



Education in Hydrogen Technologies Area

VODÍKOVÉ PLNÍČÍ STANICE



**Co-funded by
the European Union**

Project is supported
within the Erasmus+ programme
2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

obsah	2
Úvodní text	4
1 Úvod – historie	4
1.1 Srovnání automobilu na vodík a elektromobilu	8
2 Legislativa týkající se provozu a údržby plnicích stanic.....	9
2.1 Základní názvosloví dle technických pravidel TPG 304 03	11
2.2 Vodíkové plnicí stanice – EN 17127 – Venkovní výdejní vodíkové čerpací stanice na plynný vodík s plnicími protokoly	15
2.3 Vodíkové plnicí stanice – ISO 19880-1:2020 - Plynný vodík – Čerpací stanice – Část 1: Obecné požadavky	16
2.4 Vlastnosti vodíku – EN 17124 – Vodíkové palivo – Specifikace produktu a zajištění kvality pro čerpací stanice s výdejem plynného vodíku – Aplikace palivových článků s protonvýměnnou membránou (PEM) pro vozidla	17
2.5 Proces plnění – EN 17127 (odkazuje na SAE J2601) – Plnicí protokoly pro lehká povrchová vozidla na plynný vodík	18
2.6 Plnicí přípojky – EN ISO 17268 – Připojovací zařízení pro plnění plynného vodíku do pozemních vozidel.....	20
3 Plnění technických plynů.....	20
3.1 Prostředky pro dopravu vodíku.....	22
3.1.1 Přeprava vodíku potrubím.....	23
3.1.2 Přeprava stlačeného vodíku pro silnici nebo železnici	23
3.1.3 Přeprava zkapalněného vodíku	24
3.1.4 Přeprava vodíku plynovodem ve směsi se zemním plynem.....	24
3.2 Bezpečnostní pravidla pro práci s technickými plyny	25
4 Konstrukční části plnicí stanice	26
4.1 Hlavní části vodíkové plnicí stanice	26
5 Provoz a údržba plnicí stanice	32
5.1 Podmínky bezpečného provozu vodíkové plnicí stanice.....	32
5.2 Kontrola provozu vodíkové plnicí stanice	34
5.3 Nehody vodíkových plnicích stanic	35
6 Typy plnicích stanic.....	36
6.1 Rozdělení podle typu vodíku	36
6.2 Rozdělení podle umístění.....	37

6.3	Rozdělení podle druhu vozidel	38
6.4	Rozdělení podle zdroje vodíku	38
7	Prognózy ve vývoji	40
8	Použité zdroje	44
9	Seznam obrázků	46
10	Seznam tabulek	46

Financováno Evropskou unií. Vyjádřené názory a stanoviska jsou však pouze názory a stanoviska autora (autorů) a nemusí nutně odrážet názory a stanoviska Evropské unie nebo Evropské výkonné agentury pro vzdělávání a kulturu (EACEA). Evropská unie ani EACEA za ně nemohou nést odpovědnost.

Tento modul je zaměřen na problematiku vodíkových plnicích stanic. Hlavním úkolem modulu je seznámit čtenáře se základní problematikou návrhu, konstrukce a provozu plnicích stanic. Úvodní část seznamuje čtenáře s historií a vývojem vodíkových plnicích stanic a jejich využitím v dopravě. Jsou zde informace o prvních vodíkových stanicích a jejich následném rozvoji. V této kapitole jsou uvedeny i základní informace o vodíku, ale pouze ve formě základního přehledu. V dalších částech jsou tyto informace doplněny o základní přehled legislativních požadavků na návrh a provoz vodíkových plnicích stanic. Tato část seznamuje čtenáře, také se základním přehledem norem, které ovlivňují budování a provoz plnicích stanic. V další kapitole jsou shrnuty informace o plnících technických plynů a okrajově také o výrobě vodíku a jeho dopravě na místo plnění. Důkladně je tato problematika zpracována v modulech, které jsou na ní přímo zaměřeny. Další kapitoly se věnují rozdělení plnicích stanic, jejich konstrukci, jednotlivých konstrukčním celkům a bezpečnosti provozu. Proto jsou zde uvedeny i případy nehod, které se během provozu plnicích stanic udály. Bezpečnost provozu nejen plnicích stanic, ale celkově vodíkových technologií je zcela zásadní pro jejich budoucí rozvoj a praktické využití. Poslední kapitola je věnována prognózám v budoucím vývoji jednak plnicích stanic a jejich využití v dopravě.

1 ÚVOD – HISTORIE

Klíčová slova: vodík, historie, osobní a nákladní doprava, plnicí stanice, elektromobil, infrastruktura, tankování, palivový článek, Island, emise, životní prostředí, ekologie

Vodík je nejlehčí plynný chemický prvek, je také třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Díky jeho vysoké reaktivitě se v přírodě vyskytuje téměř výhradně jako sloučenina. Atom vodíku se skládá z jednoho protonu v jádru a jednoho elektronu v obalu. Vodík při úniku nijak neznečišťuje životní prostředí a díky tomu se jedná o bezemisní zdroj energie. Vodík je

vysoce hořlavý, hoření ale nepodporuje. Vodík byl objeven v roce 1766 Henrym Cavendishem, v době objevu, ale vodík větší uplatnění nenašel. Jedno z prvních využití vodíku v dopravě přišlo s rozvojem balónového létání a vzducholodí, kde se vodík vedle helia používal jako nosný plyn. Pokud jde o používání vodíkových pohonů v současnosti, musíme rozlišit jeho použití v palivových článcích, resp. objev palivového článku samotného, a ve spalovacích motorech.

Princip palivového článku objevil v roce 1838 švýcarský vědec Christian Friedrich Schönbein, první fungující prototyp pak sestavil britský vědec Sir William Grove. Po vynálezu dynamo palivový článek upadl částečně v zapomnění. „Svou skutečnou renesanci zažil palivový článek v 60. letech 20. století. Bylo to především díky kosmickému výzkumu, protože článek má proti jiným zdrojům výhodnější poměr energie/hmotnost. Byly jimi například vybaveny kosmické lodi programu Apollo, ale jsou zdrojem energie i pro současné raketoplány.“ [3]

Přestože spalovací motor na vodík byl prvním patentovaným spalovacím motorem, a to již v roce 1808, kdy byl francouzský patent udělen vysloužilému majorovi Issacu de Rivazovi, jeho praktické použití spadá až do mnohem pozdější doby. Vodík v Rivazově motoru byl totiž získáván elektrolýzou vody a „návrh byl ... nedořešený a prakticky nepoužitelný“ [4]. První fungující vodíkový spalovací motor byl vytvořen až sto let po prvním francouzském patentu, ve 20. letech minulého století. Jeho použití bylo vyzkoušeno nejprve ve vzducholodních motorech firmy Ricardo a Maybach.

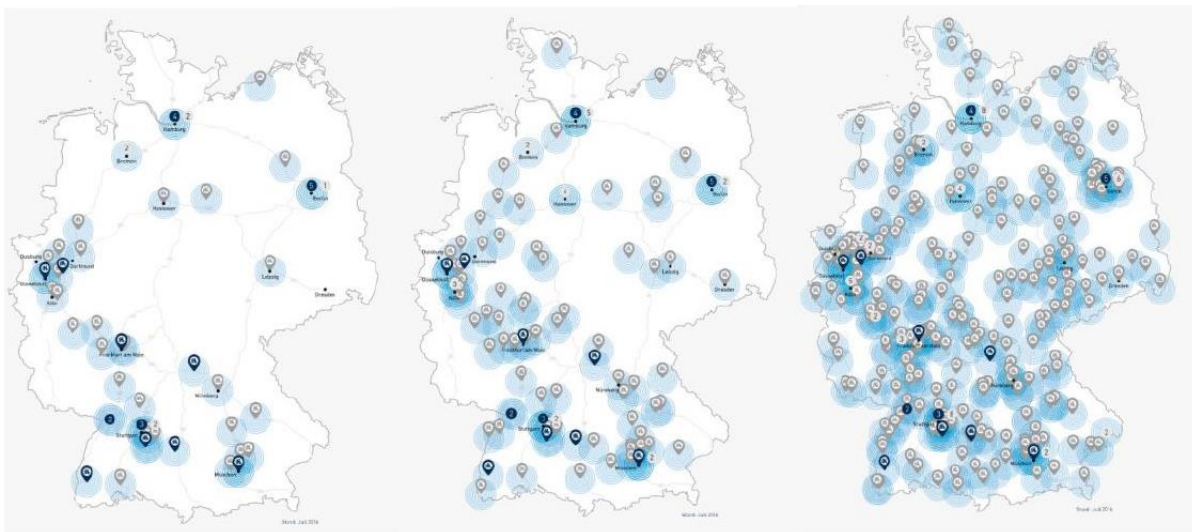
Se snahou omezování emisí v dopravě a rozvojem bezemisních zdrojů energie v dopravě se vedle elektromobility rozvíjí i využití vodíku jako zdroje energie. K čerpání vodíku do vozidel jsou nutné speciální plnicí stanice, které zabezpečují rychlé a bezpečné plnění nádrží automobilu. Vodík se čerpá v plynné formě stlačený na vysoký tlak. První vodíková plnicí stanice byla otevřena v roce 2002 v Reykjavíku. [2] Když ji společnost Shell v roce 2003 otevřela, jezdil na Islandu pouze jeden vůz na palivové články, Mercedes-Benz Sprinter, a tři autobusy Daimler Chrysler na vodíkový pohon, které se používaly v rámci vůbec prvního programu pro veřejnou dopravu v Evropské unii.

Island byl považován za ideální místo pro tento pilotní projekt, protože má dostatek levné a čisté vodní a geotermální energie, kterou lze využít k výrobě paliva elektrolýzou s minimálními emisemi oxidu uhličitého. Díky tomu se Island stal průkopníkem v přechodu na

vodíkové hospodářství a v roce 2007 na silnicích jezdilo více než 40 vozidel, převážně hybridních vozů Toyota Prius, což bylo po Kalifornii druhé místo.

V současnosti má největší počet vodíkových čerpacích stanic ze všech zemí na světě Japonsko. V září 2021 zde bylo v zemi v provozu 154 vodíkových čerpacích stanic. Postavení Japonska jako předního poskytovatele vodíkového automobilového paliva není překvapivé vzhledem k tomu, že japonské automobilky Toyota a Honda patří mezi pouhé tři výrobce automobilů na světě, kteří sériově vyrábějí vodíková auta. [3]

V Evropské unii je přibližně 136 vodíkových čerpacích stanic. První vodíkové čerpací stanice se začaly zavádět v roce 2016, jejich rozšíření však vážlo až do roku 2019, kdy se jejich počet během jediného roku téměř ztrojnásobil. Vodík je považován za rozhodující zdroj pro dosažení snížení emisí a jeho využití v dopravě podporuje mnoho vlád. V roce 2020 došlo v EU k poklesu počtu plnicích stanic o 10 stanic způsobeným odchodem Spojeného království z EU.

