopravy vůbec poprvé legislativně upravena existence veřejných dobíjecích stanic a jsou stanovovány zákonné podmínky pro jejich budování či provoz. Zákon je momentálně projednáván na úrovni Senátu.

- **133/2010 Sb. vyhláška o požadavcích na pohonné hmoty, o způsobu sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a o jejich evidenci;**

Vyhláška č. 133/2010 Sb. dále upravuje § 11 zákona č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách. Vyhláška upravuje požadavky na jakost pohonných hmot, způsob sledování a monitorování a složení a jakosti pohonných hmot a evidenci pohonných hmot. Toto opatření se kromě tradičních pohonných hmot (motorové oleje, nafta, stlačený plyn) týká také alternativních paliv, mj. např. vodíku. Vyhláška upravuje parametry jakosti nutné pro distribuci těchto paliv, způsob kontroly jakosti těchto paliv, jejich označení a evidenci.

2.1.1.5 Další zákony

- **183/2006 Sb. Stavební zákon**

183/2006 Sb. Stavební zákon upravuje komplexní proces územního a stavebního řízení ve věci umístění stavby, včetně nezbytných podmínek, jež stavba či objekt musí splňovat pro vydání stavebního povolení k umístění stavby. Specifická pravidla pro uplatnění tohoto zákona v případě čerpacích stanic (rozhodnutí o stavbě) je pak specifikováno v §5 a §2 písm. d) zákona 311/2006 Sb.

- **Vyhláška 18/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu ze dne 22. ledna 1979, kterou se určují vyhrazená tlaková zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti (ve znění 393/2003 Sb.).**

Vyhláška č. 18/1979 Sb. vymezuje rozsah typů tlakových zařízení a stanovuje některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti. Specifikuje jednotlivé typy tlakových zařízení, oprávnění organizací k jejich montáži a stanovuje nezbytný rozsah zkušebních i revizních testů těchto zařízení. Vyhláška dále upravuje kvalifikaci revizních techniků těchto zařízení a nezbytný rozsah zkoušek pro získání této klasifikace.

2.2 Další využití vodíkových pohonů



Obr. 3 Metařský vůz poháněný vodíkovým palivovým článkem používaný v Nizozemsku (3)

První vodíkový metařský vůz pro městské služby byl uveden do provozu v Nizozemském městě Hoogazand. Původně se jednalo o dieselový metač, který byl předělán díky Nizozemské firmě Holthausen a Finskému výrobcí Visedu na vodíkový pohon. To znamená, že metařský vůz je plněn vodíkem jako palivem do tlakové nádoby umístěné na střeše. Podle provozních zkušeností je nutné doplňovat palivo zhruba po jeden a půl dnu práce. Nejdůležitější výhodou pro obyvatele je snížení emisí hluku spojených s provozováním metařského vozu. Původní dieselový pohon emitoval hluk o hodnotě 120 dB, což způsobovalo např. rozvibrování okenních tabulí rodinných domků přilehlých k čištěné komunikaci. Díky vodíkovému pohonu došlo ke snížení hlučnosti vozu z 120 dB na 60 dB.

(3)



Obr. 4 Popelářský vůz poháněný vodíkovým palivovým článkem používaný v Nizozemsku (4)

Kromě využití vodíkových pohonů u metařského vozu využívají nizozemské městské služby i popelářské vozy poháněné vodíkem. (4)



Obr. 5 Vysokozdvížený vozík poháněný palivovým článkem (5)

Průmyslové nákladní vozy s palivovými články, jako jsou vysokozdvížné vozíky nebo tažná vozidla (letišť), jsou zvláště vhodné pro vnitřní provoz, protože neprodukují žádné emise znečišťujících

látek jako u dieselových vysokozdvížných vozíků a mají nízkou úroveň hluku. Vysokozdvížné vozíky s palivovými články, oproti bateriovým mají výhodu díky rychlému tankování. Namísto výměny baterie je možné vozíky doplnit do dvou až tří minut a tím umožňují nepřetržité používání, a proto jsou zvláště vhodné pro provoz s více směnami, jako jsou distribuční centra kurýrních služeb, sklady velkoobchodů či v potravinářském průmyslu. Oproti CNG pohonu, vodíkový palivový článek generuje méně odpadního tepla, které může být v některých případech nežádoucí, jako je např. práce v mrazírenském boxu. Vodíkový pohon může být spolehlivě provozován jak ve vnitřních, tak venkovních prostorech, a to až do teploty $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. (6) (7)

3 Vodíkové plnicí stanice

Podle Zákon č. 311/2006 Sb. je vodík definován jako alternativní palivo stejně jako stlačený či zkapalněný zemní plyn.

Pohonné hmoty, s výjimkou elektřiny, lze prodávat nebo vydávat, pouze pokud splňují požadavky na jejich jakost a složení stanovené prováděcím právním předpisem, zvláštními právními předpisy a českými technickými normami. Nároky na vodíkový pohon využívající protonvýměnnou membránu a používané palivo v něm, je popsáno v normě ČSN ISO 14687-2 (656520) *Vodíkové palivo – Specifikace produktu – Část 2: Využití v palivových článcích s protonvýměnnou membránou (PEM) v silniční dopravě*. Dále Vyhláška č. 133/2010 Sb. pojednává o požadavcích na pohonné hmoty, o způsobu sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a o jejich evidenci (vyhláška o jakosti a evidenci pohonných hmot)

Prodej nebo prodej a výdej pohonných hmot, s výjimkou elektřiny, je povolen z čerpací stanice, která splňuje požadavky stanovené zvláštními právními předpisy a českou technickou normou upravující požadavky na umístění čerpacích stanic a hygienické, technické a technologické požadavky pro projektování nových a stavebních změn stávajících čerpacích stanic a je užívána na základě rozhodnutí nebo opatření vyžadovaného stavebním zákonem.

Distributor pohonných hmot, provozovatel čerpací stanice a vlastník výdejní jednotky jsou povinni na území České republiky nakupovat pohonné hmoty pouze:

- od osoby registrované jako distributor pohonných hmot,
- od osoby, která je držitelem platné licence na obchod s plynem podle energetického zákona v případě nákupu stlačeného nebo zkapalněného zemního plynu včetně biometanu,
- z čerpací stanice zapsané v evidenci čerpacích stanic,
- od insolvenčního správce po prohlášení konkursu na distributora pohonných hmot,
- v rámci daňové exekuce a
- od státu při prodeji pohonných hmot podle tohoto zákona nebo zvláštního právního předpisu

Podmínky distribuce pohonných hmot

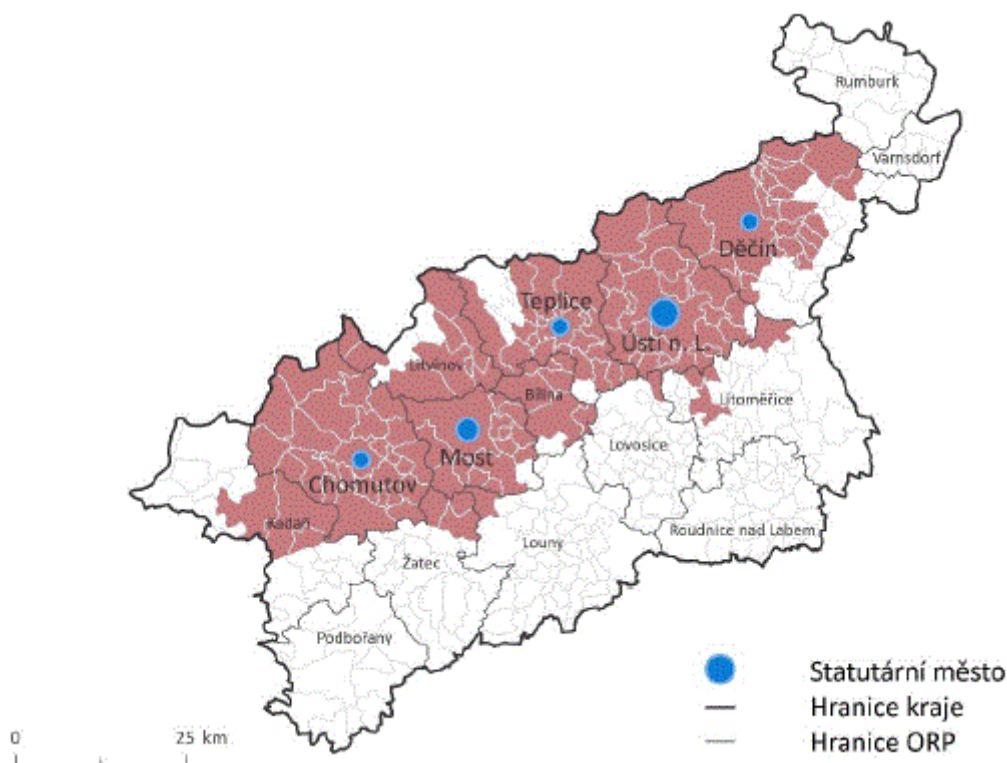
- Celní úřad vydává stanovisko podle živnostenského zákona k žádosti o
 - živnostenské oprávnění pro distribuci pohonných hmot,
 - schválení ustanovení odpovědného zástupce pro distribuci pohonných hmot.
- Celní úřad vydá souhlasné stanovisko, pokud je splněna podmínka spolehlivosti u

- žadatele o živnostenské oprávnění pro distribuci pohonných hmot,
- statutárního orgánu nebo člena statutárního orgánu tohoto žadatele a
- odpovědného zástupce tohoto žadatele.
- Podmínka spolehlivosti musí být splňována po celou dobu trvání živnostenského oprávnění pro distribuci pohonných hmot
 - držitelem živnostenského oprávnění pro distribuci pohonných hmot,
 - statutárním orgánem nebo členem statutárního orgánu tohoto držitele a
 - odpovědným zástupcem tohoto držitele.
- V případě, že celní úřad vydá nesouhlasné stanovisko, toto stanovisko odůvodní. (8)

3.1 Posouzení vhodnosti vybraných lokalit

Výběr lokalit pro výstavbu plnicích stanic a aplikace vodíkové mobility byl tvořen níže popsány body, podle kterých se hodnotila atraktivita jednotlivých lokalit pro vodíkovou mobilitu.

- Velkých průmyslový producent vodíku v blízkosti
- V návaznost na blízkou dálnici
- Nejlépe okresní město či jeho blízkost
- Nízká hustota trolejbusové dopravy, která by mohla konkurovat vodíku
- Elektrárna v blízkosti, ze které by se dalo získat dostatečná elektrická energie pro elektrolýzu
- Napojení na ITI (zobrazeno na Obr. 6)
- Ochota města pro inovace v dopravě vodíkovým směrem



Obr. 6 ITI – Programové období 2021-2027 (9)

Jako vhodní kandidáti podle kritérií byly zvolena města Ústí nad Labem, Litvínov a Chomutov. Ačkoliv s dopravními podniky města Chomutova a Jirkova a společným podnikem měst Mostu a Litvínovu nebylo přímo jednáno, na základě konzultací a doporučení zástupců krajského úřadu bylo v této fázi upuštěno od posuzování možnosti implementace vodíkových autobusů v těchto lokalitách. Díky napojení měst Ústí nad Labem a Litvínov na velké průmyslové chemické firmy s distribucí vodíku jako vedlejšího produktu je vzhledem na cenu získaného kilogramu vodíku vhodné postavit čerpací stanice hl. v těchto dvou městech.