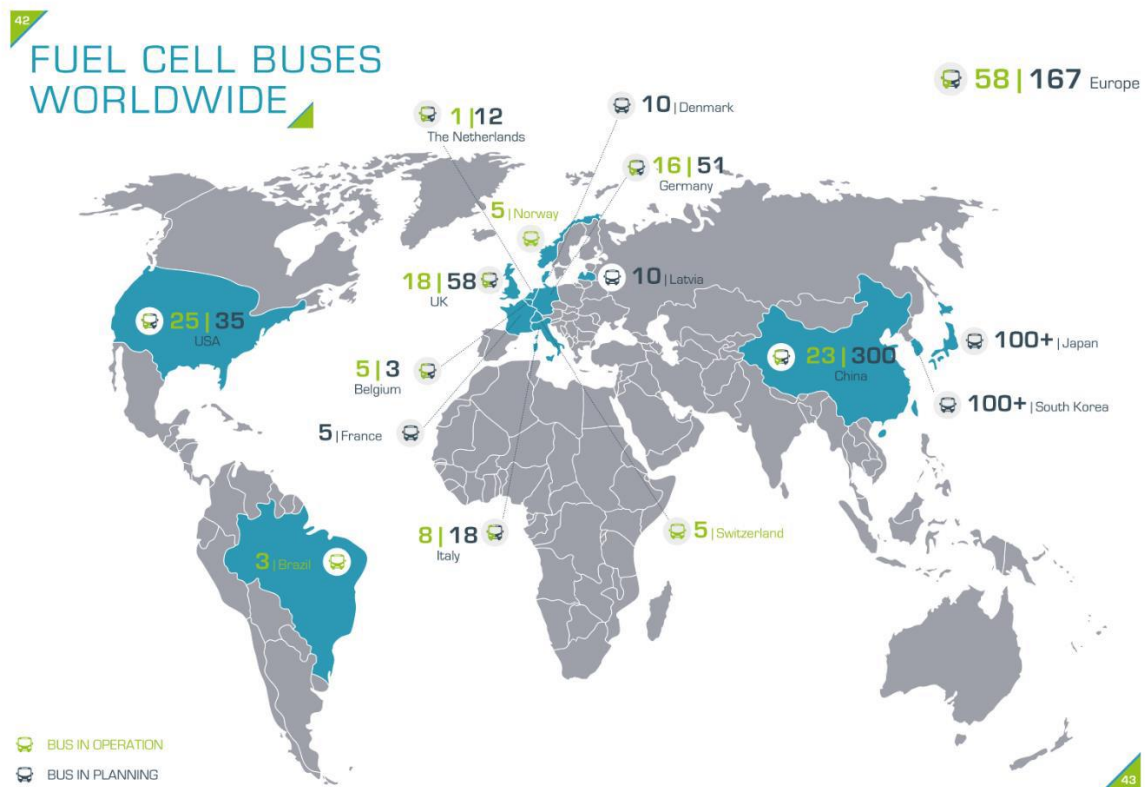


Obrázek 1 Síť plnicích stanic v Německu v roce 2016, 2018, 2023 [5]

První neveřejná plnicí stanice byla v ČR otevřena v 1999 v Neratovicích, další následovala v ÚJV Řež v roce 2020. V roce 2022 byla v ČR otevřena první veřejná plnicí stanice v Ostravě.

Globální poptávka po vodíku po Pařížské dohodě a nedávno i po COP26 se svět snaží najít inovativní technologie, které by nahradily fosilní paliva a snížily emise skleníkových plynů. Vodík se ukázal být jednou z takových alternativ, zejména pro odvětví dopravy. Celosvětová poptávka po vodíku činila v roce 2019 celkem 71 milionů tun, přičemž hlavním

spotřebitelem bylo rafinérské odvětví. Podle prognózy IEA by do roku 2070 mohla celková poptávka dosáhnout více než 500 milionů tun, přičemž největším spotřebitelem vodíku by měl být sektor dopravy. Kde současná infrastruktura selhává nejenže musí pokročit technologie, ale k tomu, aby země splnily své čisté nulové cíle, je třeba rozvíjet i potřebnou infrastrukturu. Pouze tři země v Evropě splnily požadavky EU na udržitelnou taxonomii pro výrobu vodíku pomocí elektřiny z vnitrostátních sítí. Většina zemí by vyráběla vodík s vysokou uhlíkovou náročností, pokud by využívala elektřinu ze sítě. Kromě uhlíkové náročnosti produktu byly podle průzkumu z roku 2021 největšími globálními problémy vodíkové technologie její složitá distribuce a nekonzistentní problémy s dodávkami a skladováním.



Obrázek 2 Současný stav a výhled rozšíření autobusů poháněných vodíkem. [4]

Tankování probíhá na plnicích stanicích. Celý proces je velmi podobný tankování tradičních fosilních paliv. Po připojení plnicí pistole na ventil nádrže zamáčknete páčku a celý systém se postará o zbytek práce. Plnění nádrží trvá 5 minut a poskytne autu plnou kapacitu.

Tankování je tedy obdobné jako u vozidel na CNG/LPG s tím rozdílem, že v případě vodíku jedná o stlačený nikoliv zkapalněný plyn. Tento rozdíl je způsoben tím, že pro zkapalnění vodíku je nutná teplota -253°C . Dosažení takto nízké teploty by bylo ekonomicky i technicky velmi náročné.

1.1 SROVNÁNÍ AUTOMOBILU NA VODÍK A ELEKTROMOBILU

Vzhledem k rychlému rozvoji elektromobily a sní související infrastruktury se nabízí srovnání tohoto druhu pohonu a pohonu na vodík. Přestože se této problematice věnují konkrétní moduly, je dobré zmínit zde alespoň základní informace.

V oblasti osobních vozidel je hlavní výhodou pohonu na vodík doba plnění, která dle typu vozidla a plnicí stanice bývá v řádu jednotek minut (5-10 min). Další výhodou je, že vozidlo s palivovým článkem nemusí vozit tolik akumulátorů, takže je lehčí než vozidlo s čistě elektrickým pohonem. Nižší hmotnost se projevuje větším dojezdem, který je u vozidel na vodík téměř srovnatelný s dojezdem vozidel se spalovacím motorem na fosilní paliva (cca 450–700 km). Jako jedna z výhod elektromobilů je možnost dobítí akumulátorů v domácích podmínkách. Tato výhoda je ovšem závislá na instalaci dobíjecího zařízení a nutnosti vlastního parkovacího stání. Největší nevýhoda osobních vozidel s pohonem na vodík v porovnání s elektromobily je zatím v nedostatečné síti plnicích stanic i malé nabídce osobních vozidel s pohonem na vodík.

Další oblastí dopravy, kde je možné využívat vodík jako palivo je zejména silniční nákladní doprava, městská hromadná doprava, pracovní a manipulační stroje a železniční doprava. V těchto oblastech se využití vodíku jako zdroje energie jeví jako efektivnější než pohon čistě elektřinou. Hlavní výhodou pohonu na vodík je výrazně nižší hmotnost těchto vozidel, rychlost plnění a jednodušší budování plnicí stanice oproti dobíjecí stanici s potřebným výkonem.

Kontrolní otázky:

- 1) Kde a kdy byla otevřena 1. plnicí stanice na vodík na světě? [Reykjavik, 2003]
- 2) Jaká země měla v roce 2021 největší počet plnicích stanic na světě? [Japonsko; 154]

- 3) Uveď alespoň dva výrobce osobních automobilů, kteří sériově vyrábí vozidla s pohonem na vodík. [Hyundai, Toyota, Honda]

2 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE PROVOZU A ÚDRŽBY PLNÍCÍCH STANIC

Klíčová slova: Legislativa, norma, ISO, IEC, SAE, VPS, kvalita vodíku, komunikace, plnicí přípojka, názvosloví, standardizace, platnost, bezpečnost, proces plnění, protokol

Tato kapitola je zaměřena na legislativní základy provozu a údržby vodíkových plnicích stanic (dále VPS). S touto problematikou je spojena i legislativa týkající se návrhu VPS, proto je část této kapitoly věnována i této problematice. Dodržování legislativních nařízení je nezbytné pro zajištění bezpečného provozu VPS a pro zabezpečení její životnosti. V této kapitole se čtenář seznámí se základním názvoslovím dle platné legislativy a vysvětlením základních pojmů. Legislativa v rámci EU je dána evropskými normami, ale některé provozní i technické detaily mohou být specifikovány v národních nařízeních, tyto detaily se týkají např. požárních nařízeních. Hlavními mezinárodními organizacemi, které vydávají technické normy jsou ISO (Mezinárodní organizace pro standardizaci), IEC (Mezinárodní elektrotechnická komise) a SAE (Sdružení automobilových inženýrů). V rámci těchto organizací jsou normy vypracovávány TC (Technický výbor) členů CEN (Evropská komise pro standardizaci) a členů CENELEC (Evropská komise pro elektrotechnickou standardizaci). Vývoj legislativních norem je velmi rychlý a v souvislosti s rozvojem vodíkových technologií dochází k neustálému vývoji a novelizacím jednak stávajících norem, a i ke vzniku nových. [17]

Hlavními TC CEN/CENELEC pro normy týkající se vodíku jsou:

CEN/CLC/TC 6 - Vodík

CEN/TC 23 Přepravní plynové lahve

CEN/TC 69 Průmyslové ventily

CEN/TC 185 Spojovací prvky

CEN/TC 197 Čerpadla

CEN/TC 234 Plynová infrastruktura

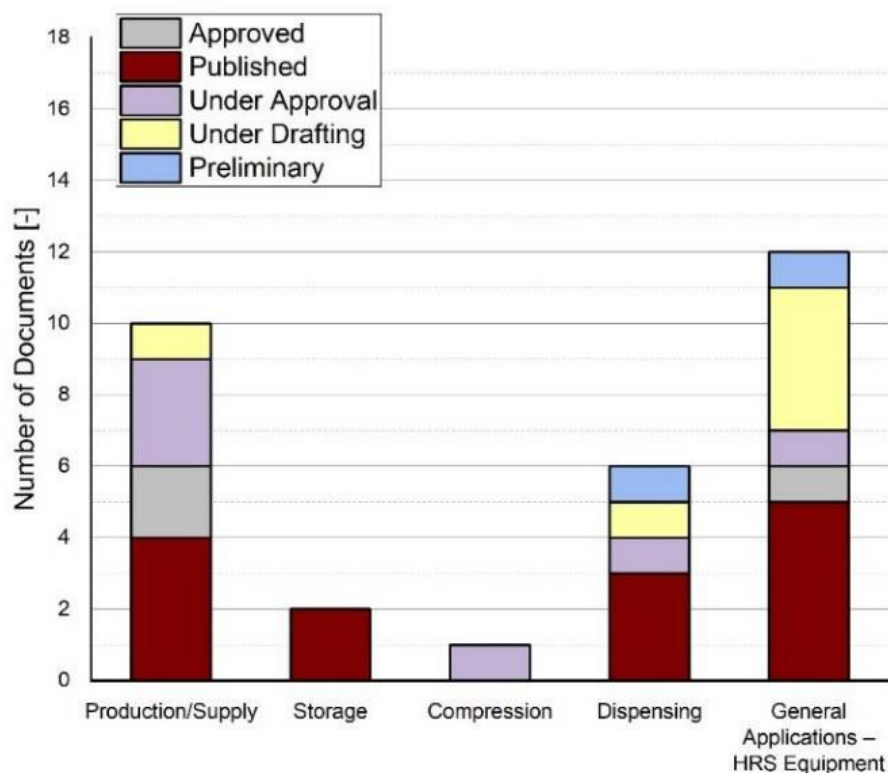
CEN/TC 235 Regulátory tlaku plynu a související bezpečnostní zařízení pro použití v plynárenství přenosu a distribuci plynu;

CEN/TC 236 Neprůmyslové ručně ovládané uzavírací ventily pro plyn a rozvod plynu zvláštní kombinace ventilů – ostatní výrobky

CEN/TC 238 Zkušební plyny, zkušební tlaky, kategorie spotřebičů a plynové spotřebiče. typy

CEN/TC 268 Kryogenní nádoby a specifické aplikace vodíkových technologií komise.

Protože problematika a rozsah těchto norem přesahuje rámec tohoto modulu budou níže popsány normy týkající se zvláště problematiky výstavby a provozu VPS. [17]



Obrázek 3 Stav vývoje norem CEN a CENELEC pro VPS. [17]

Legislativa týkající se VPS je v EU upravena zejména těmito normami [12]:

Vodíkové plnicí stanice – EN 17127 – Venkovní výdejní vodíkové čerpací stanice na plyný vodík s plnicími protokoly; ISO 19880-1:2020 - Plyný vodík – Čerpací stanice – Část 1: Obecné požadavky

Vlastnosti vodíku – EN 17124 – Vodíkové palivo – Specifikace produktu a zajištění kvality pro čerpací stanice s výdejem plyného vodíku – Aplikace palivových článků s protonvýměnnou membránou (PEM) pro vozidla

Proces plnění – EN 17127 (odkazuje na SAE J2601) – Plnicí protokoly pro lehká povrchová vozidla na plyný vodík

SAE J2799 – Hardware a software pro komunikaci mezi vodíkovými povrchovými vozidly a stanicemi

Plnicí přípojky – EN ISO 17268 – Připojovací zařízení pro plnění plyného vodíku do pozemních vozidel.