3.1.1 Ústí nad Labem

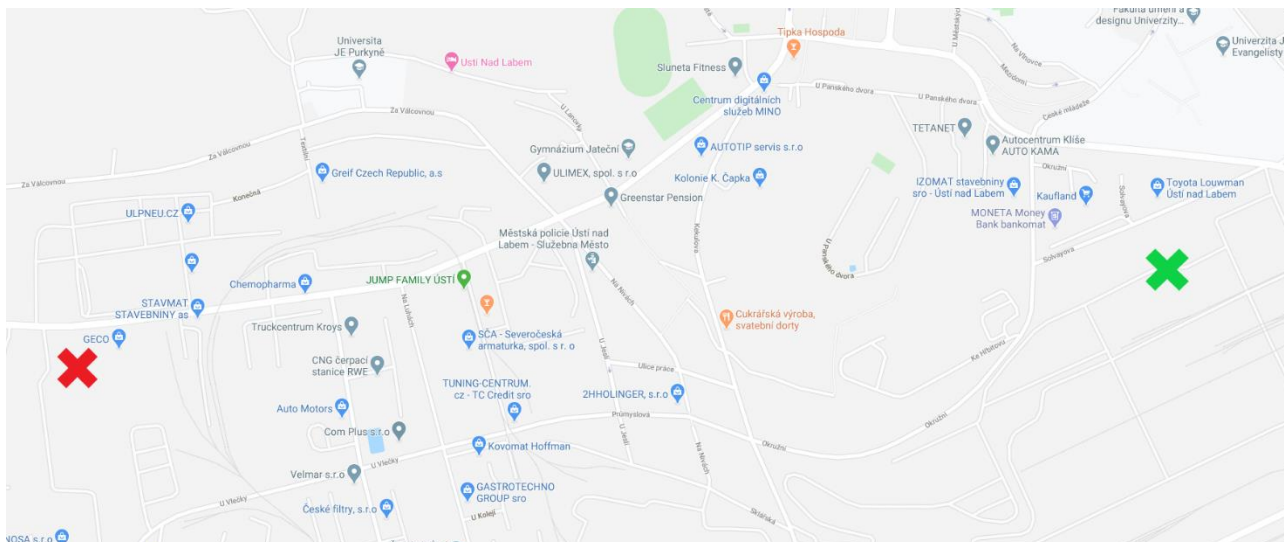
Dopravní podnik Ústí nad Labem podle současných informací plánuje stavět plnicí stanici v areálu Spolchemie, která bude stanici zásobovat vodíkem z výroby. V současnosti je plánována kapacita pro 15 autobusů, s tím, že je plánováno modulární řešení s možností zvýšení kapacity. V současné době je Spolchemie schopna produkovat vodík v množství až pro 200 vodíkových autobusů denně. Další možností rozšíření distribuce vodíku může být řešení postavením druhé čerpací stanice, čímž se sníží vytiženost veřejných komunikací v blízkosti čerpací stanice a lepší dostupnost díky

diverzifikaci polohy pro načerpání vodíku. Proto hodnotíme možnost dvou menších čerpacích stanic jako mnohem efektivnější než jedné velké. Vzhledem k velmi krátké vzdálenosti a dojezdu v řádu maximálně desítek minut mezi Spolchemií a druhou čerpací stanicí, je nejvýhodnější do vzdálenější čerpací stanice dovážet vodík v tlakovém zásobníku plněném ve Spolchemii i vícekrát denně.



Obr. 7 Autobusový vozovna Dopravního podniku města Ústí nad Labem

Vzhledem k tomu, že nejen Dopravní podnik Ústí nad Labem má zájem o vodíkové autobusy, tak i Dopravní společnost Ústeckého kraje, která zajišťuje příměstskou dopravu, projevila zájem o využití vodíkových autobusů. Vzhledem k tomu, že Dopravní společnost Ústeckého kraje využívá k parkování garáže Dopravního podniku Ústí nad Labem v ulici Jateční, je jednou z vhodných možností umístit čerpací stanici do areálu těchto garáží. Garáže díky úpravám pro CNG autobusy mají již instalovaný nucený odtah s dostatečným průtokem vzduchu a již stačí jen umístění vodíkových čidel. Servisní pracovníci mají zkušenosti, jak se servisem elektromotorů u trolejbusů, tak i s CNG rozvody plynů.



Obr. 8 Čerpací stanice vodíku v Ústí nad Labem, zelený křížek označuje již naplánovanou čerpací stanice, červený označuje potenciálně vhodné místo další čerpací stanice

Vezmeme-li v potaz kapacitu plánované čerpací stanice a vhodné roční množství pro obnovení vozového parku, je vhodné celkové množství nově pořízených vodíkových autobusů v první etapě nákupů pro Dopravní podnik Ústí nad Labem a Dopravní společnost Ústeckého kraje 10 až 15 nových autobusů (dohromady). Nejvhodnější typem autobusu je 12metrový autobus, který je využíván jak v městské, tak příměstské dopravě, popř. 10,5metrový autobus pro příměstskou dopravu. Vzhledem k finanční náročnosti, 17 až 22 mil. Kč za jeden autobus, je pro oba subjekty nereálné financování těchto autobusů v plné výši a jsou nutné dotace v minimální výši 80 % (v některých případech je nutné až 100 % financování z dotačních zdrojů).

Oba subjekty mají zkušenosti s podáváním žádostí o dotace v národních výzvách, bohužel se žádný z nich ani jednou neúčastnil výzev Evropských, které mají sice náročnější administrativní zátěž a je nutné je podávat v anglickém jazyce, ale dotační prostředky bývají vyšší než u tuzemských dotačních výzev, navíc často bývají spojeny, jak na výstavbu čerpacích stanic na vodík, tak pro nákup vodíkových autobusů, a proto není většinou nutné podávat dotační žádosti jednotlivě. Tyto výzvy jsou vhodné při nutném financování pomocí dotací ve výši 100 %, kdy např. 80 % by bylo financováno ze zdrojů EU a zbylých 20 % dofinancována např. krajem. Proto by bylo vhodné, aby kraj zvýšil podporu a motivaci dopravců (nejen v Ústí nad Labem, ale v celém kraji) pro získávání a podávání žádostí o Evropské dotace a tím pomohl rozšířit zdroje financování dopravy na svém území.

Po konzultaci s Dopravní společností Ústeckého kraje byly přímo vybrány linky, které by byly vhodné pro pilotní implementaci vodíkových autobusů pro příměstskou dopravu. Hlavní body výběru byly tyto:

- Nižší denní nájezd 200-300 km/den
- Nasazené 12metrové autobusy (v současné době je s nimi nejvíce zkušeností, a bylo by vhodné v první fázi pořizovat tyto autobusy)
- Začátek a konec směny autobusu v depu v ulici Jateční (v blízkosti je plánována plnicí stanice)

Tímto byly vybrány tři příměstské linky (turnus 2, turnus 13 a turnus 15, dle značení Dopravní společnosti Ústeckého kraje), které mají denní nájezd 317 km, 258 km a 252 km. Na Obr. 9 a Obr. 10 jsou zobrazena jednotlivé trasy těchto tří linek.

Zastávka / informace	Jízda	Zastávka / informace	Jízda
Natáčení vozidla		Natáčení vozidla	
garáže Ústí n.L. - Stebno, Chvalov	0:20	garáže Ústí n.L. - Homole u Panny, Sulečice	0:15
Stebno, Chvalov - Ústí n.L., hl.nádr.	0:40	Homole u Panny, Sulečice - Telnice, rozc. Krásný Les	1:08
!!! do zastávky Suchá zajede vždy !!!		Telnice, rozc. Krásný Les - Homole u Panny, Sulečice	1:01
Ústí n.L., hl.nádr. - Ústí n.L., Mírové nám.	0:10	Homole u Panny, Sulečice - Telnice, rozc. Krásný Les	1:12
Ústí n.L., Mírové nám. - Stebno, Chvalov	0:33		
Stebno, Chvalov - Ústí n.L., Divadlo	0:37	Telnice, rozc. Krásný Les - Ústí n.L., Divadlo	0:31
!!! do zastávky Suchá zajede vždy !!!		Ústí n.L., Divadlo - garáže Ústí n.L.	0:17
Ústí n.L., Divadlo - Chlumec	0:18		
Chlumec - Ústí n.L., Krajský soud	0:25	garáže Ústí n.L. - Ústí n.L., Krajský soud	0:10
Ústí n.L., Krajský soud - garáže Ústí n.L.	0:10	Ústí n.L., Krajský soud - Tisá, rozc. Sněžník 5.0	0:46
		Tisá, rozc. Sněžník 5.0 - Petrovice, škola	0:09
garáže Ústí n.L. - Ústí n.L., Mírové nám.	0:10	Petrovice, škola - Petrovice, Krásný Les, konečná	0:09
Ústí n.L., Mírové nám. - Stebno, Chvalov	0:38	Petrovice, Krásný Les, konečná - Homole u Panny,	1:21
do zastávky Suchá zajede jen když v ní bude někdo vystupovat			
Stebno, Chvalov - Ústí n.L., Divadlo	0:31	Homole u Panny, Sulečice - Petrovice, Krásný Les, k	1:17
Ústí n.L., Divadlo - Povrly, Český Bukov	0:46	Petrovice, Krásný Les, konečná - Homole u Panny	1:11
		Zastávky Velké Březno, Vítov až Homole pouze na výstup	
Povrly, Český Bukov - Ústí n.L., Divadlo	0:45	Homole u Panny - garáže Ústí n.L.	0:15
Ústí n.L., Divadlo - Řehlovice, Dubice, Dubičky	0:31		
Řehlovice, Dubice, Dubičky - Ústí n.L., Divadlo	0:31		
Ústí n.L., Divadlo - Povrly, Slavošov	0:38		
Povrly, Slavošov - Ústí n.L., Divadlo	0:37		
Ústí n.L., Divadlo - garáže Ústí n.L.	0:10		

Obr. 9 Popis jednotlivých cest první a druhé vybrané linky, vhodných pro implementaci vodíkových autobusů

Zastávka / informace	Jízda
Natáčení vozidla	
garáže Ústí n.L. - Velké Chvojno	0:20
Velké Chvojno - Malečov,Rýdeč	1:07
<i>do zastávky Čeřeně zastavte na požádání v autobuse, nebo na</i>	
Malečov,Rýdeč - Ústí n.L.,Elba	0:43
Ústí n.L.,Elba - garáže Ústí n.L.	0:10
garáže Ústí n.L. - Ústí n.L.,Divadlo	0:10
Ústí n.L.,Divadlo - Povrly,koupaliště	0:23
Povrly,koupaliště - Ústí n.L.,Divadlo	0:22
Ústí n.L.,Divadlo - Ústí n.L.,Elba	0:09
Ústí n.L.,Elba - Teplice,Olympia	0:36
Teplice,Olympia - Chudrov,Žežice	0:43
Chudrov,Žežice - Teplice,Olympia	0:49
<i>do zastávky Vlachovka a Chudrovec zastavte na požádání v au</i>	
Teplice,Olympia - Chudrov,Žežice	0:43
Chudrov,Žežice - Teplice,Olympia	0:49
<i>do zastávky Vlachovka a Chudrovec zastavte na požádání v au</i>	
Teplice,Olympia - Chudrov,Žežice	0:43
Chudrov,Žežice - Ústí n.L.,Divadlo	0:20
<i>do zastávky Vlachovka a Chudrovec zastavte na požádání v au</i>	
Ústí n.L.,Divadlo - garáže Ústí n.L.	0:10

Obr. 10 Popis jednotlivých cest třetí vybrané linky, vhodné pro implementaci vodíkových autobusů

V budoucnosti, pokud budou v příměstské dopravě kolem Ústí nad Labem využívány vodíkové autobusy ve velké míře, bude nutné rozšíření sítě čerpacích stanic i mimo město Ústí nad Labem. Jako potenciálně vhodné místo bylo vybráno město Litoměřice. V tomto městě začíná a končí několik příměstských linek a další linky, zde projíždějí a mají, zde 60 min přestávku, která by mohla být využita k natankování paliva. Dále Litoměřice mají velmi dobré napojení na hlavní tah E55 a tím by mohla být vodíková plnicí stanice zajímavá nejen pro autobusové linky, ale i pro osobní vodíkové automobily. Jedinou nevýhodu této polohy shledáváme v tom, že není zapojena do ITI a prostředky pro její financování se budou muset získat z jiného zdroje.