Než se budeme věnovat jednotlivým normám je nezbytné seznámit se se základním názvoslovím. Pro snazší orientaci byla v ČR vytvořena norma **TPG 304 03 – Plnicí stanice plyného vodíku pro mobilní zařízení**, která zjednodušuje základní orientaci nezbytnou pro návrhy, konstrukci, výrobu, obsluhu a údržbu VPS. Z této normy jsou zde zpracovány nezbytné termíny základního názvosloví. Znalost tohoto názvosloví je nutná pro správnou orientaci nejen v legislativních dokumentech, ale i technických předpisech a odborné literatuře.

2.1 ZÁKLADNÍ NÁZVOSLOVÍ DLE TECHNICKÝCH PRAVIDEL TPG 304 03

Bezpečná vzdálenost – vzdálenost mezi zdrojem nebezpečí a cílem (osoby, zařízení, okolní prostředí), která zajistí akceptovatelné riziko na předvídatelnou mez. Zdrojem nebezpečí je jak plnicí stanice vodíku, tak je také i cílem. Stejná je situace se zařízeními okolo plnicí stanice

vodíku vůči ní. Bezpečnou vzdálenost je možno zkracovat doplňkovými bezpečnostními opatřeními.

Bezpečnostní vzdálenost – minimální odstup mezi zdrojem nebezpečí a objektem, který je nutný ke zmírnění účinku pravděpodobně předvídatelné události a zabránění menšímu incidentu, který může přejít do většího incidentu.

Hodnocení rizik provozu plnicí stanice vodíku – určení kvantitativní nebo kvalitativní hodnoty rizika pro specifické situace a rozpoznaná nebezpečí plnicí stanice vodíku za běžných provozních podmínek. Zápis komise z hodnocení rizik je součástí projektové dokumentace.

Kompresor – zařízení, které stlačuje vodík přiváděný sacím potrubím alespoň na maximální provozní tlak nádrže mobilního zařízení.

Mechanická rozpojka – zařízení, které zabraňuje přetržení plnicí hadice, poškození výdejního zařízení a vytržení plnicí rychlospojky.

Maximální pracovní tlak (MWP) – maximální tlak, kterému lze plnicí stanicí vodíku v dané technologické pozici vystavit v provozu nezávisle na teplotě vodíku před zásahem prostředků na jeho bezpečné nepřekročení či snížení, např. pojistnými ventily.

Mimořádná událost – jakákoliv neplánovaná situace v běžném provozu plnicí stanice vodíku, která může způsobit nebo způsobí zdravotní újmu, poškození nebo ztráty na majetku, materiálech, environmentální újmu nebo ztrátu obchodních příležitostí.

Nebezpečná zóna – prostor, ve kterém je nebo se může vyskytnout výbušná atmosféra v takovém množství, že je potřeba přijmout speciální opatření při konstrukci, instalaci a používání plnicí stanice vodíku.

Neveřejná plnicí stanice vodíku – stanice, která slouží pro uzavřenou skupinu odběratelů, např. podniková stanice.

Nominální pracovní tlak (NWP) – tlak, na který je zařízení nastaveno při teplotě vodíku 15°C; typické hodnoty pro osobní automobily jsou 700 bar, pro autobusy a nákladní automobily 350 bar

Obsluha – odborně způsobilá osoba k obsluze zařízení

Omezovač průtoku vodíku – zařízení, které uzavře průtok vodíku v případě dosažení předem stanovené meze průtoku vodíku, která je zpravidla 60 g/s vodíku.

Plnicí přetlak – tlak, při kterém je plyn přiváděn do mobilního zařízení.

Plnicí přípojka – součást výdejního stojanu nebo přístroje, která se skládá z pružného spojení (plnicí hadice), mechanické rozpojky a plnicí rychlospojky.

Plnicí stanice vodíku – zařízení k plnění tlakových nádrží mobilních zařízení stlačeným vodíkem. Tvoří ji zdroj vodíku, kompresor, chladicí jednotka, vysokotlaké zásobníky, výdejní zařízení, popřípadě další příslušenství.

Pomaluplnicí stanice – plnicí stanice bez vysokotlakého zásobníku stlačeného vodíku, kde se nádrž mobilního zařízení plní přímo z výtlačného potrubí kompresoru.

Pracovní tlak (WP) – nejvyšší tlak, který je očekáván pro plnicí stanici vodíku v dané technologické pozici v normálním režimu provozu.

Prostor bez nebezpečí výbuchu – prostor, ve kterém se nepředpokládá přítomnost výbušné atmosféry v takovém množství, aby musela být přijata speciální opatření při konstrukci, instalaci a používání plnicí stanice vodíku.

Provozní tlaková zkouška těsnosti – zkouška těsnosti prováděná na provozovaném zařízení.

Provozní tlaková zkouška těsnosti – zkouška těsnosti prováděná na provozovaném zařízení.

Rychloplnicí stanice – plnicí stanice s vysokotlakým zásobníkem stlačeného vodíku, umožňující rychlé naplnění nádrže jednoho nebo více mobilních zařízení současně přepouštěním.

Sací potrubí – přívod vodíku od nízkotlakého zásobníku ke vstupu do kompresoru.

Tlaková zkouška těsnosti – postup ověření, zda zkoušené zařízení splňuje požadavky na těsnost.

Uživatel – obsluha mobilního zařízení nebo řidič mobilního zařízení, případně obsluha plnicí stanice vodíku, tj. osoba starší 18 let, seznámená s obsluhou plnicího zařízení stlačeného vodíku.

Veřejná plnicí stanice vodíku – stanice, která umožňuje prodej vodíku do mobilních zařízení široké veřejnosti podle zákona č. 311/2006 Sb.

Větrání – výměna vzduchu v prostoru působením přirozeného proudění (účinkem větru, teplotního gradientu), nuceného proudění (ventilátorem) nebo kombinací obou.

Vodík – plyn v kvalitě nezbytné pro práci palivových článků; podle ČSN ISO 14687-2 musí být čistota vodíku nejméně 99,97 %. (Detailní popis kvality vodíku je uveden v dalším textu).

Vodíkový filtr – zařízení pro odstranění mechanických nečistot ze stlačeného vodíku.

Tlaková zkouška pevnosti – postup ověření, zda zkoušené zařízení splňuje požadavky na mechanickou pevnost.

Výbušná atmosféra – směs vzduchu s hořlavými látkami, např. vodíkem, ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách v rozmezí od dolní meze výbušnosti (LEL) až po horní mez výbušnosti (UEL), ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do objemu celé nespálené směsi.

Výdejní přístroj – výdejní zařízení nevyhovující definici výdejního stojanu, které však plní funkci pro výdej stlačeného vodíku ve specifických podmínkách (vnitropodniková zařízení, malé plnicí stanice, vývojové plnicí stanice a další zařízení, pro která je toto řešení vhodné).

Výdejní stojan – výdejní zařízení stlačeného vodíku, které není pro obsluhu nutné otevírat a které je vybaveno stanoveným měřidlem pro měření množství vydaného vodíku pro obchodní účely (v kilogramech) a regulačním a zabezpečovacím zařízením, zajišťujícím dodržení předepsaných podmínek plnění.

Výdejní zařízení – zařízení k výdeji a měření množství odebraného stlačeného vodíku; jsou jimi výdejní stojany a výdejní přístroje.

Vysokotlaký zásobník – zařízení, které slouží k uskladnění stlačeného vodíku pro rychlé naplnění jednoho nebo více mobilních zařízení současně a zároveň snižuje počet spuštění kompresoru.

Zabezpečovací zařízení – zařízení na ochranu proti nebezpečné situaci, která automaticky způsobí přerušování plnění mobilního zařízení při úniku vodíku nebo při porušení plnicí hadice.

Zařízení pro chlazení vodíku – zařízení, které chladí vodík; zařazuje se za výtlakem kompresoru

2.2 VODÍKOVÉ PLNÍČÍ STANICE – EN 17127 – VENKOVNÍ VÝDEJNÍ VODÍKOVÉ ČERPACÍ STANICE NA PLYNNÝ VODÍK S PLNÍČÍMI PROTOKOLY

Tento dokument definuje minimální požadavky na zajištění interoperability vodíkových čerpacích stanic, včetně protokolů o čerpání, které vydávají plynný vodík do silničních vozidel (např. elektrických vozidel s palivovými články), která jsou v souladu s právními předpisy platnými pro tato vozidla. Požadavky na bezpečnost a výkon celé vodíkové čerpací stanice, řešené v souladu se stávajícími příslušnými evropskými a vnitrostátními právními předpisy, nejsou v tomto dokumentu zahrnuty. [13]

2.3 VODÍKOVÉ PLNÍCÍ STANICE – ISO 19880-1:2020 - PLYNNÝ VODÍK – ČERPACÍ STANICE – ČÁST 1: OBECNÉ POŽADAVKY

Jsou zde definovány minimální požadavky na konstrukci, instalaci, uvedení do provozu, provoz, kontrolu a údržbu, bezpečnost a případně výkonnost veřejných a neveřejných plnicích VPS, které vydávají plyný vodík pro lehká silniční vozidla. Informace obsažené v tomto dokumentu zahrnují také pokyny a požadavky pro plnění středně těžkých silničních vozidel. Dále je možné informace obsažené v tomto dokumentu aplikovat i pro čerpací stanice vodíku s jiným určením jako jsou např.:

- čerpací stanice pro motocykly, vysokozdvizné vozíky, tramvaje, vlaky, říční a námořní aplikace;
- čerpací stanice s vnitřním výdejem;
- rezidenční aplikace pro pohon pozemních vozidel;
- mobilní čerpací stanice
- neveřejné demonstrační čerpací stanice.

Tento dokument se však nezabývá dalšími specifickými požadavky, které mohou být nezbytné pro bezpečný provoz těchto čerpacích stanic.

Tento dokument obsahuje požadavky a pokyny týkající se následujících prvků čerpací stanice

- systém výroby/dodávky vodíku:
- dodávka vodíku potrubím, dodávka plynného a/nebo kapalného vodíku nákladními automobily nebo přívěsy pro skladování hydridů kovů;
- generátory vodíku na místě s využitím procesu elektrolýzy vody nebo generátory vodíku využívající technologie zpracování paliva;
- skladování kapalného vodíku;
- případně systémy čištění vodíku;

- stlačování;
- stlačování plynného vodíku;
- čerpadla a odpařovače;
- skladování plynného vodíku;
- předchlazovací zařízení;
- systémy pro dávkování plynného vodíku. [14]

2.4 VLASTNOSTI VODÍKU – EN 17124 – VODÍKOVÉ PALIVO – SPECIFIKACE PRODUKTU A ZAJIŠTĚNÍ KVALITY PRO ČERPACÍ STANICE S VÝDEJEM PLYNNÉHO VODÍKU – APLIKACE PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ S PROTONVÝMĚNNOU MEMBRÁNOU (PEM) PRO VOZIDLA

Tento dokument specifikuje kvalitativní charakteristiky vodíkového paliva vydávaného na vodíkových čerpacích stanicích pro použití v systémech vozidel s palivovými články s protonovou výměnnou membránou (PEM) a odpovídající hlediska zajištění kvality pro zajištění jednotnosti vodíkového paliva. [15]

Celkový podíl vodíku a kontaminujících plynů	
Minimální obsah čistého vodíku	99,97 %
Celkové množství plynů mimo vodík	300 μmol/mol
Maximální koncentrace jednotlivých kontaminujících plynů	
Voda (H ₂ O)	5 μmol/mol
Celkem uhlohydráty (metan)	2 μmol/mol
Kyslík (O ₂)	5 μmol/mol
Helium (He)	300 μmol/mol