3.2 Bezpečnostní koncept

Pro všechny typy vodíkových plnicích stanic lze identifikovat celou řadu rizik vyplývajících ze základních vlastností vodíku. Tento plyn je za normálních podmínek bezbarvý, bez zápachu a ve směsi se vzduchem tvoří ve velmi širokých mezích (4 – 75 %) zápalnou směs. Současně je v případě plnicích stanic skladován za vysoké tlaku. Z těchto důvodů je nezbytné vždy správně, detailně a v dostatečné míře zanalyzovat veškerá rizika a možné scénáře, které mohou nastat. Pro všechny typy (koncepty) vodíkových plnicích stanic, představuje nejvyšší riziko únik vodíku z vysokotlakých zásobníků. Toto riziko je obzvláště závažné v hustě obydlených lokalitách. S ohledem na

celosvětové zkušenosti s provozem velkého množství různých typů vodíkových plnicích stanic, lze dnes velké množství rizik minimalizovat a při dodržení stávajících bezpečnostních standardů tak předejít potenciálnímu nebezpečí.

3.2.1 Identifikovaná nebezpečí pro vodíkové plnicí stanice

V následujícím textu jsou popsány scénáře neakceptovatelných rizik včetně diskuze jejich možné minimalizace. Současně jsou uvedeny aspekty spojené s nutností dodržení bezpečnostních vzdáleností a ochrana proti úmyslnému poškození (sabotáži) technologie.

Kompresorová jednotka

Jedním z hlavních rizik spojených s kompresorem vodíku je možnost přisání vzduchu (kyslíku) na jeho vstupní části. Toto riziko by vedlo k vnitřnímu zahoření či explozi a následným materiálovým škodám na zařízení. Z tohoto důvodu je vodíkové kompresory používáno speciální konstrukce (designu) zamezující přisávání vzduchu (v kombinaci s teplotními a tlakovými čidly), čímž je toto riziko významně omezeno. Druhým rizikem v případě kompresoru je únik vodíku. Ke snížení tohoto rizika je použito minimalizace počtů spojů a dalších rizikových míst, případně použití speciálních vysokotlakých (kovových) těsnění. Z důvodu umístění kompresoru v omezených prostorech je dodatečným opatřením nutnost vybavení prostoru systémem detekce případného úniku (čidel) napojeného na automatický systém, který dokáže nastalou situaci s dostatečným předstihem (standardně již při dosažení koncentrace na úrovni 10 % dolní meze výbušnosti) identifikovat a spustit sekvenci bezpečnostních opatření (odstavení, ventilace, inertizace prostředí atp.).

Únik vodíku z vysokotlakého zdroje

Vysoký tlak v zásobníku včetně veškerých potrubních rozvodů za kompresorem představuje, v případě úniku, zdroj výrazně vyššího množství uvolněného vodíku v porovnání se systémy s nízkým tlakem. Dokonce v případech, kdy k úniku dojde ve venkovní neuzavřených prostorech a podmínky pro jeho rozptyl jsou dobré, může dojít k tvorbě mraku zápalného plynu o rozměrech několika metrů. Důvodem je síly spojené s únikem plynu jsou výrazně vyšší, než síly vztahové umožňující volný rozptyl. Důležitou roli v tvorbě mraku zápalného plynu hraje též směr případného úniku. Jelikož pravděpodobnost vzplanutí a zahoření vodíku ve směsi se vzduchem je vysoká, je významným rizikem skutečnost, že vodíkový plamen je za denního světla téměř neviditelný.

Únik vodíku z vysokotlakého zdroje v uzavřených prostorech

V případě vysokotlakého úniku vodíku v uzavřeném prostoru (kompresorový kontejner či kontejner s vysokotlakými zásobníky), proudění a nízká hustota vodíku významně ovlivní jeho rozptýlení. V první fázi dojde k zachycení vodíku ve vnitřním prostoru kontejneru a vlivem překážek (stěn, stropu či podlahy) k usměrnění a omezení silových účinků jeho proudění. Ve všech případech jsou kontejnery vybaveny odvětrávacími otvory, které mají za úkol zamezit hromadění vodíku a s tím spojeným nárůstem tlaku. V některých případech mohou být prostory vnitřně konstrukčně uzpůsobeny pro případné usměrnění proudění vodíku a zamezení jeho akumulování např. pod stropem.

Z hlediska bezpečnosti je zásadní zamezení akumulace velkého množství hořlavého plynu uvnitř kontejneru. Z tohoto důvodu bývají používány systémy detekce plynu spojené s automatickou ventilací (viz výše). Dalším faktorem minimalizujícím riziko zahoření či exploze plynu v případě úniku je správné dimenzování systému nucené ventilace. Např. pro uzavřený kontejner o podlahové ploše 40 m² je pro případ úniku vodíku na úrovni 10 g/s nutné pro snížení rizika na akceptovatelnou míru použití systému ventilace schopného vyměnit vnitřní objem 300krát za hodinu.

Z uvedeného je zřejmé, že pokud to okolnosti umožňují, je preferovanou variantou venkovní umístění vysokotlakých zásobníků s dobrými rozptylovými podmínkami. Pokud je z nějakých důvodů nezbytné umístění vysokotlakých zásobníků ve vnitřních prostorách, je velmi důležité, aby bylo patřičně vyhodnoceno riziko úniku, případné akumulace a tvorby zápalné/výbušné atmosféry. Pokud toto riziko nedosahuje akceptovatelné míry, je nutné jej snížit pomocí uvedených systémů detekce spojené s automatickou aktivací havarijní ventilace, bezpečného odvodu plynu atp.

Únik vodíku do atmosféry z bezpečnostních ventilů

Čas od času může být vodík uvolněn do atmosféry přes bezpečnostní ventily, které mají za úkol zamezit nekontrolovanému nárůstu tlaku, případně slouží pro kontrolované odtlačování potrubních systémů v případě údržby či servisu zařízení. V těchto případech může být uvolněno poměrně značné množství vodíku s ohledem na tlakovou úroveň daného potrubí. Ačkoliv vzhledem k vysokým rychlostem proudění může zápalný mrak plynu dosahovat i několika metrů od místa výstupu, existuje celá řada opatření minimalizující riziko jeho zahoření. Veškeré provozní a bezpečnostní ventily bývají svedeny do potrubí (odfukového komínu), které bývá k tomu určeno a konstruované s možností případného kontrolovaného zahoření směsi či naopak inertizováno pro zamezení hoření. Speciální pozornost musí být únikům z bezpečnostních ventilů, potažmo ofukových potrubí věnována v hustě obydlených oblastech s vysokými budovami.

Rizika během plnění vozidla

Jak bylo uvedeno, úniky vodíku z jednotlivých vysokotlakých částí stanice mohou být spojeny s riziky tvorby významného oblaku zápalné směsi plynů nejen v uzavřených prostorech. Značné riziko může představovat únik vodíku během plnění vozidla, kdy je obsluha přímo vystavena případnému proudění unikajícího plynu. Jelikož je plyný vodík za denního světla téměř neviditelný, je nezbytné přijmout preventivní opatření minimalizující riziko jak případného úniku plynu, tak jeho následného vzplanutí. Používaná opatření vedoucí k minimalizaci rizik jsou následující:

- použití pouze kvalitních certifikovaných komponent, které jsou přímo určené a schopné odolávat pracovním tlakům, teplotám a jejich cyklování,
- pravidelné kontroly a revize všech částí zařízení,
- systém detekce náhlého poklesu tlaku vlivem úniku v kombinaci s automatickým odstavení zdroje vodíku,
- design a konstrukční provedení výdejního stojanu a jeho okolí vedoucí k minimalizaci pravděpodobnosti vzniku rizikové situace:
 - automatické zatažení plnicí hadice po ukončení plnění,
 - konstrukční řešení příjezdu k výdejnímu stojanu minimalizující pravděpodobnost nárazu vozidla do zařízení
 - absence jakýchkoliv zdrojů umožňujících iniciaci (zákaz kouření, manipulace s otevřeným ohněm, používání mobilních telefonů atp.),
 - konstrukce zastřešení výdejní stojanu zamezující hromadění uniknutého plynu (plynové kapsy),
 - uzemnění vozidla, plnicí hadice a obsluhy na stejný elektrický potenciál.

Situační dispozice – odstupové vzdálenosti – ochranné zóny – protipožární zdi/opatření

Použití vysokého tlaku představuje nelehký úkol spojený s umístěním plnicí stanic v hustě obydlených oblastech, kde může být nemožné dodržet předepsané bezpečnostní odstupové vzdálenosti a zóny. V takovém případě bývají předpisy a požadavky na bezpečnost, kvalitu a ochranu ještě vyšší, hlavně s ohledem na rizika spojená s potenciálním únikem vodíku. V těchto oblastech je nutné zvážit i rizika spojené s možností úmyslného poškození či vandalizmu a přijmout proti nim patřičná opatření. Za účelem snížení těchto rizik se často instalují ochranné zdi či ploty, které dokáží snížit nezbytné bezpečnostní odstupové vzdálenosti vlivem zamezení šíření hořlavého plynu v případě úniku. Při návrhu a realizaci takovýchto ochranné zdi je nutné zohlednit následující:

- mechanismy a způsoby šíření plynů, tvorba vírů (tzn. wake effect), zvýšená pravděpodobnost kumulace plynu,
- zvýšená pravděpodobnost zahoření či exploze a případně vyšší tlakový ráz v případě vznícení v uzavřených prostorech,
- možnost létajících předmětů/částí v případě exploze,
- nutnost použití speciální zpevněných konstrukcí a výplní oken či průzorů.

3.3 Možní dodavatelé vodíkových plnicích stanic

V současnosti existuje celá řada dodavatelů vodíkových plnicích stanic. Jedná se jak o výrobce kompletní technologie, tak případně společnosti, jejich hlavní podnikatelská činnosti určitým způsobem souvisí s vodíkem (např. výrobci technických plynů, elektrolyzérů atp.). V principu je možné potenciální dodavatele vodíkových plnicích stanic rozdělit do tří základních skupit:

- zaručené dodavatele komplexní technologie s řadou referencí
- menší výrobci vstupující na trh
- výrobci dílčích komponent vodíkových plnicích stanic

3.3.1 Velcí dodavatelé

Linde Hydrogen FuelTech GmbH

Firma Linde představuje dnes pravděpodobně největšího a nejzkušenějšího dodavatele technologie vodíkových plnicích stanic. Z hlediska technologie dokáže pokrýt celý řetězec od výroby, distribuce, skladování, komprese až po finální výdej vodíku. Současně disponuje velkou řadou referencí, kdy realizovala desítky projektů veřejných vodíkových stanic nejen v Evropě, ale i v například v Japonsku či USA.



Firma disponuje malosériovou výrobou lokalizovanou ve Vídni a do svého portfolia zahrnuje stanice s kapacitou 100 až 1000 kg vodíku za den. Standardně nabízí řešení s možností vybavení výdejního stojanu oběma tlakovými úrovněmi 700 a 350 bar. Tato společnost realizovala též dodávku a instalaci technologie stále jediné vodíkové plnicí stanice v ČR, která je lokalizovaná v Neratovicích a jejímž provozovatelem je ÚJV Řež, a. s.

Hydrogenics

Hydrogenics je společnost, která ve svém produktovém portfoliu sdružuje téměř všechny praktické aplikace vodíkových technologií – od výroby vodíku (elektrolyzér), přes plnění vodíku (vodíkové plnicí stanice) až po jeho konečné uplatnění v palivových článcích. Přidaná hodnota firmy Hydrogenics leží právě v jejích schopnosti nabídnout komplexní řešení ve formě plnicí stanice s lokální výrobou. Hydrogenics již realizoval několik plnicích stanic v Evropě a po světě s plnicími tlaky 350 a 700 bar a kapacitou od několika desítek kilogramu vodíku denně (Los Angeles 32 kg/denně) až po 780 kg vodíku denně v Hamburgu.

Nel ASA

Zdroj: <https://nelhydrogen.com/market/bus-refueling/>

Air Products and Chemicals, Inc.

Zdroj: <http://www.airproducts.com/Industries/Energy/Power/Power-Generation/hydrogen-fueling-stations.aspx>

ITM Power

Zdroj: <https://www.itm-power.com/markets/hydrogen-fuel-stations-bus>

3.3.2 Menší výrobci

McPhy

Zdroj: <https://mcphy.com/en/our-products-and-solutions/hydrogen-stations/?cn-reloaded=1>

Resato

Zdroj: <https://www.resato.com/en/-/hydrogen-compressor-station-for-fueling-station>

Sera

Zdroj: <https://www.sera-web.com/hydrogen>

Haskel

Zdroj: <https://www.haskel.com/hydrogen-refueling/innovative-fueling-solutions-for-a-more-sustainable-world/>

3.4 Investiční a provozní náklady

Ačkoliv bylo na začátku roku 2020 celosvětově v provozu přes 400 vodíkových plnicích stanic, informace spojené s odhadem jejich investičních nákladů skýtají řadu problémů. V první řadě silně závisí náklady na vybudování plnicí s velikostí stanice, lokalitou stavby a místními podmínkami. Z konkurenčních důvodů jsou údaje spojené s investiční náklady často důvěrné a nebývají veřejně publikovány. Navíc, v řadě případů byly stanice navrženy a vybudovány jako unikátní projekt v daném čase a místě, čímž je velmi omezena přenositelnost finančních parametrů. Současně se jedná o stále se rozvíjející trh, a proto též náklady spojené s budováním stanice před pár lety nepředstavují spolehlivý ukazatel pro budoucí výstavbu v době rozvinutějšího trhu. V neposlední řadě existuje v současnosti pouze omezené množství publikací uvádějící investiční náklady vodíkových plnicích stanic.

Jedna z mála detailních publikací byla vytvořena pro oblast Kalifornie ve Spojených státech (**zdroj: 2013c; EVTC 2014; CEC/ CARB 2017**). Z ní se dají udělat závěry, že investiční náklady na vybudování vodíkové plnicí stanice se mohou pohybovat v rozmezí přibližně od 20 do 200 mil. Kč (1 – 10 mil. USD). Ačkoliv se jedná o velmi široké rozpětí, tak pro nejčastější koncept v podobě stanice s instalovanou denní kapacitou 200 – 300 kg vodíku se celkové investiční náklady pohybují v rozmezí 45 – 60 mil. Kč (2 – 3 mil. USD), přičemž náklady na vlastní technologii představují 65 –

75 %. Pro Českou republiku jsou o něco relevantnější data uváděné pro Německo, kde se uvádí náklady spojené s technologií cca 25 mil. Kč (1 mil. Eur) (**zdroj: Bonhoff 2016**).

Z důvodů rozdílných velikostí stanic ve smyslu denní kapacity vydaného vodíku je vhodnější porovnávat měrné investiční náklady. V absolutních čísle jsou pro menší vodíkové stanice náklady nižší než pro stanice velké. Nicméně, měrné (specifické) investiční náklady v případě malých stanic mohou být i řádově vyšší. Pro malé stanice mohou dosahovat až 350 tis. Kč/kg/den, zatím v případě stanic s velkou denní kapacitou mohou dosáhnout 65 tis. Kč/kg/den. Nutno zdůraznit, že takto nízkých měrných investičních nákladů lze dosáhnout pouze v případě vysokého využití kapacity stanice. V případě, kdy je součástí vodíkové plnicí stanice místní (on-site) výroba vodíku pomocí elektrolýzy, počáteční investiční náklady mohou být dosahovat až 450 tis. Kč/kg/den z důvodů vysoké pořizovací ceny elektrolyzéru.

Druhým faktorem ovlivňujícím výslednou ekonomiku jsou provozní náklady vodíkové plnicí stanice. Ty primárně souvisí s pravidelnou údržbou, servisem či opravami a v neposlední řadě s náklady na obslužný personál (pokud je nezbytný). Většina velkých výrobců a dodavatelů vodíkových plnicích stanic dnes uvádí provozní náklady na úrovni 3 – 10 % počátečních investičních nákladů ročně. Poměrně široké rozpětí souvisí opět s velikostí stanice ve smyslu denní kapacity vydaného vodíku, využitím stanice a případné nutnosti zmíněného personálu (např. v případě doplňkové prodeje či výdeje dalších druhů paliv).

Uvádí se, že vlivem sériové výroby a rozvinutím trhu by měly investiční náklady na vodíkové plnicí stanice poklesnout až o 50 % do roku 2025 v porovnání s rokem 2017 (**zdroj: CEC/CARB 2017**). Nicméně v současnosti představuje budování vodíkových plnicích stanic velkou výzvu, jelikož s ohledem na málo rozvinutý trh s vozidly lze očekávat její poměrně malé využití, což se negativně promítá do měrných provozních nákladů v důsledku může ovlivňovat výslednou cenu vodíku. Toto je ve výsledku v konfliktu s tím, že vodík jako produkt musí být pro koncového zákazníka dostatečně cenově atraktivní.

Z důvodu minimalizace rizik spojených s počáteční investicí je nezbytné zvolit od počátku plánování správnou strategii s ohledem na potenciální zákazníky. Zásadní parametry při plánování představují hlavně správná volba velikosti stanice, optimalizace denního tankovacího profilu velkých zákazníků (např. autobusů) a jejich vzájemná koordinace. V současnosti je vhodným nástrojem k minimalizaci popsanych rizik veřejná podpora v podobě národních či evropských dotačních programů, které dokáží výrazně snížit počáteční investici a napomoci tak vytvoření základní infrastruktury nezbytné pro rozvinutí trhu.

3.5 Údržba, servis a pravidelné revize

Kontrola provozu: odbornou prohlídku provádí oprávněná organizace a vede o ní záznam. Plnicí stanice vodíku se podrobuje pravidelně **nejméně 1x za 6 měsíců** odborné prohlídce, při níž se provádí:

- vizuální prohlídka stavu celého zařízení;
- kontrola funkce zabezpečovacího zařízení a dálkově ovládaných armatur;
- kontrola vybavení požárně bezpečnostními zařízeními, vyhrazenými požárně bezpečnostními zařízeními a věcnými prostředky požární ochrany (tímto nejsou dotčeny podmínky pro prohlídky a požadavky stanovené pro tato zařízení a prostředky vyhláška 246/2001 Sb.);
- kontrola těsnosti spojů za provozu zařízení;
- vizuální kontrola neporušenosti izolací kabelů;
- vizuální kontrola prostředků pro uzemnění a pospojování (neporušenost vodičů, připojovací místa bez koroze a bez mechanického uvolnění apod.).

Dále se plnicí stanice vodíku podrobují pravidelně **jednou ročně**:

- kontrole plynových zařízení v souladu s vyhláškou č. 85/1978 Sb., o kontrolách, revizích a zkouškách plynových zařízení;
- kontrole průchodnosti a nastavení pojistných tlakových zařízení;
- zkouškám kvality vodíku podle normy ČSN ISO 14687-2 Vodíkové palivo – Specifikace produktu – Část 2: Využití v palivových článcích s protonvýměnou membránou (PEM) v silniční dopravě;
- kontrole kompaktnosti a značení protipožárních ucpávek;
- kontrole hmotnostního průtokoměru vodíku, stanoveného měřidla podle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, určeného pro obchodní styk podle vyhlášky č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu
- provozní revizi elektrického zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Kontrolu a revizi podle tohoto článku provádí oprávněná organizace a vydává zprávu o kontrolách a revizní zprávu elektrického zařízení, protokol o kalibraci se značkou.

Pravidelně **jednou za tři roky** se plnicí stanice vodíku podrobují:

- provozní revizi plynového zařízení, včetně kontroly kvalifikace obsluhy;
- provozní revizi elektrických zařízení, včetně kontroly kvalifikace obsluhy.

Provozní revize podle tohoto článku provádí oprávněná organizace a vede o ní záznam.

Pravidelně **jednou za devět let** se plnicí stanice vodíku podrobují periodické tlakové zkoušce pevnosti tlakových nádob stabilních (TNS), pokud takové má ve svém provozu, v souladu s normou ČSN 69 0012 Tlakové nádoby stabilní – provozní požadavky. Periodickou tlakovou zkoušku provádí oprávněná organizace a vystavuje o výsledku revize revizní zprávu.

9.5 Plnicí stanice vodíku se podrobují pravidelně **jednou za deset let** periodické tlakové zkoušce pevnosti tlakových lahví provozovaných jako vysokotlaké zásobníky, pokud takové tlakové lahve má ve svém provozu a provede značení tlakových lahví podle normy ČSN 07 8305 Kovové tlakové nádoby k dopravě plynů – technická pravidla. Periodickou tlakovou zkoušku provádí oprávněná organizace a vystavuje o výsledku revize revizní zprávu.

3.6 Soupis požadavků pro stavební řízení

Informace k výstavbě a provozu plnicích stanic vodíku lze nalézt v metodice schválené mj. zástupci Hasičského záchranného sboru ČR: <https://www.hzscr.cz/clanek/metodika-vystavby-a-provozu-plnicich-stanic-stlaceneho-vodiku-pro-mobilni-zarizeni.aspx>

Obecně se projektování vodíkové plnicí stanice řídí stejnými předpisy, jako projektování jakýchkoliv jiných staveb, tj. stavebním zákonem č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a jeho prováděcími předpisy, kterými jsou:

- vyhláška č. 169/2016 Sb., o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr
- vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb ve znění vyhlášky č. 169/2016 Sb., o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr

Závazné stupně projektové dokumentace se stanovují podle předpisů a určení příslušného stavebního úřadu. Podle výše uvedené vyhlášky č. 499/2000 Sb. o dokumentaci staveb se jedná o dokumentaci pro územní rozhodnutí (DUR); projektovou dokumentaci pro stavební povolení (DSP); dokumentaci pro provádění stavby (DPS). Uvedená vyhláška zároveň definuje závazný obsah i formu jednotlivých stupňů projektové dokumentace. V rámci projektové přípravy celé plnicí stanice je třeba vzít v úvahu vlastnosti jednotlivých částí plnicí stanice, jejich vzájemné vazby i působení stanice jako celku v rámci okrajových podmínek daných jejím umístěním a interakcí s vnějšími vlivy.