Celkem dusík (N ₂) a Argon (Ar)	100 µmol/mol
Oxid uhličitý (CO ₂)	2 µmol/mol
Oxid uhelnatý (CO)	0,2 µmol/mol
Celkem surné sloučeniny (H ₂ S)	0,004 µmol/mol
Formaldehyd (HCHO)	0,01 µmol/mol
Kyselina mravenčí (HCOOH)	0,2 µmol/mol
Amoniak (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Celkem halogenidy	0,05 µmol/mol
Maximální koncentrace pevných částic	1 mg/kg

Tabulka 1 Požadavky na kvalitu vodíku pro vodíkové palivové články [8]

2.5 PROCES PLNĚNÍ – EN 17127 (ODKAZUJE NA SAE J2601) – PLNÍCÍ PROTOKOLY PRO LEHKÁ POVRCHOVÁ VOZIDLA NA PLYNNÝ VODÍK

Norma EN 17127 se v procesu plnění vychází z normy SAE J2601 – Plnicí protokoly pro lehká povrchová vozidla na plynny vodík. Norma SAE J2601 definuje protokol a procesní limity pro tankování vodíku do vozidel. Procesní limity (např. teplota dodávky paliva, jeho maximální průtok, konečný tlak a rychlost jeho dosažení) jsou závislé na vnějších faktorech jako je teplota okolí, teplota dodávaného paliva a tlak v zásobníku do kterého se bude vodík plnit. Norma SAE J2601 definuje standartní protokoly pro doplňování vodíku. Tyto protokoly jsou buď založené na vyhledávací tabulce, která využívá pevnou rychlost nárůstu tlaku v zásobníku, nebo na využití vzorce pro dynamickou rychlost nárůstu tlaku. V tomto případě se rychlost plnění vypočítává průběžně během procesu plnění. Při využití protokolu s vyhledávací tabulkou je známá hodnota tlaku vodíku dosažená na konci plnění, oproti tomu protokol využívající vzorec pro výpočet rychlosti nárůstu tlaku definuje maximální dosaženou hodnotu tlaku vodíku během procesu plnění. Oba protokoly umožňují plnění vodíku s komunikací (mezi plnicím zařízením a vozidlem) nebo bez komunikace. Pokud jde o plnění s komunikací je nutno ještě k normě SAE J2601 používat normu **SAE J2799 – Hardware a software pro komunikaci mezi vodíkovými povrchovými vozidly a stanicemi.**

Zásadním faktorem pro výkonnost plnění vodíku je schopnost VPS dosažení požadované teploty dodávaného vodíku. Podle teploty se dodávaný vodík dělí do tří kategorií označovaných písmene, „T“: T40, T30, T20. Kategorie T40 je nejchladnější. Norma SAE J2601 definuje protokoly plnění pro tlakové třídy 350 bar a 700 bar a tři kategorie teplot dodávky paliva (-40 °C, -30 °C, -20 °C). Definuje také dvě velikosti systémů pro skladování vodíku. První systém pracuje s tlaky 350 i 700 bar a jeho objem je 49,7l – 248,6l a druhý pracuje pouze s tlakem 700bar a jeho objem je 248,6l a více. [16]

Parametr	Limit
Minimální teplota vodíku	-40 °C
Maximální teplota vodíku	85 °C
Minimální tlak ve výdejním zařízení	0,5 MPa
Maximální tlak ve výdejním zařízení	87,5 MPa
Maximální průtok	60 g/sec.

Tabulka 2 Výkonnostní a bezpečnostní limity pro plnění vodíku dle SAE J2601

SAE J2799 – Hardware a software pro komunikaci mezi vodíkovými povrchovými vozidly a stanicemi.

Tato norma specifikuje požadavky na komunikační hardware a software pro plnění vodíkových povrchových vozidel (HSV), jako jsou vozidla s palivovými články, ale může být případně použita i pro těžká nákladní vozidla (např. autobusy) a průmyslové vozíky (např. vysokozdvizné vozíky) se zásobníkem stlačeného vodíku. Obsahuje popis komunikačního hardwaru a komunikačního protokolu, který lze použít k doplňování paliva do HSV. Záměrem této normy je umožnit harmonizovaný vývoj a implementaci rozhraní pro tankování vodíku.

2.6 PLNÍCÍ PŘÍPOJKY – EN ISO 17268 – PŘIPOJOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO PLNĚNÍ PLYNNÉHO VODÍKU DO POZEMNÍCH VOZIDEL

Tento dokument definuje konstrukční, bezpečnostní a provozní charakteristiky konektorů pro tankování plynného vodíku do pozemních vozidel. Tento dokument rozděluje plnicí přípojky na tyto tři základní části:

- Tlaková a ochranný kryt (namontovaný na vozidle)
- Tryska
- Komunikační zařízení (komunikace mezi plněným vozidlem a VPS)

Tento dokument je určený pro plnicí přípojky se jmenovitým pracovním tlakem do 70 MPa.

Provedení a druhy plnicích přípojek jsou zpracovány v samostatné části modulu.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaké jsou hlavní mezinárodní organizace, které vydávají technické normy? (ISO, IEC, SAE)
- 2) Norma EN ISO 17268 – Připojovací zařízení pro plnění plynného vodíku do pozemních vozidel je určena pro zařízení pracující, do jakého jmenovitého pracovního tlaku? (70 MPa)
- 3) Jaký je minimální obsah čistého vodíku určeného pro palivové články? (99,97 %)

3 PLNÍRNÝ TECHNICKÝCH PLYNŮ

Klíčová slova: vodík, distribuce, tlakové lahve, svazky lahví, plnění, produkce, doprava, skladování, technické plyny, bezpečnost, průmysl

Technické plyny jsou každodenní součástí našich životů, protože se využívají k výrobě velké většiny předmětů, které využíváme. Technické plyny jsou podstatnou součástí nejen

výrobních procesů v průmyslu, ale jsou nenahraditelné i ve zdravotnictví, potravinářství, elektrotechnice, výzkumu a mnoha dalších aplikacích. Jejich využívání tedy ovlivňuje nejen život každého z nás ale i životní prostředí ve kterém žijeme. Tento modul je zaměřen na vodík a s ním spojené technologie. V této části textu se budeme věnovat mimo vodíku i dalším technickým plynům. A dále zde najdete i základní informace o produkci technických plynů, jejich dopravě a distribuci. Plnírny technických plynů zabezpečují dodávky technických plynů k zákazníkům, plní prázdné zásobníky technických plynů a zajišťují jejich transport.

Výroba a distribuce technických plynů je proces, kterému se věnují mezinárodní společnosti s globální působností. Produkty jejich činnosti nejsou jen technické plyny, ale také chemické látky využívané v různých průmyslových odvětvích, zpracování odpadních produktů chemické výroby. Největšími výrobci a distributory vodíku na světě jsou např. společnosti Linde, Air Products, Messer, Air Liquide International, Cummins a další.

V plnárnách technických plynů je vodík skladován v nadzemních nebo podzemních ocelových zásobnících. Z těchto zásobníků je vodík dále plněn do přepravních nebo tlakových lahví. Tlakové zásobníky mohou být v příhodných místech nahrazeny podzemními zásobníky o velkém objemu. Většinou se jedná o podzemní prostory vzniklé těžbou. Tlak vodíku při skladování je přibližně 110 bar, vyšší tlaky se nepoužívají z důvodu možných úniků zemního plynu skrz horninový masiv. Výhodou podzemních zásobníků je jejich velká kapacita, navíc nezabírají místo na povrchu. Nevýhodou tohoto druhu skladování je výběr vhodné lokality vzhledem ke geologickým podmínkám.

Rozšiřování vozidel na vodík je podmíněné dostatečně hustou sítí plnicích stanic, které musí být pro uživatele snadno dostupné. Z tohoto důvodu je nutné budovat plnicí stanice ve městech a okolí silnic, kde nejsou vhodné zdroje vodíku. Proto je nezbytné vodík do plnicích stanic dovážet podobně jako se to děje v případě čerpacích stanic na fosilní paliva nebo LPG/CNG. V místě výroby se vodík naplní do vhodných nádob určených k jeho přepravě a následně je převezen na místo konečné distribuce.

Z důvodu specifických vlastností vodíku vyvstává při jeho uskladnění, dopravě a distribuci řada problémů, nejzásadnější jsou:

- Extrémně nízká objemová hustota (3,2x nižší než u zemního plynu a 2700x nižší než u benzínu).
- Stlačený vodík může být výbušný – riziko exploze
- Předpisy pro skladování vodíku jsou ve světě nejednotné
- Náročné míchání vodíku se zemním plynem při jeho přepravě ve stávajících plynovodech
- Vodík může zvyšovat křehkost materiálů ze kterých jsou vyrobena dopravní a skladovací zařízení [18]

3.1 PROSTŘEDKY PRO DOPRAVU VODÍKU

Tato část textu seznámí čtenáře s dopravou vodíku na místo konečné distribuce, prostředky pro jeho dopravu, a to ve vztahu k plnicím stanicím. Protože problematika přepravy vodíku z místa výroby na místo konečného plnění je pro plnicí stanice zcela zásadní budeme se v následující části textu věnovat prostředkům pro přepravu vodíku. V případě plnicích stanic je zcela zásadní, aby bylo zajištěno dostatečné zásobování vodíkem pro pokrytí denní spotřeby, a to i v případě, že budou tyto stanice umístěné v husté zástavbě se špatnou dopravní dostupností pro nákladní vozidla.

Pro vodíkové plnicí stanice je možné využívat zejména tři druhy přepravy vodíku:

- 1) Přeprava vodíku potrubím
- 2) Přeprava stlačeného plynného vodíku po silnici nebo železnici
- 3) Přeprava zkapalněného vodíku
- 4) Přeprava vodíku plynovody ve směsi se zemním plynem

3.1.1 PŘEPRAVA VODÍKU POTRUBÍM

Vodíkové potrubí se vyrábí z kovu nebo plastů a používá se k distribuci vodíku buď prostřednictvím stávající infrastruktury zemního plynu, nebo budováním nových potrubí výhradně pro přepravu vodíku. Stavba nových vodíkových potrubí vyžaduje značné počáteční investice, ale je to zřejmě nejjednodušší způsob distribuce tohoto plynu. Na druhou stranu využití stávající infrastruktury zemního plynu vyžaduje nižší počáteční náklady, ale je třeba pečlivě sledovat, zda je ve směsi plynů správný podíl vodíku. Jsou také nutné další investice do technologie oddělení vodíku od zemního plynu po dosažení místa určení. [18] Přeprava vodíku potrubím je výhodná v místech jeho výroby pro zásobování vodíkové plnicí stanice určené pro vozidla vnitropodnikové dopravy nebo pro zásobování veřejné vodíkové plnicí stanice umístěné v blízkém okolí výroby vodíku.

3.1.2 PŘEPRAVA STLAČENÉHO VODÍKU PRO SILNICI NEBO ŽELEZNICI

Přeprava stlačeného vodíku po silnici nebo železnici je v současnosti nejrozšířenějším druhem přepravy vodíku. Vodík se přepravuje v tlakových nádobách při tlaku 200 bar (Určeno mezinárodní smlouvou Agreement on International Carriage of Dangerous Goods by Road – ADR). [19] Pro příklad využití kamionové přepravy vodíku a benzínu můžeme využít srovnání publikované ve „Vodíkové strategii České republiky“: *Čtyřicetitunový kamion může na čerpací stanici dopravit 26 tun benzínu. Stejný kamion vezoucí stlačený vodík může převézt 500 kg vodíku (v tlakových lahvích při tlaku 200 bar). To proto, že tlakové nádoby musí vydržet velmi vysoký tlak. Kamion s vodíkem váží téměř stejně jako kamion bez vodíku, rozdíl je jen těch 500 kg. Nádrž na stlačený vodík je robustní. Kvůli nízkému množství vodíku přepravovaného v jednom návěsu je tento způsob přepravy ekonomický pouze do vzdálenosti kolem 150 km.* [19] Při přepravě stlačeného vodíku po silnici nebo železnici odpadá nutnost budování přepravní infrastruktury a je možné vhodně dávkovat přepravované množství vodíku. Pro konečnou distribuci vodíku je možné využít přepravní nádoby jako mobilní zásobníky pro plnicí stanice, tím odpadá nutnost přečerpávání vodíku

do zásobníku plnicí stanice. Nevýhodou je omezená vzdálenost zvláště v případě silniční přepravy a riziko dopravních nehod. [19]

3.1.3 PŘEPRAVA ZKAPALNĚNÉHO VODÍKU

Alternativní cestou, která by mohla výrazně zvýšit množství přepravovaného vodíku, je jeho zkapalnění. Kapalný vodík je skladován při teplotě -253°C . S tím souvisejí zvýšené nároky na použité materiály a vysoké energetické nároky na zkapalnění, zásadní nevýhodou je tedy ztráta kolem 40 % energie při samotném zkapalňování (Devinn, Irena).