Kromě uvedeného je možné na základě dohody mezi investorem, projektantem a při schválení stavebním úřadem využít **společné projektové dokumentace**, tzn. může být zpracována společná dokumentace (SD) pro vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení nebo lze zpracovat jednostupňovou projektovou dokumentaci (JPD).

4 Výroba vodíku

4.1 Variantní posouzení (on-site výroba, dovoz vodíku)

V jednotlivých lokalitách vstupuje do posouzení možností výroby, resp. zásobování vodíkem vícero faktorů – ekonomické, environmentální, aj. Variantní posouzení bude členěno pro jednotlivé technologie a procesy, kterými lze vodík získávat. Ústecký kraj má z hlediska zásobování příznivé podmínky. Ve městě Ústí nad Labem se nachází společnost SPOLCHEMIE (Spolek pro chemickou a hutní výrobu, a.s.), která disponuje značnou kapacitou vodíku, jakožto vedlejšího produktu své ekonomické činnosti. Společnost Unipetrol, která sídlí také v Ústeckém kraji se také netají svými plány s vodíkem – dceřiná společnost Benzina provozující čerpací stanice pohonných hmot již realizuje tři plnicí stanice stlačeného vodíku, kde jedna z nich bude stát v Litvínově. Unipetrol navíc také disponuje značnou kapacitou vodíku, pocházejícího z rafinérských a petrochemických procesů. Vzdálenější města jako Chomutov a Litoměřice, které nemají přímou návaznost na provozy, kde vzniká vodík mají vícero možností zásobování vodíkem. Společnost Unipetrol v současné době připravuje projekt centralizované výroby zeleného vodíku, ve kterém plánuje výstavbu vlastní fotovoltaické elektrárny na revitalizované ploše bývalé výsypky Růžodol. Fotovoltaická elektrárna je navržena tak, aby bylo maximální množství obnovitelné energie k dispozici pro potřeby 20 MW elektrolyzéru. Realizace tohoto projektu je plánována na rok 2024. Takto vyrobený vodík lze využít nejen pro vodíkovou mobilitu, ale také pro dekarbonizaci současných procesů výroby klasických paliv. Konkrétním procesem pro využití zeleného vodíku v rafinérii Litvínov je hydrogenace středních destilátů, jejímž finálním produktem bude nafta s nižší celkovou emisí stopou CO₂ životního cyklu. Na základě doporučené metodiky EU pro výpočet úspory skleníkových plynů bylo prokázáno, že právě tímto způsobem využití obnovitelného vodíku je v dnešní době možno efektivně snižovat emise výrobních procesů skoro o 30 % lépe než při plném využití v FCEV.

Prvním krokem u návrhu plnicí stanice stlačeného vodíku a navazující výroby a zásobování vodíkem je stanovení počtu autobusů, které budou na plnicí stanici plněny. Tenhle údaj by měl být co nepřesnější a bude vycházet z typu provozovaných autobusů a průměrného denního nájezdu kilometrů. V případě podhodnocení může nastat situace, kdy autobusy nebudou moci jezdit, případně bude nutné uzavírat novou smlouvu s dodavatelem vodíku. Nadhodnocení se sebou ponese zvýšené náklady, ale může dávat smysl, jestliže již existuje plán pro rozšíření flotily vodíkových autobusů v dalších letech.

Druhým krokem je identifikace priorit provozovatele autobusů a plnicí stanice, jedná se zejména o následující:

- Spolehlivost výroby a plnění vodíku
- Cena vodíku
- Dopad na životní prostředí

Původ vodíku	On-site výroba vodíku elektrolýzou vody	Externí zásobování dodavatelem technických plynů	Vodík jako vedlejší produkt z chemického průmyslu
Spolehlivost	?	✓	✓
Cena	✗	?	✓
Dopad na životní prostředí	✓	✗	?

Spolehlivost jednotlivých procesů, resp. forem zásobování je obecně srovnatelná – v případě elektrolýzy a vodíku pocházejícího z chemického průmyslu je nutno počítat se servisními odstávkami, které mohou mít vliv na dostupnost vodíku. V projektu HyTransit u on-site výroby se vypořádali s touto překážkou zařazením dalšího elektrolýzoru, tohle řešení je na jednu stranu prospěšné, protože umožní navýšit počet autobusů v budoucnosti bez nutnosti přidání další výroby, na druhou stranu se sebou nese zvýšené investiční náklady.

Cenově nejpriznivější je vodík pocházející z chemického průmyslu jako vedlejší produkt. U vodíku z elektrolýzy se na ceně projeví investiční náklady na pořízení elektrolýzoru, a hlavně cena elektrické energie. Příznivějších podmínek lze dosáhnout, když se lokální výroba vodíku naváže na existující infrastrukturu – v areálu elektráren (ať už obnovitelné zdroje nebo ne), měníren a obecně všude, kde lze počítat s nižší cenou elektrické energie.

Z pohledu životního prostředí je nejpřívetivější variantou on-site elektrolytická výroba vodíku (nebo výroba vodíku při chlór alkalické elektrolýze) v návaznosti na obnovitelné zdroje elektrické energie. Tahle varianta se sebou nese jenom emise spojené s výrobou samotných zařízení, jejich instalací na místě určení a po době životnosti k jejich recyklaci. Samotný proces elektrolýzy neprodukuje žádné emise, avšak je nutno přihlídnout na původ elektrické energie – v případě energetického mixu ČR je emisní stopa srovnatelná s parním reformingem zemního plynu.

4.1.1 Externí zásobování

Zajištění externího zásobování vodíkem dodavatelem technických plynů je z hlediska investičních nákladů nejlevnější varianta. Plnicí stanice je ve většině případů vybavena nízkotlakým zásobníkem stlačeného vodíku, který je dle potřeby doplňován přepouštěním vodíku z tlakových nádob na návěsu. Z hlediska palivo-člákových dopravních prostředků je důležité, aby dodavatel byl schopný deklarovat kvalitu vodíku požadovanou normou ISO 14687. Tahle norma je v současné podobě velmi striktní a jen několik laboratoří v Evropě je schopno měřit nečistoty v koncentracích udaných v této normě. Nicméně, jelikož jsou palivové články jednou z dražších komponent v palivo-člákových autobusech je důležité klást důraz na kvalitu dodávaného vodíku. Cena dodávaného vodíku je značně variabilní a individuální, mezi faktory, které ji budou ovlivňovat patří:

- vzdálenost plnicí stanice od plnárny technických plynů,
- četnost závozů vodíku,
- délka smlouvy na dodávku vodíku.

Jako nevýhodu je možno vnímat emisní stopu dodávaného vodíku, který je průmyslově vyráběn parním reformingem zemního plynu. Emisní stopa takto vyráběného vodíku se pohybuje kolem 7 kg CO₂ na 1 kg vodíku **(10)**.

4.1.2 On-site výroba vodíku

Energie elektřina v procesu elektrolýzy vody je uchována ve vodíku a lze ji zpět získat pomocí chemické reakce s kyslíkem. V současnosti připadá v úvahu elektrolýza alkalická, nebo s využitím proton-výměnné membrány (obě za běžných teplot). Vodík je následně v závislosti na použitém elektrolyzáru sušen a popřípadě stlačován kompresorem na požadovaný tlak a skladován ve vodíkových nádržích. Moderní elektrolyzéry umožňují produkci vodíku o tlaku 40 – 200 bar. Vodíkové technologie jsou velmi rozmanité a flexibilní, disponují rozličnými pracovními médii, provozními teplotami, a tudíž je vhodné ke každé aplikaci provést porovnání dostupných systémů a vybrat pro danou aplikaci tu nejvhodnější. Elektrolyzéry mohou pracovat za nízkých nebo vysokých teplot. V této studii jsou uvažovány nízkoteplotní elektrolyzéry, protože vysokoteplotní zatím nedosáhli fáze komercializace:

- Alkalický elektrolyzér (nízkoteplotní)
- Elektrolyzér s proton-výměnou membránou (PEM, nízkoteplotní)
- Elektrolyzér na bázi keramiky (SOEC, vysokoteplotní)

Vodík vyrobený elektrolýzou vody je čistý, což znamená nízké náklady na čištění oproti výrobě vodíku parním reformingem zemního plynu, nebo jinými postupy. Provoz elektrolyzáru za účelem výroby vodíku je nákladnější než zmiňovaný reforming a to především z pohledu cen elektrické energie, která představuje, kromě vody, jedinou vstupující surovinu.

Elektrolýzu vody lze rozdělit také podle tlaku na atmosférickou a tlakovou. Mezi výhody tlakového procesu patří, že produkovaný vodík je již stlačený. Tím odpadá investice na zařízení potřebné na jeho stlačení. Další výhoda tlakového procesu je v tom, že vznikající plyn na elektrodě má při vyšším tlaku menší objem, čímž méně blokuje povrch elektrody. Nevýhodou tlakového procesu jsou vyšší nároky na použité těsnění a vyšší spotřeba elektrické energie, která je však nutná pro kompresi vodíku.

V Tab. 4.1 je uvedeno srovnání komerčně dostupných elektrolyzáru s vybranými technickými parametry a investičními náklady. Nízkoteplotní elektrolyzéry – alkalické nebo PEM se mezi sebou liší zejména dynamičností provozu, tenhle parametr je klíčový, když je elektrolyzáru provozován v návaznosti na obnovitelné zdroje s variabilním průběhem produkce elektrické energie.

Tab. 4.1: Srovnání komerčně dostupných elektrolyzérů

Parametr	Výrobce	Siemens - PEM Silyzer 200	Frames - PEM	Nel - alkalický C-300	Nel - PEM MC200	Areva H2Gen - PEM Elyte 200	ITM Power - PEM
Výkon		1,25 MW	1 MW	1,3 MW	1,1 MW	1 MW	0,96 MW
		225 Nm ³ /hod	210 Nm ³ /hod	300 Nm ³ /hod	200 Nm ³ /hod	240 Nm ³ /h	180 Nm ³ /hod
Spotřeba energie		5,55 kWh/Nm ³	4,7 kWh/Nm ³	3,8 – 4,4 kWh/Nm ³	4,95 kWh/Nm ³	4,4 – 4,7 kWh/Nm ³	4,7 – 5,1 kWh/Nm ³
Připojení elektrické			3x380-690 VAC 50/60Hz		Typicky 10 kV nebo 20 kV	400 V AC	11kV AC, 3-Phase, 50Hz
Rozměry (d x š x v)		6,3 x 3,1 x 3 m	6,1 x 2,4 x 2,8 m (+1,4 m chlazení)	3 kontejnery 13 x 2,9 x 3,6 m 9 x 2,9 x 3,2 m 9 x 2,9 x 3,2 m	2 kontejnery 12,2 x 2,4 x 2,9 m 12,2 x 2,4 x 2,6 m 12,2 x 2,4 x 2,6 m	12,2 x 2,4 x 2,6 m	2 kontejnery 9,1 x 2,4 x 2,6
Tlak		35 bar	40 bar	30 bar	30 bar	35 bar	20 bar
Účinnost		64 %	80 %	80 %	71 %	75 %	69 %
Náběh		<10 s		15 – 100 % rozsahu	Start <5 min z vypnutí <10 s z minima do maxima	20 – 100 %	
Životnost		>80 000 hod	80 000 hod			20 let	20 let
Cena ¹		40M CZK	29 – 40M CZK			37M CZK	40M CZK

¹ Směnný kurz z EUR: 26,645 CZK

■ Odhad investičních nákladů a souvisejících investic

Elektrolyzér

Investiční náklady se liší dle typu technologie elektrolyzéro a možného příslušenství, obecně se ceny pohybují v rozmezí 29 000 až 40 000 CZK/kW. Cena samotné elektrolytické cely se přitom na výsledné ceně celého modulu podílí z 50 %.

Související investice závisí na lokálních podmínkách. Na základě již existující infrastruktury je nutno zajistit, nebo ověřit:

- Transformátor elektrické energie, pro konkrétní typ elektrolyzéro
- Potrubí pro přívod vody v dostatečném množství (kolem 300 L/h při výkonu 1 MW)
- Kanalizaci pro odpadní vodu z reverzní osmózy
- Dostatek místa pro veškerou technologii

Velkokapacitní zásobník

Investiční náklady na zásobník stlačeného vodíku o vodním objemu 95 m³ a pracovním tlaku 40 bar se pohybují kolem 5M CZK.

■ Odhad provozních nákladů

Elektrolyzér

Celkové provozní náklady jsou tvořeny následovnými položkami:

- Náklady na elektrickou energii
- Náklady na výměnu iontoměničů v reverzní osmóze
- Náklady na rutinní servis elektrolyzéro – 2x ročně (kalibrace vodíkových čidel, kontrola kondenzátu, aj.)

Společnost ArevaH2Gen odhadla roční náklady na rutinní servis a výměnu iontoměničů na 660 000 CZK.

Velkokapacitní zásobník

Provozní náklady jsou tvořeny revizemi tlakových plynových nádob, které je nutné provádět v časových úsecích:

- 1x ročně provozní revize, dle ČSN 69 0012, čl. 90
- 1x za 5 let vnitřní revize, dle ČSN 69 0012, čl. 94

4.1.3 Vodík jako vedlejší produkt

Vodík vznikající jako vedlejší produkt průmyslové výroby může být pro plnicí stanice levným a environmentálně přijatelným zdrojem (chlor-alkalická elektrolyza, parní reforming zemního plynu se zachytem oxidu uhličitého). Před dodáním vodíku do plnicí stanice je nutné se ujistit o dostatečné kvalitě dodávaného vodíku, jak je uvedeno v normě ISO 14687-2.

Problematicke čištění vodíku vznikajícího jako vedlejší produkt chlor-alkalické elektrolyzy se věnuje práce (11). Pro zajištění kvality požadované v normě uvedené výše pro plnění palivo-článekových dopravních prostředků, se ukazuje být výhodné zařazení PSA (Pressure-swing adsorption) jednotky. Odstranění nečistot je důležité, neboť některé kontaminanty (sirné sloučeniny) mohou nenávratně poškodit palivový článek.

4.2 Popis logistiky

Zásobování vodíku lze realizovat vícero přístupy – stlačením vodíku a transportem na návěsu opatřeným tlakovými nádobami, zkapalněním vodíku a transportem v kryogenních nádobách na návěsu a využitím uzpůsobeného potrubí. V rámci Ústeckého kraje připadá v úvahu transport plynného vodíku na návěsu a využitím potrubí pro zásobování plnicí stanice, která bude umístěná v těsné blízkosti společnosti SPOLCHEMIE. Zkapalňování vodíku je energeticky náročný proces, energie potřebná na zkapalnění tvoří téměř jednu třetinu energie (přibližně 11 kWh/kg H₂) obsažené ve vodíku. Výhodou je však řádově tisíckrát vyšší hustota vodíku v kapalně fázi při atmosférickém tlaku a tím pádem je možné ve stejném objemu přepravit větší množství vodíku. Tahle forma přepravy se proto hodí zejména pro transport velkého množství vodíku na dlouhé vzdálenosti.

4.2.1 Transport stlačeného vodíku na návěsu

Tento přístup se běžně používá pro zásobování velkoodběratelů dodavateli technických plynů. V České republice se běžně používají pro transport vodíku návěsy s tlakovými lahvemi o vodním objemu 16 m³ nebo 30 m³ a pracovním tlaku 200 bar. Celkově tedy lze v tlakových lahvích o vodním objemu 16 m³ převézt přibližně 280 kg H₂ a u 30 m³ 530 kg H₂.

Vzhledem na transportované množství vodíku je tento přístup vhodný při zásobování plnicích stanic s denní spotřebou vodíku nepřevyšující kapacitu vodíku uloženého na návěsu. Ve srovnání

s ostatními způsoby dopravy vodíku se jedná z hlediska investičních nákladů o nejlevnější variantu, při vyšších výtočích vodíku však může být značně nepraktická a drahá z hlediska provozních nákladů. Transport vodíku na návěsu je vhodný způsob dopravy také pro využitelnou kapacitu vodíku ve společnosti SPOLCHEMIE pro další plnicí stanice neležící v bezprostřední blízkosti areálu společnosti. Výstavba potrubí pro jednu plnicí stanici by byla nákladově nevýhodnější, jak je naznačeno v další kapitole. Jako výhodný se transport stlačeného vodíku může ukázat, pokud by elektrolytická výroba vodíku byla situovaná mimo plnicí stanice. Tahle varianta může být výhodná v případě, že elektrolyzátor bude využívat nízkou cenu elektrické energie v areálu stávajících elektráren (konvenční nebo obnovitelné zdroje) a poskytovat flexibilitu distribuční síti (vyrovnávání výkonových špiček obnovitelných zdrojů, výroba vodíku v době nízké ceny elektrické energie na trzích atd.)

4.2.2 Transport potrubím

Transportování vodíku potrubím je v současnosti využíváno zejména v oblastech s intenzivní průmyslovou činností, zejména v chemickém průmyslu, kde vodík nachází využití. V rámci Evropy se jedná zejména o oblast Porýní na západě Německa a v Belgii a části Nizozemska, kde se nachází síť dlouhá přibližně 900 kilometrů. V praxi se zásobování plnicích stanic vodíkem vedeným v potrubí běžně nevyužívá – důvodem jsou extrémně vysoké investiční náklady pro výstavbu plynovodu na vzdálenosti větší než několik kilometrů. Některé studie tyto náklady odhadují na vyšší jednotky milionů českých korun (12; 13).

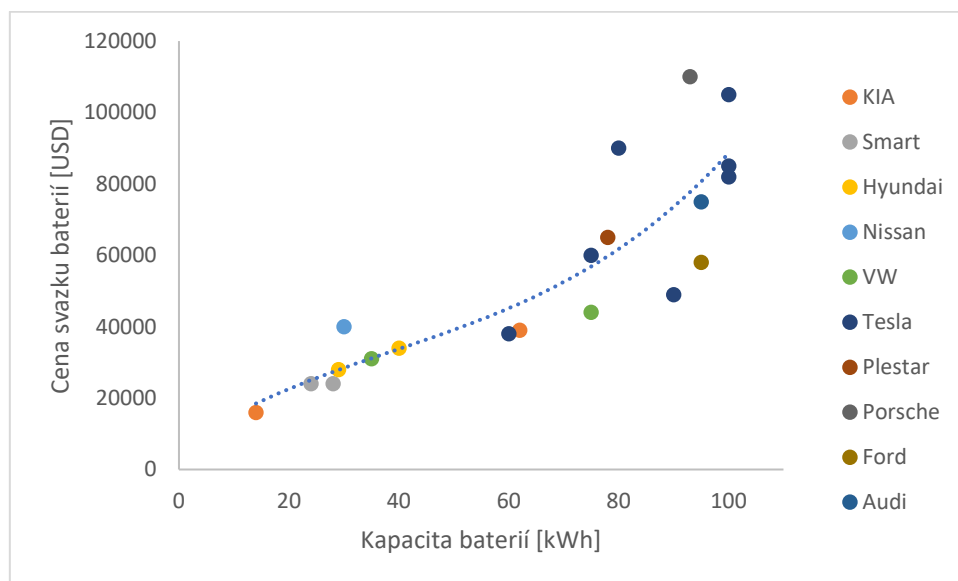
Plnicí stanice, která je plánovaná v bezprostřední blízkosti společnosti SPOLCHEMIE je jednou z výjimek, kdy je transport potrubím nejvýhodnější variantou – plnicí stanice může přímo navázat na již existující infrastrukturu v rámci areálu společnosti a eliminují se proto náklady spojené se zajištěním pozemku pro výstavbu plynovodu.

5 Ekonomické zhodnocení

5.1 Porovnání cen baterií a palivových článků

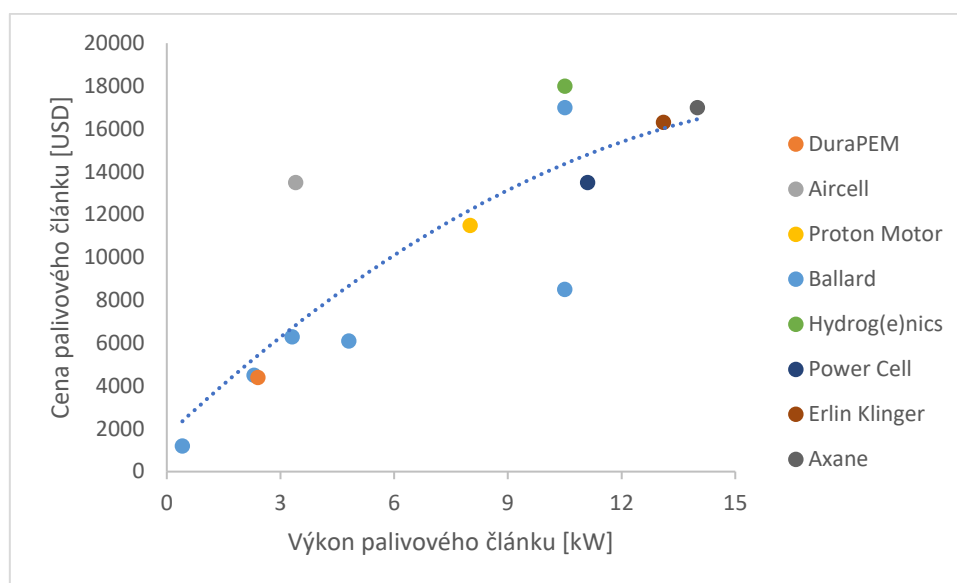
U dopravních prostředků poháněnými vodíkovými technologiemi je v kombinaci palivový článek s baterií. V dopravním prostředku můžeme použít výkonný palivový článek s nízkokapacitní baterií a tím se hlavním zdrojem energie stává elektrická energie získaná z vodíku. Popř. je možné použít méně výkonný palivový článek s vysokokapacitní baterií a v tomto případě je palivový článek využíván jako prodlužovač dojezdu. Prodlužovač dojezdu je vhodný např. pro trolejbusy, jež budou moci díky tomu i část trasy jezdit mimo místa, s nataženými trolejemi a tím se stanou mnohem variabilnějším dopravním prostředkem.