Další možností, jak zvýšit přepravovaný objem vodíku je jeho zkapalnění. Kapalný vodík je skladován při teplotě -253°C . S dosažením takto nízké teploty souvisí vysoké energetické náklady na zkapalnění a dále vysoké nároky na materiály pro skladování zkapalněného vodíku. Při zkapalňování dochází ke ztrátě až 40% energie uložené ve vodíku. [19] Výhodou tohoto druhu přepravy je možnost přepravení velkých objemů vodíku na značné vzdálenosti (do doby, než se vybudují vhodné plynovody). Nevýhodou je energetická náročnost a v případě silniční přepravy riziko dopravních nehod. [19]

3.1.4 PŘEPRAVA VODÍKU PLYNOVODEM VE SMĚSI SE ZEMNÍM PLYNEM

Tento druh přepravy využívá stávající síť plynovodů určených pro přepravu zemního plynu, do které by se přidávalo určité množství vodíku. V současné době je plynárenská síť technicky připravena na příměs vodíku do 2 %. Po technických úpravách by bylo teoreticky možné přepravovat až 10 % vodíku. Hlavní nevýhodou tohoto druhu přepravy je nutnost oddělení vodíku od zemního plynu u koncových odběratelů. Výhodou je potom vyšší rychlost průtoku směsi zemního plynu a vodíku potrubím. Tento způsob přepravy je ekonomicky efektivní při vysokých objemech přepravy a při koncentraci většího množství odběratelů na jednom regionu. Podle Německé vodíkové strategie je nutné pro přepravu 100 000 tun vodíku použít 1200 vagónů, 600 lodí nebo potrubí o průměru 82 cm. [19]

3.2 BEZPEČNOSTNÍ PRAVIDLA PRO PRÁCI S TECHNICKÝMI PLYNY

Práce s technickými plyny je extrémně nebezpečná. Nesprávné zacházení s těmito látkami může mít vážné následky, ohrožující zdraví a život. V závislosti na typu použitého plynu existují následující kategorie nebezpečnosti:

- toxická nebezpečí,
- nebezpečí požáru,
- nebezpečí výbuchu.

Bezpečná práce s plyny by měla vždy začínat vytvořením vhodné infrastruktury, jako jsou vnitřní a vnější plynoinstalace, jednostranné a oboustranné a automatické expanzní stanice plynu, vysokotěsné instalace z měděných nebo ocelových trubek, jakož i doplňkové zařízení (redukční ventily, uzavírací ventily). Místnosti, ve kterých může vznikat výbušná atmosféra, musí být nejprve vybaveny aktivními bezpečnostními a ventilačními systémy. Laboratoře nebo výrobní haly by měly být vybaveny detekčními systémy vhodnými pro daný typ plynu a účinnými výfukovými systémy pro reakční plyny. Kromě toho by mělo být zajištěno účinné větrání místností, plynových skříní a skladů. Lahve se stlačenými plyny by měly být chráněny proti převrácení, přehřátí a poškození. Po ukončení práce by měly být plynové láhve odstraněny a přemístěny na místo, kde nepředstavují nebezpečí. Pamatujte, že v případě požáru nebo nesprávné přepravy existuje vysoké riziko výbuchu (pro přepravu by měly být použity speciální vozíky). Dále nesmíte čistit válce svépomocí. Rovněž je zakázáno skladování hořlavých plynů s neslučitelnými látkami, např. oxidační plyny s hořlavými nebo agresivními plyny. Znalost základních pravidel a předpisů je klíčem k bezpečné práci s plyny. Vyplatí se znát pravidla a předpisy a vzájemně se o bezpečnosti vzdělávat.

Kontrolní otázky:

- 1) Dokážeš vyjmenovat alespoň tři druhy přepravy vodíku? (Přeprava potrubím; Přeprava stlačeného vodíku po silnici nebo železnici, Přeprava zkapalněného vodíku po silnici nebo železnici, Přeprava vodíku potrubím ve směsi se zemním plynem)

- 2) Proč je nutné budovat plnicí stanice ve městské zástavbě nebo v blízkosti silnic? (z důvodu snadné dostupnosti)
- 3) Jaká jsou rizika při manipulaci s technickými plyny? (riziko výbuchu, riziko požáru, toxická rizika)

4 KONSTRUKČNÍ ČÁSTI PLNÍCÍ STANICE

Zde se čtenář seznámí s hlavními částmi vodíkové plnicí stanice, jejich účelem a funkcí. Dále zde najde informace, jak jsou jednotlivé části vodíkové plnicí stanice zapojeny, tak aby tvořily funkční a bezpečný celek. Protože vodíková plnicí stanice je složité zařízení, které kombinuje prvky elektrické, mechanické a vysokotlaké je pro její provozní údržbu a opravy nezbytné znát funkci jednotlivých částí, a i bezpečností předpisy pro jejich údržbu a opravy.

4.1 HLAVNÍ ČÁSTI VODÍKOVÉ PLNÍCÍ STANICE

Vodíková plnicí stanice se skládá z těchto částí:

- Zásobník na vodík (podzemní, nadzemní)
- Kompresor
- Výměník tepla
- Vysokotlaký zásobník
- Chladicí dávkovací zařízení
- Výdejný stojan
- Plnicí rychlospojka

Zásobník na vodík – Vodík, který bude ve vodíkové plnicí stanici plněn do vozidel je nejčastěji skladován stlačený v tlakových zásobnících. Vzhledem k velmi malé molekule vodíku je nutné pro zásobníky zvolit takový materiál, který zabraňuje únikům vodíku přes strukturu materiálu. Tlakové zásobníky se nejčastěji vyrábí z oceli případně z kompozitních

materiálů. V případě kompozitních zásobníků je uvnitř zásobníku ocelová nebo hliníková vrstva zabraňující úniku vodíku. V zásobnících je vodík uchováván pod tlakem 200 bar. Tento systém skladování vodíku je dlouhodobě ověřený a vyzkoušený. Nevýhodou jsou značné rozměry zásobníků zvláště v případě plnicích stanic, které mají obsloužit větší množství vozidel. Tlakové zásobníky mohou být pevnou součástí plnicí stanice a vodík je do nich dopravován potrubím nebo je na místo dopraven nákladními automobily a následně do zásobníku přečerpán. Druhou možností je využití mobilních zásobníků, do kterých je vodík naplněn v plnárně technických plynů a tento zásobník je potom silniční nebo železniční dopravou přepraven k plnicí stanici. Tlakové ocelové, případně kompozitní zásobníky, mohou být umístěné na povrchu, případně je možné umístit je pod zem.

V některých případech je možné vyrábět vodík přímo na místě, nejčastěji se k výrobě vodíku na místě využívá elektrolýza, v tomto případě odpadají náklady na přepravu vodíku k plnicí stanici.

Pro skladování vodíku na povrchu se používají zejména tyto dva systémy:

Velkoobjemový svazek – stojan obsahující plynové lahve. Všechny plynové láhve velkoobjemového svazku jsou navzájem spojeny trubkami a ventily. Tento koncept skladování je ideálně vhodný, pokud má být systém následně rozšířen, protože může být spojen libovolný počet svazků. S tímto konceptem lze skladovat také velmi malá množství.



Obrázek 4 Velkoobjemový svazek [20]

Trubkový zásobník – tyto skladovací nádrže se skládají z dlouhých skladovacích jednotek, které jsou instalovány v rámu. Jednotka trubkového zásobníku je dlouhá 6 nebo 12 metrů a může uchovávat velké množství vodíku.



Obrázek 5 Trubkový zásobník [20]

Kompresor – kompresor vodík stlačí, aby se zvýšil tlak a snížil objem, což umožní skladování většího množství vodíku v systému a efektivní tok plynu pro výdej. [22] Při vysokotlakém plnění (700 bar) je nutné kompresorem stlačit vodík na tlak cca 950 bar. [23] Při střednětlakém plnění je vodík stlačen na tlak cca 530 bar. [23] Pro stlačování vodíku se používají suchoběžné pístové kompresory s elektro-hydrostatickým pohonem. Kompresorová jednotka se skládá ze dvou sousých, vertikálních plynových válců, z nichž každý je mechanicky spojen a poháněn hydraulickým válcem. Prostor mezi plynovým a hnacím válcem zabraňuje kontaminaci média hydraulickým olejem.

Oba hnací válce jsou spolu hydraulicky propojeny. Změny směru zdvihu jsou provedeny bezkontaktními bezdotykovými spínači a hydraulické válce jsou poháněny hydraulickým agregátem. Při použití systému s regulačním čerpadlem lze změnu počtu zdvihů pístu plynule regulovat. Elektro-hydrostaticky poháněné suchoběžné pístové kompresory komprimují zcela bez maziv a pevných částic plynů, jako je vodík, dusík, helium, argon nebo etylen. Speciální uspořádání a provedení těsnění plynových pístů a vodicích prvků je možné také při aplikacích s vysokým a nejvyšším tlakem zcela upustit od obvyklého mazání součástí těsnění.



Obrázek 6 Kompressor pro plnicí stanici. [21]

KEY COMPRESSOR COMPONENTS – FOR BEST PERFORMANCE AND LONGEST LIFETIME

PISTON RINGS

- Specially designed for high pressure
- Metallic for optimum cylinder lubrication and to limit the oil content in discharge gas
- Non metallic for special cases

CONCENTRIC VALVES

- Combined suction and discharge
- Compact in size
- Easy to assemble and dismantle
- Metallic/non metallic internals

SMALL END BEARINGS

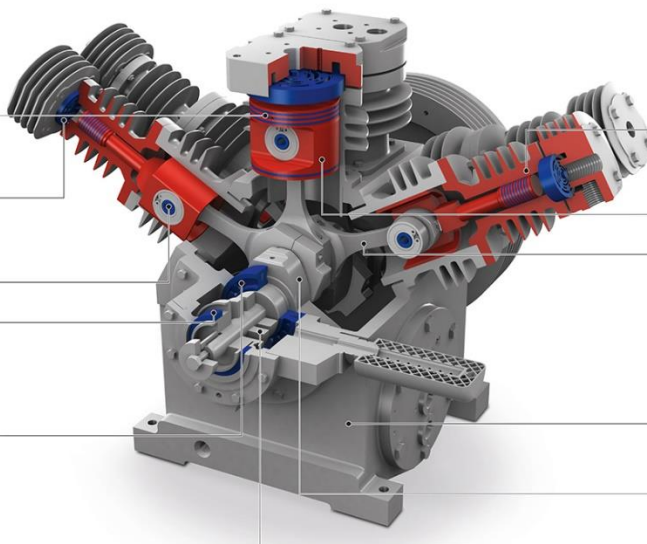
- Cylindrical roller bearings/sleeve bearings with high reliability

SEALS

- Pressure-tight and pressure-relieved
- Oil seal for low suction pressure application
- Mechanical seal for high suction pressure application
- Available in two versions
- No gas loss

MAIN BEARINGS

- Specially designed journal type for H₂ application with high suction pressure
- Angular contact double roller bearings for other applications



IN-HOUSE DESIGNED AND MANUFACTURED MAIN PARTS – FOR HIGHEST RELIABILITY

CYLINDER

- Single acting
- Specially coated for longer ring life
- No liner required
- Air cooled or water cooled

PISTON

- Wide range of sizes

CONNECTING ROD

- High strength material

RUGGED DESIGN – FOR HIGHEST DURABILITY

CRANKCASE

- Robust and compact design
- Suitable for elevated suction pressure

CRANKSHAFT

- Dynamically balanced

LUBRICATION PUMP

- Highly reliable
- Lobe type
- Crankshaft-driven

Obrázek 7 Schéma pístového vysokotlakého kompresoru [20]

Výměník tepla – během procesu stlačování dochází k nežádoucímu zahřívání vodíku, proto musí vysoce stlačený vodík projít přes výměník tepla kde je ochlazen.