Na prvním obrázku je porovnání kapacity současně používaných baterií v automobilech jednotlivých výrobců vozů vůči jejich pořizovací ceně.



Obr. 11 Cena baterií používaných v současných elektromobilech (14)

Na druhém obrázku jsou porovnány výkony palivových článků s jejich cenou podle jednotlivých výrobců. Cena repasovaných palivových článků se pak pohybuje přibližně kolem 50 % původní ceny nového článku.



Obr. 12 Ceny palivových článků

Při využití velkého množství vysokokapacitních baterií, je nutné zajistit dostatek elektrické energie na pokrytí spotřeby při nabíjení.

Dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2018 ze dne 20. listopadu 2018 jsou od 1. ledna 2019 **regulované ceny při překročení hodnoty rezervovaného příkonu a výkonu** stanoveny následovně:

bod 4.16: „Cena za rezervovanou kapacitu pro odběr z distribuční soustavy je uplatňována na kalendářní rok s měsíční cenou za roční rezervovanou kapacitu nebo na kalendářní měsíc s měsíční cenou za měsíční rezervovanou kapacitu, přičemž měsíční cenu za roční rezervovanou kapacitu lze kombinovat s měsíční cenou za měsíční rezervovanou kapacitu pro daný kalendářní rok. Došlo-li v odběrném nebo předávacím místě ke zvýšení roční rezervované kapacity v průběhu kalendářního roku, účtuje se platba za zvýšenou kapacitu počínaje kalendářním měsícem, pro který bylo navýšení roční rezervované kapacity uplatněno. Roční rezervovanou kapacitu lze v odběrném nebo předávacím místě snížit až po uplynutí doby 12 měsíců od poslední změny výše roční rezervované kapacity, pokud se smluvní strany nedohodnou jinak. Měsíční cena za roční rezervovanou kapacitu je na hladině velmi vysokého napětí **74 152 Kč/MW** a měsíc a na hladině vysokého napětí **174 541 Kč/MW** a měsíc. Měsíční cena za měsíční rezervovanou kapacitu je na hladině

velmi vysokého napětí **82 472 Kč/MW** a měsíc a na hladině vysokého napětí **194 125 Kč/MW** za měsíc."

bod 4.29: „Cena za překročení rezervovaného příkonu podle vyhlášky o podmínkách připojení k elektrizační soustavě pro místo připojení zákazníka, výrobce elektřiny nebo provozovatele lokální distribuční soustavy sjednaného ve smlouvě o připojení je rovna čtyřnásobku pevné měsíční ceny za měsíční rezervovanou kapacitu podle bodu 4.16.“

bod 4.31: „Cena za překročení rezervovaného výkonu podle vyhlášky o podmínkách připojení k elektrizační soustavě pro místo připojení výrobce elektřiny, zákazníka, do jehož odběrného místa je připojena výrobní elektřiny nebo provozovatele distribuční soustavy sjednaného ve smlouvě o připojení je rovna za každý kW překročení na hladině velmi vysokého napětí **357 Kč/kW/měsíc**, na hladině vysokého napětí **851 Kč/kW/měsíc** a na hladině nízkého napětí s výjimkou mikrozdrojů při zjednodušeném připojení **1 585 Kč/kW/měsíc**." (15)

5.2 Porovnání nákladů na snížení emisí skleníkových plynů

Vodíkové technologie v dopravě nejsou jedinou možností pro snížení emisí oxidu uhličitého, proto je nutné investice do této technologie porovnávat i s jinými technologiemi snižující emise oxidu uhličitého. Z toho porovnáním je možné určit účinnost investovaných peněz oproti jiným možnostem se stejnou účinností eliminace oxidu uhličitého v ovzduší.

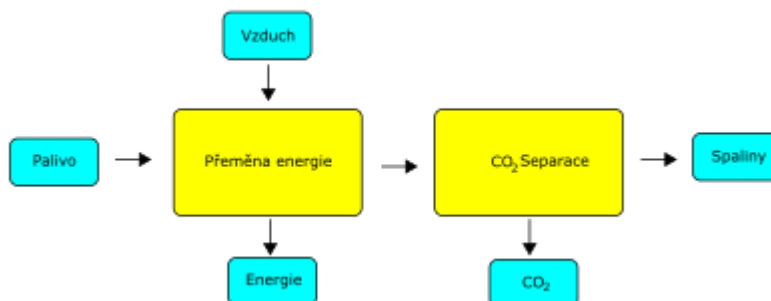
Jako druhá metoda oproti vodíkové technologii byla vybrána technologie CCS (Carbon Capture and Storage). Jejíž princip je popsán níže. V současné době není v ČR vybudována potrubní síť pro transport zachyceného oxidu uhličitého touto metodou a není vybudováno, žádné úložiště, proto koncept byl postaven na uskladnění oxidu uhličitého mimo ČR se závozem pomocí kamionů s návěsem mající

Princip CCS metody:

Pro likvidaci CO₂, tj. jeho zachycení a uložení (CCS – Carbon Capture and Storage) je obecný řetězec činností představován sledem akcí: zachytit (oddělit, zkoncentrovat) – dopravit do místa uložení – uložit.

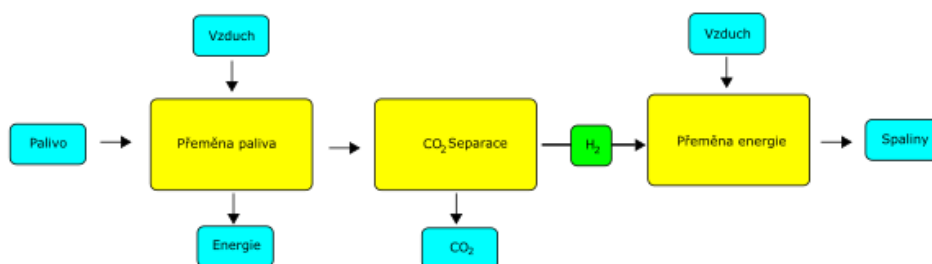
Obvyklé dělení technologií pro zachycení (vydělení) CO₂ je:

Post-combustion = zachycování ze spalin po spalování paliva vzduchem v běžných (stávajících) spalovacích zařízeních.



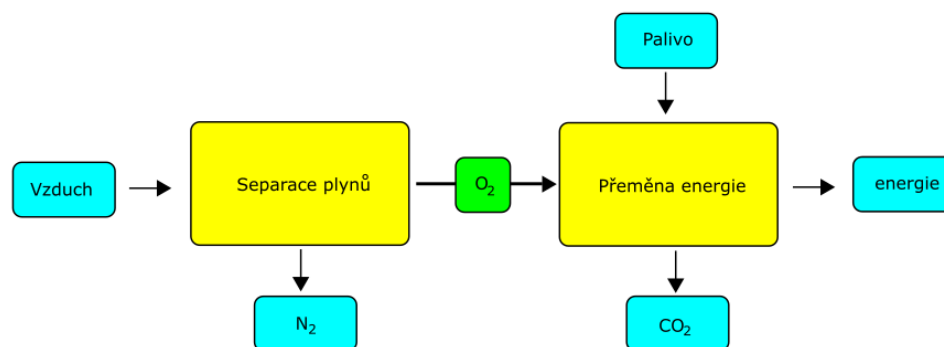
Obr. 13 CCS metoda schéma 1

Pre-combustion = zachycení uhlíku ve formě CO₂ před spalovacím procesem. Sem patří především IPPZ – Integrovaná paroplynová zařízení (angl. IGCC) doplněná o proces CCS, kdy surovina (uhlí) je nejprve zplyněna, pak je případně ještě provedena konverze CO na CO₂ vodní parou (tzv. shift konverze), CO₂ je separován a zbylý plyn (převážně vodík) je teprve spalován



Obr. 14 CCS metoda schéma 2

Oxy-combustion (někdy též označované souhrnně jako oxyfuel, lze se setkat i s výrazem Denitrogenation) = spalování v kyslíku.

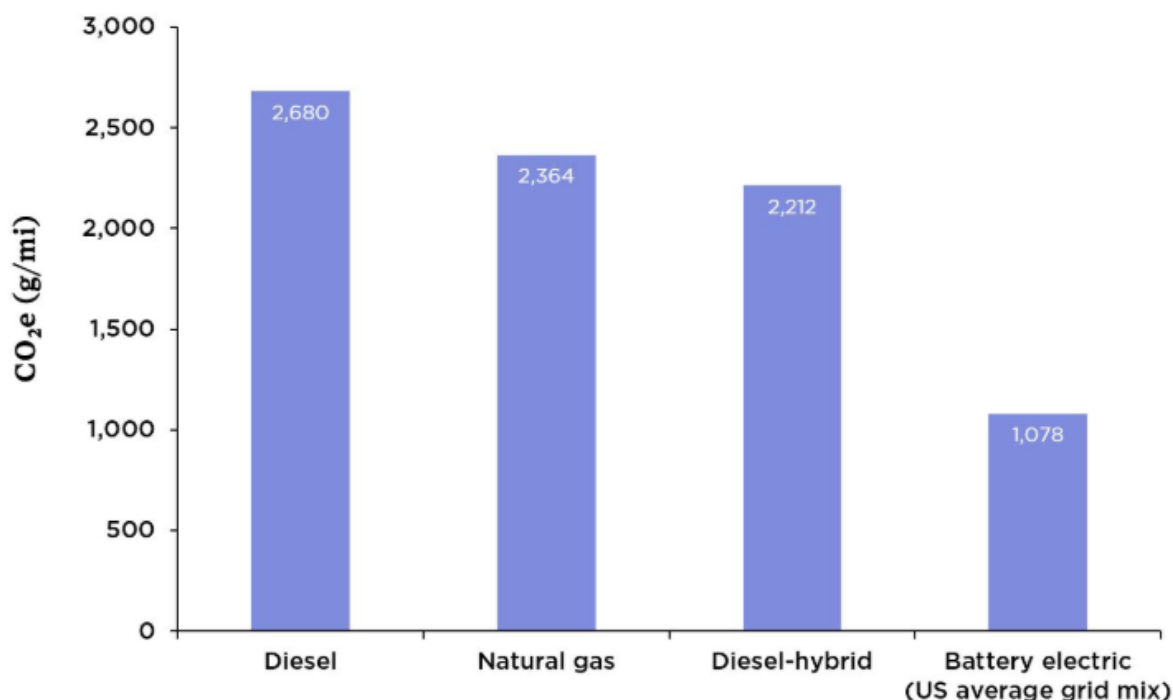


Obr. 15 CCS metoda schéma 3

Někdy je uváděna ještě samostatně kategorie „Chemical looping“ (chemická smyčka nebo okruh). Jedná se o princip převzatý z více než 40 let starého postupu zplyňování uhlí a biomasy tuhým přenašečem kyslíku. Princip spočívá ve dvou oddělených reaktorech, mezi kterými cirkuluje tuhá látka, která přenáší kyslík ze vzduchu do zplyňovacího reaktoru. Zvýšením toku tuhé látky lze docílit úplného spalování. Takto upravenou technologii je pak možné zařadit formálně do 3. skupiny, jako modifikaci spalování kyslíkem, protože výsledné spaliny jsou (měly by být) stejné, liší se však způsob dodávky kyslíku palivu. (16)

Při modelové situaci, kdy budou postaveny tři čerpací stanice ve třech městech. Každá stanice obsluhuje deset dvanácti metrovými autobusy, jenž denně ujedou v průměru 200 km. Při této situaci se ročně ušetří 3700 tun oxidu uhličitýho ekvivalent (vlivy všech ostatních skleníkových plynů přepočítán na oxid uhličitý). V tomto případě, pro 3700 tun ročně, by musely být vynaloženy prostředky v hodnotě **25 480 000 Kč/rok** (poměrná část přepočtena na 3700 tun/rok). To by ale znamenalo, že by musela být vybudována celá CCS technologie (záchyt 1 520 000 tun/rok oxidu uhličitýho) a pak by se přeprodávala poměrná část.