Vysokotlaký zásobník – Vysoce stlačený plyn je uložen v zásobníku, kde je připraven k plnění do vozidla. Skladování je řízeno speciálně navrženými ventily, armaturami a elektrickými ovládacími prvky určenými k regulaci tlaku a k interakci s výdejním zařízením a vozidlem podle potřeby. [22]

Chladicí dávkovací zařízení – Pro plnění je vodík schlazen na teplotu - 40 °C pro rychlé a efektivní plnění, aby bylo zajištěno bezpečné dávkování vodíku a dodržení protokolů o plnění, tj. protokolu J2601.

Výdejní stojan – slouží ke stejnému účelu jako výdejní stojan na klasické čerpací stanici pohonných hmot. Obsahuje plnicí spojku, plnicí hadici, displej a řídicí techniku. Platební terminál může být umístěn odděleně. Pomocí displeje může uživatel pohodlně zahájit proces doplňování paliva. Poté následuje krátká instrukce krok za krokem, dokud není plnicí spojka pevně připevněna k hrdlu palivové nádrže vozidla. Následně proudí vodík o teplotě až -40 °C přes plnicí spojku do vodíkové nádrže vozidla. Výdejní jednotka, může plnit nádrž vozidla s tlakem jak 350 bar, tak i 700 bar. [20]



Obrázek 8 Výdejní zařízení [20]

Výdejní zařízení se instalují na volném prostranství pod přístřeškem provedeným z nehořlavých materiálů včetně zastřešení. Musí být umístěna tak, aby byla snadno viditelná z místa obsluhy plnicí stanice vodíku nebo kontrolovatelná kamerovým systémem a aby vozidla neprojížděla nebezpečnými prostory, které jsou kolem nich. Přístřešek musí být navržen pro rychlost větru 160 km/h a zatížení střechy sněhem 100 kg/m² a s přihlédnutím k seismické odolnosti.

Plnicí rychlospojka – propojuje výdejní zařízení a plněné vozidlo. Musí zajistit rozlišení plnicích přetlaků 350 bar nebo 700 bar. Pro plnicí přípojky je možno použít pouze plnicí hadice, jejichž provedení zajistí vodivé propojení s plněným mobilním zařízením, odolává proudícímu vodíku a provoznímu tlaku. Plnicí přípojka nemá být kratší než 3 m a delší než 5 m. Konstrukce plnicí rychlospojky musí vyloučit její použití k jiným účelům, než je plnění nádrží vodíkových mobilních zařízení. Dále musí zajistit, aby průtok vodíku byl otevřen pouze v případě jejího těsného připojení k plnicí přípojce mobilního zařízení a vyloučit její neúmyslné odpojení. Odpojení plnicí rychlospojky musí být možné až po jejím odtlačování. Při překročení mechanického namáhání nad určitou mez dojde k jejímu rozpojení a uzavření přívodu vodíku od výdejního zařízení a zpětnému toku vodíku od nádrže plněného mobilního zařízení. Síla potřebná k rozpojení je podstatně nižší než pevnost v tahu hadice plnicí přípojky nebo síla potřebná k vytržení plnicí rychlospojky nebo k poškození výdejního zařízení. [24] Plnicí rychlospojka musí umožnit dostatečně rychlý průtok plynu pro co nejkratší dobu plnění vozidla a také umožnit datové propojení plněného vozidla a výdejního zařízení, aby byla zajištěna datová komunikace a mohl být optimálně nastaven režim plnění.



Obrázek 9 Plnicí rychlospojka pro tlak 700 bar. [25]

Kontrolní otázky:

- 1) Z jakých materiálů jsou nejčastěji vyrobeny zásobníky na stlačený vodík? (ocel, případně kompozitní materiály)
- 2) Jaký je účel kompresoru ve vodíkové plnicí stanici? (stlačuje vodík ze zásobníku na vysoký tlak, kterým bude následně plněn do vozidla)
- 3) Vyjmenuj alespoň čtyři funkce, které musí zajistit plnicí rychlospojka (dostatečně rychlý průtok plynu, bezpečné rozpojení a odtakování, komunikaci mezi výdejním zařízením a plněným vozidlem, nemožnost záměny plnicích tlaků)

5 PROVOZ A ÚDRŽBA PLNÍCÍ STANICE

Aby byla zajištěna bezpečnost při plnění vozidel i při vlastním provozu plnicí stanice je nutné věnovat dostatečnou pozornost provozním kontrolám a údržbě vodíkové plnicí stanice. Této problematice se bude věnovat tato část textu. Čtenář se zde seznámí s jednotlivými úkony při kontrole stavu vodíkové plnicí stanice, s bezpečnostními předpisy a systémy zajišťujícími bezpečný provoz. Na závěr budou uvedeny i případy havárií vodíkových plnicích stanic s vysvětlením příčin jejich vzniku a jejich následky.

Klíčová slova: bezpečnost, vodík, detekce plynů, revize, prohlídky, údržba, osvědčení, kvalifikace, bezpečná vzdálenost, ochrana obyvatel, rizika, exploze, únik.

5.1 PODMÍNKY BEZPEČNÉHO PROVOZU VODÍKOVÉ PLNÍCÍ STANICE

Pro bezpečný provoz plnicí stanice je zcela zásadní dodržování návodu pro obsluhu a provozního řádu zařízení. V místě plnicí stanice musí být k dispozici schéma zařízení plnicí stanice vodíku, návod pro obsluhu, místní provozní řád (požární řád).

V blízkosti každého výdejního zařízení stlačeného vodíku se na viditelném místě umístí tabulka se zákazem plnění nepovolanými osobami a pokyny k plnění. Doporučuje se provedení tohoto zákazu alespoň ve dvou světových jazycích, v příhraničních oblastech i v

jazyčích sousedních zemí. V průběhu plnění musí být vypnut motor mobilního zařízení, které musí být zajištěno proti pohybu. V průběhu plnění smí být u výdejního zařízení ve vyznačeném prostoru pouze plněné mobilní zařízení.

V prostoru plnicí stanice vodíku, je zakázáno kouřit a zacházet s otevřeným ohněm. Tento zákaz musí být umístěn na viditelném místě. Používají se bezpečnostní značky a tabulky, jejich provedení a umístění je specifikováno příslušnou legislativou. Jedná se zejména o varování před následujícími typy nebezpečí:

- oblasti, kde může být výbušná atmosféra;
- hořlavé látky;
- stlačené plyny;
- nebezpečí úrazu elektrickým proudem;
- odfuk pojistných ventilů;
- horké nebo studené povrchy;
- mechanická nebezpečí.

Výdejní zařízení musí být v mimoprovozní době zajištěno proti zneužití způsobem popsaným v místním řádu.

Dokumentace provozované plnicí stanice vodíku musí obsahovat návod k obsluze, který podrobně popisuje správné postupy používání všech částí této plnicí stanice vodíku. Návod k obsluze musí identifikovat rizika a nebezpečí a specifikovat bezpečnostní opatření. Návod k obsluze musí rovněž obsahovat popis a vysvětlení všech varování a značení použitých na plnicí stanici vodíku, zejména těch, které se týkají nebezpečných zón.

Servisní příručka je součástí technické dokumentace a musí obsahovat návod pro kvalifikovanou údržbu technologického zařízení, v němž jsou podrobně popsány správné postupy pro nastavení, ošetření, preventivní kontroly a opravy. Součástí servisní příručky musí být doporučení, týkající se kvalifikované údržby, servisních intervalů a záznamů. Pokud jsou k dispozici metody ověřování správné činnosti (např. programy testování softwaru), musí být použití těchto metod podrobně popsáno. Kvalifikovanou údržbu provádí oprávněná organizace. Ustanovení přiměřeně platí i pro stavební části plnicích stanic vodíku, kdy návody na údržbu zpracovává dodavatel stavebních prací. [24] Pokud dojde k poruše ve

vysokotlaké části plnicí stanice je nutné, aby došlo k uzavření přívodu vodíku, přerušení dodávky vodíku do plněného vozidla, pokud je připojeno. Následně dojde k řízenému vypuštění vodíku z natlakovaných částí do okolní atmosféry.

5.2 KONTROLA PROVOZU VODÍKOVÉ PLNÍCÍ STANICE

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 provozuschopnosti požárně bezpečnostních zařízení
- 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.).

Plnicí stanice vodíku se podrobují pravidelně jednou ročně:

- kontrole plynových zařízení
- kontrole průchodnosti a nastavení pojistných tlakových zařízení;
- zkouškám kvality vodíku
- kontrole kompaktnosti a značení protipožárních ucpávek;
- kontrole hmotnostního průtokoměru vodíku
- provozní revizi elektrického zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu.

Plnicí stanice vodíku se podrobují pravidelně jednou za tři roky:

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

Provozně obsluhovat plnicí stanici vodíku smějí jen osoby starší 18 let, zdravotně způsobilé, prokazatelně zaškolené, seznámené s místním provozním řádem, zacvičené pro případ havárie a přezkoušené pro obsluhu plnicí stanice vodíku.

5.3 NEHODY VODÍKOVÝCH PLNÍCÍCH STANIC

Přes všechna bezpečnostní opatření, která zabezpečují provoz vodíkových plnicích stanic došlo 10. 6. 2019 v norské obci Bærumu k výbuchu vodíkové plnicí stanice. Při nehodě byli zraněni dva lidé, kteří byli ve vozidle v blízkosti vodíkové plnicí stanice. Výbuch byl tak silný, že při něm došlo k aktivaci airbagů vozidel v blízkém okolí. Výrobce vodíkové plnicí stanice byla společnost NEL, jedná se o největšího výrobce elektrolyzérů s historií sahající až do roku 1927 a vedoucího výrobce vodíkových plnicích stanic.

Vlastníkem postižené vodíkové plnicí stanice je společnost Uno-X Hydrogen, stanice byla otevřena v roce 2016. Jednalo se o stanici Nel H2Station s výrobou vodíku na místě.

Hlavní příčinou výbuchu bylo špatné utažení šroubů na zásobníku vodíku a tím došlo k postupnému selhávání systému těsnění, následně začal vodík nekontrolovaně unikat (čas: 17,30) a poté došlo k explozi (čas: 17,37). Následné vyšetřování ukázalo na chybu při montáži vysokotlakové skladovací jednotky, která se skládá z ocelových nádrží a dalších komponentů od subdodavatelů.

Při vyšetřování byly testovány vysokotlakové zásobníky použité v tomto typu plnicí stanice a bylo zjištěno, že z hlediska materiálové struktury i návrhu je systém zcela bezpečný, jako nebezpečná byla zjištěna montáž systému. Kdy nedostatečné utažení šroubů může způsobit únik vodíku s fatálními následky.

Společnost NEL po tomto incidentu ještě více zpřísnila kontrolu montáže tlakových zásobníků, kdy jsou jednotlivé kroky při montáži kontrolovány jako v leteckém průmyslu.

Kontrolní otázky:

- 1) Kdo smí obsluhovat vodíkovou plnicí stanicí? (osoby starší 18 let, zdravotně způsobilé, prokazatelně zaškolené, seznámené s místním provozním řádem, zacvičené pro případ havárie a přezkoušené pro obsluhu plnicí stanice vodíku)
- 2) V jakých intervalech probíhají kontroly vodíkové plnicí stanice? (6 měsíců, 1 rok, 3 rok)
- 3) Jaké úkony se provádí při kontrole po 1 roce? Uveď alespoň čtyři. (kontrola plynových zařízení, kontrola průchodnosti a nastavení pojistných tlakových zařízení, zkouškám kvality vodíku, kontrola kompaktnosti a značení protipožárních ucpávek, kontrola hmotnostního průtokoměru vodíku, provozní revizi elektrického zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu.)

6 TYPY PLNÍCÍCH STANIC

Klíčová slova: technické podmínky, zdroj vodíku, vodíková plnicí stanice, zásobník, mobilita, stacionární stanice, vnitropodniková doprava, osobní automobily, autobusy, vlaky, letadla, stlačený plyný vodík, zkapalněný vodík, ekonomika, chlazení, dostupnost, veřejnost

V následujícím textu jsou vodíkové plnicí stanice rozděleny do několika kategorií. Toto rozdělení má čtenáři usnadnit orientaci v problematice vodíkových plnicích stanic a shrnout základní přednosti a nedostatky jednotlivých řešení. Při volbě typu konkrétní vodíkové plnicí stanice jsou zásadní ekonomické, technické a bezpečnostní možnosti a konkrétní určení využití pro danou plnicí stanicí. Po zvážení všech těchto aspektů je vypracována studie a je vybráno co nejvhodnější provedení plnicí stanice. Zde jsou vodíkové plnicí stanice rozděleny podle typu použitého vodíku, podle umístění stanice, podle druhu vozidel, pro která je stanice určena a podle zdroje vodíku, který je v plnicí stanici distribuován.

6.1 ROZDĚLENÍ PODLE TYPU VODÍKU

- 1) Vodíkové plnicí stanice na stlačený plynný vodík
- 2) Vodíkové plnicí stanice na kapalný vodík

Vodíkové stanice pro plnění vozidel s palivovými články vodíkem v plynné formě se používají u vozidel, kde je vodík podobně uložen jako plyn v zásobní nádrži vozidla. Obecně existují dva standardy pro plynové vodíkové stanice – doplňování vodíku při tlaku 700 barů (H70) nebo při tlaku 350 barů (H35). Osobní automobily obvykle používají technologii H70. Plnicí stanice využívající kapalný vodík jsou výrazně méně rozšířené. Vodík má kapalnou formu pouze při teplotě nižší než $-252,87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stanice pro doplňování kapalného vodíku vyžaduje intenzivní chladicí systém, který je energeticky i technologicky velmi náročný. [26]

6.2 ROZDĚLENÍ PODLE UMÍSTĚNÍ

- 1) Stacionární
- 2) Mobilní

Vodíkové stanice jsou obecně stacionární systém. Hlavní funkcí vodíkové čerpací stanice je působit jako vodíkový zásobník se systémem skladování vodíku a technologií doplňování paliva. Ve většině případů je v současnosti vodík do stanice dodáván v lahvích nebo ve specializovaných vodíkových kontejnerech na nákladních vozidlech. Některé stanice vyrábějí vodík přímo na vodíkové stanici pomocí elektrolýzy (z větru nebo slunce). Dalším efektivním způsobem, jak do těchto stanic vodík dodávat, by v budoucnu bylo potrubí. Mobilní systémy pro doplňování vodíku jsou mnohem menší a používají se pro nouzové doplňování nebo pro některé speciální případy mobilního použití. Výhodou mobilních plnicích stanic je možnost konstrukce stanice jako funkčního celku, který bude na místo přivezen z plnárny technických plynů a po vyprázdnění bude nahrazen plnou stanicí, zatímco prázdná bude odvezena k naplnění. Tento systém je vhodný např. pro vnitropodnikovou dopravu. [26]

6.3 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU VOZIDEL

- 1) Osobní automobily
- 2) Nákladní automobily
- 3) Autobusy
- 4) Ostatní vozidla

Konstrukce vodíkové stanice se řídí zamýšleným použitím. Tankování vodíku do osobních automobilů vyžaduje vodíkové čerpací stanice, které poskytují tlak H70 (700 barů), zatímco nákladní vozidla a další speciální vozidla v současné době obvykle vyžadují vodíkové čerpací stanice H35 (350 barů). Pro použití v nákladních vozidlech by se v budoucnu mohl používat také kapalný vodík; výhodou je vyšší hustota energie kapalného vodíku. Kapalný vodík se plánuje skladovat ve vodíkové nádrži s využitím nejmodernější technologie. Autobusy s palivovými články jsou stále populárnější, protože tyto typy vodíkových vozidel mají vysokou spotřebu vodíku, která je předvídatelná. Flotila několika vodíkových autobusů může ospravedlnit investici do vlastní vodíkové čerpací stanice. Spotřebu vodíku lze vypočítat a stanici lze pravidelně zásobovat. Vodíkové autobusy s palivovými články v současnosti skladují vodík při tlaku 350 barů. Vozidla pro vnitropodnikovou dopravu využívají především technologii 350 barů, protože takový systém skladování vyžaduje menší investice a na rozdíl od osobních automobilů lze plánovat a provádět pravidelné doplňování paliva ve stanici vybudované v blízkosti všeobecné provozní základny (např. mimo závod nebo uvnitř závodu). Ostatní druhy dopravy, jako jsou vlaky, tramvaje nebo dokonce letadla, mohou mít plnicí stanice vodíkového paliva v depu nebo hangáru. [26]

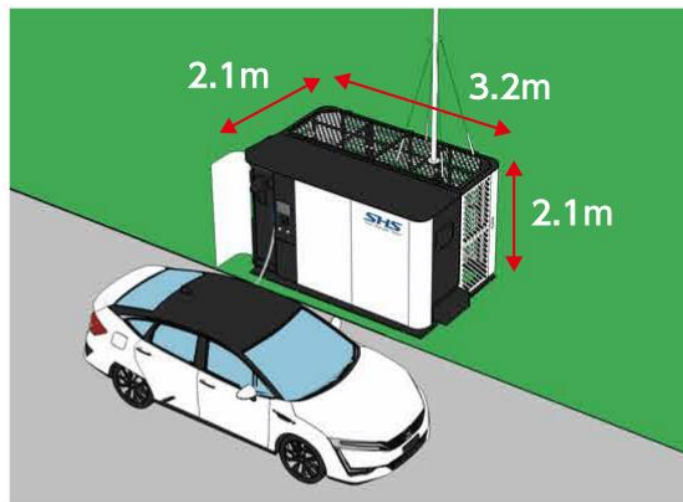
6.4 ROZDĚLENÍ PODLE ZDROJE VODÍKU

- 1) Vodíkové plnicí stanice bez vlastního zdroje vodíku
- 2) Vodíkové plnicí stanice s vlastním zdrojem vodíku

Většina plnicích stanic je vybudována v místech, kde nejsou vhodné zdroje vodíku a vodík je nutné do těchto stanic dopravovat. Plnicí stanice s vlastním zdrojem vodíku je vhodné budovat v místech výroby vodíku (např. výroba ze skládkového plynu, vodík jako odpadní plyn chemické výroby apod.). Budováním vodíkových plnicích stanic v těchto místech je ušetřeno nemalé množství nákladů spojené s dopravou vodíku a jeho plněním do přepravních nádob. Nevýhodou je potom většinou horší dostupnost pro veřejnost. Proto je ten typ plnicích stanic vhodný zejména pro lokální odběratele nebo pro plnění vozidel, která pracují v provozu výroby tohoto typu vodíku.

V současné době jsou nejrozšířenějším typem vodíkové plnicí stanice na stlačený plynný vodík. Tyto stanice jsou stacionární a provedením jsou podobné jako stanice pro čerpání CNG. Pro plnění osobních automobilů je nastaven plnicí tlak 700 barů, pro nákladní 350 barů. Do většiny již realizovaných plnicích stanic je vodík dovážen v zásobnících a je následně přečerpán do zásobníku v plnicí stanici.

Jako zajímavost zde uvedeme příklad malé vodíkové plnicí stanice, která se díky použité technologii a malým rozměrům velmi dobře hodí např. do husté městské zástavby. Jedná se o vodíkovou plnicí stanici Honda SHS (Smart Hydrogen Station). Honda má s vodíkovými vozy docela dlouhou historii, kdy první model FCX clarity se objevil na trhu už v roce 2007. Zároveň se také dlouho věnovala vývoji lepší stanice pro doplňování vodíku. V roce 2014 se objevil první prototyp stanice SHS – stanice ve které se nachází vše potřebné pro výrobu vodíku na co nejmenším prostoru. V roce 2015 přišla s revoluční technologií výroby vodíku pomocí elektrolýzy za vysokého tlaku se svým vlastním zařízením nazvaným Power Creator. Stanice SHS je velmi kompaktní způsob jak, vyrobit, uskladnit a doplnit vodík, a to vše pouze s připojením na vodu a elektřinu. Dodávaná energie je předpokládána především z obnovitelných zdrojů tím pádem snížení emisí CO₂ i při výrobě vodíku. Díky využití systému Power creator se vyrábí vysokotlaký vodík, a proto není potřeba používat kompresory které tak nezabírají místo a tím je také snížena spotřeba elektřiny celého zařízení, dle webu Honda byla snížena spotřeba elektřina na 1/4. Zároveň nejsou potřeba tak velké nádrže na uchování většího množství vodíku. Všechny tyto vylepšení dokázali to, že stanice zabírá místo 3,7m x 2,25m x 2,57m a je ji možné umístit téměř kdekoliv.



Obrázek 10 Honda SHS [27]

Kontrolní otázky:

- 1) Jaké jsou výhody a nevýhody vodíkových plnicích stanic vybudovaných v místě výroby vodíku? (výhody: odpadají náklady na plnění vodíku do přepravních nádob a jeho doprava z místa výroby do místa plnění; nevýhody: horší dostupnost pro veřejnost, spíše se hodí pro lokální distribuci)
- 2) Jaká je hlavní nevýhoda vodíkových plnicích stanic na kapalný vodík? (energetická a technická náročnost, pro zkapalněný vodík je nutno udržovat při teplotách pod -258°C.)
- 3) Jaký je v současnosti nejrozšířenější typ vodíkové plnicí stanice? (stacionární na stlačený plyný vodík s plnicím tlakem 700 barů pro osobní vozidla a 350 barů pro nákladní vozidla, bez vlastního zdroje vodíku)

7 PROGNOZY VE VÝVOJI

Klíčová slova: budoucnost, vývoj, efektivita, využití, výzkum, dostupnost, životní prostředí, Evropská unie, dotace, emise, palivové články, plnicí stanice, nezávislost, vodík, ekologie, nákladní automobily, osobní automobily

Budoucnost vodíkových plnicích stanic je úzce spjata s rozvojem výroby vodíku a infrastruktury pro jeho dopravu na místo čerpání. Dalšími nezbytnými kroky bude přechod k zeleným zdrojům energie potřebné k výrobě vodíku a dále zvyšování účinnosti palivových článků. Zvyšování počtu vozidel s vodíkovým pohonem bude vytvářet tlak na rostoucí počet plnicích stanic a jejich větší dostupnost.

Pár příkladů za všechny: japonská automobilka Toyota uvedla na trh první vodíkové auto v podobě modelu Mirai a počátkem prosince představila experimentální model GR Yaris se spalovacím motorem na vodík. Oba vozy přitom geniálně ukazují dva odlišné přístupy k použití vodíku v dopravě: zatímco Mirai využívá chemické reakce v palivových článcích k výrobě elektřiny pro elektrický pohon, GR Yaris vodík spaluje v upraveném běžném motoru. Oba pohony přitom mají své nesporné ekologické výhody: při použití vodíku v palivovém článku vzniká jako odpad pouze nemineralizovaná voda, a i při jeho spalování v běžném motoru je výsledkem jen relativně malé množství škodlivých oxidů dusíku NO_x. „Vodíkový palivový článek je výrazně snadněji recyklovatelný, nevýhodou je využití velmi vzácných kovů, jako platina nebo iridium,“

Když Evropská komise v roce 2020 předložila vodíkovou strategii, vytyčila tím cíl vytvořit v EU plnohodnotný vodíkový ekosystém, který by pomohl s dekarbonizací všech problematických sektorů. Dva roky poté se na unijní úrovni rodí konkrétní legislativa, která má cíle pomoci převést do praxe. Vodíku se týká například známý klimatický legislativní balíček Fit for 55, který vymezuje výrobu obnovitelného vodíku a obsahuje opatření, která mají podpořit jeho spotřebu. Jedná se například výstavba plnicích stanic a příslušné infrastruktury. V novém energetickém plánu REPowerEU, který má EU pomoci zbavit se energetické závislosti na Rusku a zajistit pro sedmadvacítku dostupnou a čistou energii, pak Komise navrhla navýšení vodíkových cílů. „Nově je dle Komise do roku 2030 třeba v Evropě vyrobit až 10 milionů tun obnovitelného vodíku ročně a 10 milionů tun vodíku odněkud dovážet,“ Evropa si na vodík přitom nemyslí jen jako na další z čistých zdrojů energie, potažmo „úložiště“ energie, ale také jako na alternativní palivo pro vozidla. Vodíkové dopravní projekty jsou sice v dnešní době spíše v plenkách, potenciál ale mají.