Life cycle global warming emissions from different types of transit buses



Obr. 16 Emise oxidu uhličitého u různých druhů pohonu autobusů (17)

Pro vodíkové technologie byly zvoleny dvě alternativy, a to tři čerpací stanice napojené na chemický průmysl dodávající vodík, anebo tři čerpací stanice s vlastním elektrolyzérem. Oba scénáře jsou navzájem připočítatelné přímou úměrou do potřebného poměru.

Náklady na pořízení autobusů nejsou započítány, protože s dotačními možnostmi vychází pořízení vodíkového autobusu na stejné prostředky, jako pořízení dieselového, a tím nevznikají náklady navíc oproti konvenčnímu pohonu.

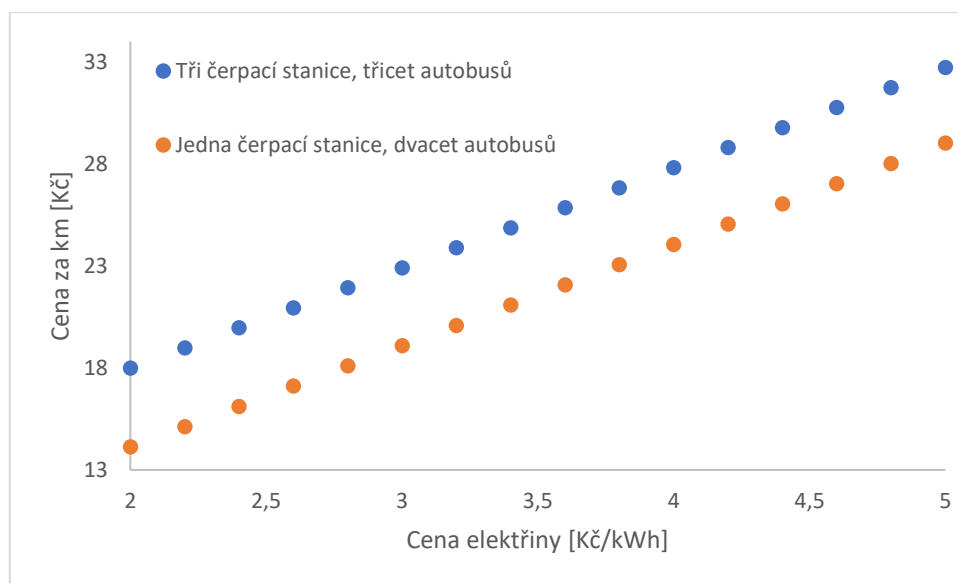
Tab. 5.1 Teoretické zvýšení ročních nákladů oproti dieselovému pohonu

	Vodík dodávaný z chemičky	Vodík získaný z elektrolyzy
Roční náklady na čerpací stanice (3 čerpací stanice)	17 666 667 Kč	17 666 667 Kč
Roční náklady na nákup H ₂ (30 vozů, 200 km/den)	16 372 440 Kč	-
Roční náklady na DEPA (H ₂ senzory, ventilace)	250 000 Kč	250 000 Kč

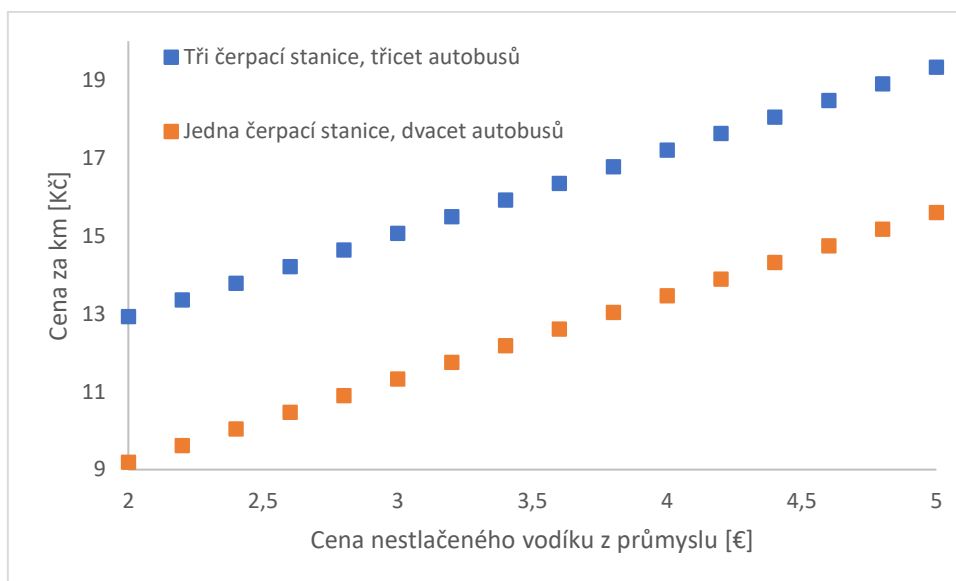
Náklady na naftu (30 vozů, 200 km/den)	19 053 000 Kč	19 053 000 Kč
Roční náklady na elektřinu	1 040 688 Kč	47 293 488 Kč
Roční náklady elektrolyzéru	-	4 450 000 Kč
Celkové náklady oproti dieselu	16 276 795 Kč	50 607 155 Kč

Při odhadu nákladů bylo počítáno s cenou nestlačeného vodíku z chemického průmyslu 3,5 €/kg, a pro elektrolyzu cena elektřiny 4,4 Kč/kWh.

U výroby vodíku elektrolyzou tvoří hl. část nákladů el. proud, který při cenové hladině 4,4 Kč/kWh tvoří přibližně 75 % nákladů na výrobu. Elektrolyzu vody je samozřejmě možné kombinovat s fotovoltaikou. Při použití solárních panelů o ploše 550 m² by odhadované roční náklady klesly na **47 000 000 Kč**. Při kombinaci s větrnou elektrárnou o výkonu 2 MW (předpokládaná životnost větrné elektrárny 25 let) se roční náklady na vodík pohybují kolem **39 800 000 Kč**.



Obr. 17 Náklady za výrobu a distribuci vodíku (bez pořizovacích nákladů za autobusy) na ujetý kilometr vs cena elektřiny



Obr. 18 Náklady za výrobu a distribuci vodíku (bez pořizovacích nákladů za autobusy) na ujetý kilometr vs nákupní cena vodíku z průmyslu

6 Závěr

Bude dopracováno...

- Nutnost dotací pro dopravce, pro pořízení autobusů, úprav dep a čerpací stanic
- Ekonomicky nejvýhodnější je odpadní vodík z chemického průmyslu
- Pilotní projekt vodíkových autobusů směřovat do Ústí nad Labem

7 Bibliografie

1. ISO/TS 19880:2016 - New technical document for hydrogen stations. 2016.
2. AFC TCP 2019 Survey on the Number of Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Refueling Stations and Targets. [Online] IEA Technology Collaboration Programme, 2019.
https://www.ieafuelcell.com/fileadmin/publications/2019-04_AFC_TCP_survey_status_FCEV_2018.pdf .
3. clean-sweep-dutch-town-gets-hydrogen-fuel-cell-street-cleaner. [Online] telegraph. [Citace: 4. 7 2020.] <https://www.telegraph.co.uk/cars/news/clean-sweep-dutch-town-gets-hydrogen-fuel-cell-street-cleaner/>.
4. gemeente. eerste-gemeente-afvalwagen-en-veegwagen-op-waterstof. [Online] [Citace: 4. 7 2020.] <https://www.gemeente.nu/ruimte-milieu/duurzaamheid/eerste-gemeente-afvalwagen-en-veegwagen-op-waterstof/?fbclid=IwAR3HrxflJeo7xoOe1CernYmYksTRqqd4nfzbrxkR0F38xjlrXqVYwX3XtGw>.
5. fuel-cell-use-in-the-logistics-industry. [Online] h2-international. [Citace: 4. 7 2020.] <https://www.h2-international.com/2018/03/06/fuel-cell-use-in-the-logistics-industry/>.
6. hydrogen-drives-clean-forklifts. [Online] fuelcellsworks. [Citace: 4. 7 2020.] <https://fuelcellsworks.com/news/hydrogen-drives-clean-forklifts/>.
7. hydrogen-forklifts. [Online] hydrogeneurope. [Citace: 4. 7 2020.] <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-forklifts>.
8. 2006-311#cast1. [Online] zakonyprolidi. [Citace: 4. 7 2020.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-311#cast1>.
9. mapa-s-vymezenym-uzemim. [Online] iti-ucha. [Citace: 20. 7 2020.] <http://www.iti-ucha.cz/o-iti/mapa-s-vymezenym-uzemim>.
10. *Assessment of CO₂ capture options from various points in steam methane reforming for hydrogen production*. Soltani, R., Rosen, M. A. a Dincer, I. 35, místo neznámé : International Journal of Hydrogen Energy, 2014, Sv. 39.
11. BRAXENHOLM, DANIEL. *A Summary of Available Purification Methods for Surplus Hydrogen Gas from Sodium Chlorate Production, and Status of Hydrogen Purity Analyses* . Gothenburg : CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2016.

12. *Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode*. Yang, Christopher a Ogden, Joan. místo neznámé : International Journal of Hydrogen Energy, 2007, Sv. 32.
13. Chen, Tan-Ping. *Hydrogen Delivery Infrastructure Options Analysis*. 2010.
14. evcompare. [Online] [Citace: 22. 7 2020.] <https://evcompare.io/market/>.
15. podpora-vyroby-elektriny. [Online] CEZ. [Citace: 6. 15 2020.] <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/podpora-vyroby-elektriny.html#:~:text=M%C4%9Bs%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD%20cena%20za%20ro%C4%8Dn%C3%AD%20rezervovanou,K%C4%8D%2FMW%20a%20m%C4%9Bs%C3%ADc.%22>.
16. Pavel Slouka, Tomáš Dupal. Výzkum a vývoj metod a technologií zachycování CO₂ v elektrárnách na fosilní paliva a ukládání do geologických formací v podmínkách ČR. místo neznámé : ÚJV Řež, a. s., 12 2009.
17. study-electric-buses-already-emit-less-carbon-than-diesel-buses-in-any-stat. [Online] greentechmedia. [Citace: 12. 7 2020.] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/study-electric-buses-already-emit-less-carbon-than-diesel-buses-in-any-stat#:~:text=An%20actual%20diesel%20bus%20gets,to%20Federal%20Transit%20Agency%20testing.&text=Expressed%20in%20grams%20of%20carbon,gas%20b>.
18. youtube. [Online] [Citace: 6. 6 2020.] <https://www.youtube.com/watch?v=OA8dNFivAF0>.