Už nyní existují osobní automobily, nákladní vozidla, autobusy, vlaky, ale i lodě s vodíkovým pohonem. Nejsou, ale ještě zdaleka rozšířené. A některé se toho ani nemusí

dočkat. Podle odborníků z oblasti dopravy se vodík uchytí spíše pro nákladní nežli osobní dopravu. V případě osobních automobilů totiž vedou baterie. Pokud bychom se bavili o osobní dopravě, bateriový pohon má takřka desetiletý náskok, i z toho je vidět, že prosazení vodíku v dopravě obecně, zejména té osobní, se zdá být spíše doplňkovým řešením, nikoliv tím hlavním. V nákladní dopravě má ale oproti bateriím vodík řadu výhod. Jednou z výhod je nižší hmotnosti vozidel, dále rychlé doplnění paliva do 20 minut a spolehlivý a vyšší dojezd, který by neměl výrazně klesat ani v chladných podmínkách. I z toho důvodu je vodík vnímán jako řešení zejména pro dálkovou nákladní dopravu a tam, kde je potřeba vozidlo vytěžovat nepřetržitě. Pravděpodobně se budou baterie a vodík doplňovat a existovat společně. Vodík dává smysl i z pohledu sdružení dopravců ČESMAD BOHEMIA (sdružení dopravců). „Zkoušené prototypy (vodíkových vozidel) se zdají být vhodné i pro dálkovou dopravu, jejich dojezd je srovnatelný s naftovými vozidly a lepší než bateriová elektrická vozidla.“

Rozšíření vodíkového pohonu je ale stále hudbou budoucnosti, a ještě je třeba vyřešit několik otázek. Jedním z nich, je třeba to, kam nainstalovat objemné nádrže na vodík, které nákladní vozidla potřebují. Klíčovým otázkou také zůstává, zda se Evropa zvládne vyrábět dostatečné množství čistého vodíku. Výroba vodíku z fosilních paliv by k uhlíkové neutralitě rozhodně nevedla. Mluvíme-li o takzvaném zeleném vodíku, tak hlavním úskalím je potřebný rozsah produkce. Pro rozvoj dopravy založené na vodíkovém pohonu je také pochopitelně nutné vybudovat dostatek plnicích stanic. Výstavba plnicích stanic je náročná nejen finančně, ale i technicky. Například česká plnička, která zatím jako funguje od června 2022 v Ostravě, vyšla asi na 15 milionů korun. Česko plánuje, že jich v tuzemsku do roku 2030 vznikne asi 80. Upínat se ale k roku 2030 jako k období boomu vodíku v nákladní dopravě není příliš realistické.

Další překážkou, která bude bránit rychlému rozvoji vozidel na vodík je předpoklad velmi vysoké ceny vodíkových vozidel. Pokud chce EU dosáhnout svých cílů a dopravu očistit od emisí, vodíkové čerpací stanice by měly být do roku 2030 dostupné alespoň každých 150 kilometrů podél automobilové transevropské dopravní sítě. Tím by vznikla dostatečně hustá síť vodíkových čerpacích stanic zajišťující odpovídající přeshraniční propojení EU a podporu pro 60 000 vodíkových nákladních vozidel, která podle očekávání budou jezdit po unijních silnicích v roce 2030. Zmíněných 60 000 vodíkových nákladních automobilů odráží výsledky

studie z roku 2020, kterou si nechal vypracovat Společný podnik pro palivové články a vodík (FCH JU). Podle ní jsou palivové články „velmi slibným řešením bezemisního pohonu pro těžkou nákladní dopravu. Studie dospěla k závěru, že nákladní vodíková vozidla s palivovými články se mohou stát nákladově konkurenceschopnými do roku 2027, pokud cena vodíku klesne na 6 EUR/kg. Studia pak zdůraznila i vysokou provozní flexibilitu a relativně krátkou dobu tankování vodíkových nákladních vozidel. K tomu, aby se vodíkové vozy na trhu uplatnily, však bude nezbytně nutný legislativní rámec. „Bez stěžejního klimatického balíčku EU Fit for 55 by do roku 2030 na evropských silnicích jezdilo pouhých 3 000 vodíkových nákladních vozidel,“ uvedl pro EURACTIV úředník z Evropské komise. Se současnými návrhy na dosažení klimatických ambicí EU by se však tento počet měl zvýšit na 60 000. Studie nastiňuje scénář, podle kterého by mělo 17 % nových nákladních vozidel prodaných v roce 2030 jezdit na vodík. Musí však být splněna dvě klíčová kritéria – vodík by se měl prodávat za cenu nižší než 6 EUR/kg a náklady spojené s vodíkovou technologií by měly klesnout. Pokud by tak skutečně stalo, znamenalo by to, že po evropských silnicích bude s rokem 2030 jezdit zhruba 60 000 nákladňáků na vodík. V roce 2030 by ekologický vodík mohl stát pouhých 1,8 EUR/kg. Náklady na technologie by se mohly na slibnou klesající trajektorii dostat díky společnému financování výzkumu ze strany EU a průmyslu.

V oblasti vodíkových plnicích stanic je budoucnost zaměřena zejména na vybudování jejich dostatečně husté sítě, vyřešení zásobování vodíkem a zkrácení doby plnění. Jednou ze zvažovaných možností je zvýšení plnicího tlaku, tento krok ovšem vede ještě k větším nárokům na bezpečnost, kvalitu materiálů a konstrukci jak plnicích stanic, tak i vozidel. S rostoucím počtem plnicích stanic bude docházet ke snižování jejich ceny a díky tomu bude možné ještě více zvyšovat jejich počet.

Aby byla výstavba a provoz vodíkových čerpacích stanic efektivnější a nákladově výhodnější, vyvíjí v současné době Katedra energetické technologie na Univerzitě Duisburg-Essen (UDE) a Centrum pro technologie palivových článků (ZBT) simulační modely komponent čerpacích stanic, aby bylo možné analyzovat a vyhodnocovat návrhy. Vědci z UDE a ZBT se zabývají základními komponenty vodíkové čerpací stanice. Na zkušebním poli ZBT zkoumají palivové čerpadlo, velikost zásobníku a tlak, výsledky vkládají do simulací a počítají vztahy mezi jednotlivými komponenty, aby bylo tankování efektivní. Pro návrh vodíkové plnicí stanice je

zásadní jejich předpokládané využití. Zcela rozdílné budou plnicí stanice v malých obcích nebo podnicích a stanice umístěné u dálnic.

Dalším problémem, který bude nutné vyřešit jsou ztráty v řetězci výroby a distribuce vodíku. Čím bude tento proces efektivnější, tím nižší bude koncová cena vodíku. Vodík je také výrazně dražší než fosilní paliva. Vedoucí projektu Dr. Jürgen Roes z katedry energetické techniky uvádí: „Přesto je vodík ze sluneční a větrné energie důležitým zařízením pro skladování energie budoucnosti, protože neznečišťuje životní prostředí“. Proto má smysl využívat zdroje co nejefektivněji a začít přemýšlet o jejich co nejchopodárnějším využití. [28]

Kontrolní otázky:

- 1) V jakém druhu dopravy se předpokládá hlavní využití vodíku? (nákladní doprava a městské autobusy)
- 2) Jaké jsou výhody vozidla s pohonem na vodík oproti elektromobilům? (nižší hmotnost, větší dojezd, nezávislost dojezdu na vnější teplotě, rychlejší doplnění paliva)
- 3) Kolik procent nově prodaných nákladních vozidel v EU by mělo v roce 2030 jezdit na vodík? (17 %)

8 POUŽITÉ ZDROJE

[1]: <https://finmag.penize.cz/veda-a-technika/430830-je-vodik-palivem-budoucnosti-nastupujici-trend-ocima-expertu>

(2) <https://www.wired.com/2007/11/checking-in-on/>

(3) <https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/>

[4] CHIC » *Fuel cell electric bus project CHIC launches final project report as tool for cities and bus operators* [online]. [vid. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://chic-project.eu/newsevents/news/fuel-cell-electric-bus-project-chic-launches-final-project-report-as-tool-for-cities-and-bus-operators>

[5] H2-Stationen. *H2 Mobility* [online]. [vid. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://h2-mobility.de/h2-stationen/>

- [6] <https://www.iberdrola.com/sustainability/hydrogen-stations>
- [7] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrogen-refuelling-station>
- [8] TPG 304 03 www.cgoa.cz
- [9] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>
- [10] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlake-kompresory/>
- [11] <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/vyznam-technicky-plynu-v-prumyslu/>
- [12] <https://www.technicka-zarizeni.cz/sbornik-prednasek-kh-2021/vystavba-a-provoz-vodikovych-plnicich-stanic-a-nektere-souvislosti/>
- [13] <https://www.technickenormy.cz/csn-en-17127-venkovni-vydejni-vodikove-cerpaci-stanice-na-plynnny-vodik-s-plnicimi-protokoly/>
- [14] <https://www.iso.org/standard/71940.html>
- [15] <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/90016399-7325-4ffa-a34f-058be6306350/en-17124-2022>
- [16] https://www.sae.org/standards/content/j2601_202005/
- [17] Comparative study of Global, European and Italian Standards on Hydrogen Refueling Stations
- Matteo Genovese, Viviana Cigolotti, Elio Jannelli and Petronilla Fragiaco
- E3S Web Conf., 334 (2022) 09003
- DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233409003>
- [18] <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/energetika/konvencni-energie/vodikova-energie/skladovani-preprava-a-distribuce-vodiku>
- [19] Vodíková strategie České republiky, *Ministerstvo průmyslu a obchodu*
- [20] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlake-kompresory/>
- [21] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>
- [22] <https://www.haskel.com/en-us/blog/how-does-a-hydrogen-refuelling-station-work>
- [23] <https://hdsam.es.anl.gov/index.php?content=hrsam>
- [24] TPG 304 03
- [25] <https://www.weh.us/weh-fueling-nozzle-tk17-h-70-mpa-for-fast-filling-cars-singlehanded-operation-selfservice.html>

[26] <https://hyfindr.com/hydrogen-refueling-station/>

[27] <https://global.honda/innovation/FuelCell/smart-hydrogen-station-engineer-talk.html>

[28] <https://fuelcellsworks.com/news/filling-station-of-the-future-using-hydrogen-more-efficiently/>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Síť plnicích stanic v Německu v roce 2016, 2018, 2023 [5]	6
Obrázek 2 Současný stav a výhled rozšíření autobusů poháněných vodíkem. [4]	7
Obrázek 3 Stav vývoje norem CEN a CENELEC pro VPS. [17]	10
Obrázek 4 Velkoobjemový svazek [20]	27
Obrázek 5 Trubkový zásobník [20]	28
Obrázek 6 Kompresor pro plnicí stanici. [21]	29
Obrázek 7 Schéma pístového vysokotlakého kompresoru [20]	29
Obrázek 8 Výdejní zařízení [20]	30
Obrázek 9 Plnicí rychlospojka pro tlak 700 bar. [25]	31
Obrázek 10 Honda SHS [27]	40

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Požadavky na kvalitu vodíku pro vodíkové palivové články [8]	18
Tabulka 2 Výkonnostní a bezpečnostní limity pro plnění vodíku dle SAE J2601	19