

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Vodíkové hospodářství a jeho využití v dopravě

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce:

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Autor:

Jan Rulf

Studijní obor:

Silniční a městská automobilová doprava

Praha 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Rulf

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vodíkové hospodářství a jeho využití v dopravě

Název anglicky

Hydrogen industry and its exploitation in transport

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se vodíkovým hospodářstvím a využitím vodíku jako alternativního paliva.

Metodika

1. Prostudovat základní literaturu v dané oblasti.
2. Vlastní rozbor problematiky výroby vodíku a jeho distribuce.
3. Vlastní rozbor problematiky využití vodíku k pohonu vozidel.
4. Předpokládaný vývoj v dané oblasti.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran formátu A4

Klíčová slova

vodík, výroba vodíku, doprava, palivo

Doporučené zdroje informací

Hromádko, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Nakladatelství Grada, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-4455-1

Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. Nakladatelství BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6

Matějovský, V.: Automobilová paliva. Nakladatelství GRADA, Praha, 2005. ISBN 80-247-0350-5

Šebor, G., Pospíšil, M., Žákovec, J.: Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, červen 2006. [online].

[Accessed 25 September 2011]. Available at: <http://www.mdcr.cz/cs/Strategie/Zivotni_prostredi/>.

Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2004. ISBN 80-239-1602-5

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Konzultant

Ing. Petr Jindra

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2016

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2017

Čestné prohlášení

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vodíkové hospodářství a jeho využití v dopravě vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla."

V Praze dne

.....

Jan Rulf

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svým rodičům za dlouhodobou podporu při studiu. Stejně tak poděkování patří doc. Ing. Miroslavovi Růžičkovi, CSc. za vedení této práce a Ing. Petrovi Jindrovi za cenné připomínky při konzultacích.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je poskytnutí aktuálních informací v oblasti vodíkového hospodářství. Důraz je kladen na problematiku výroby, jeho skladování a distribuci. V práci jsou shrnuty vlastnosti vodíku jako samostatného prvku a jeho srovnání s ostatními alternativními palivy. Uvedeny jsou aktuálně používané i potenciálně možné výroby vodíku, stejně tak možnosti jeho skladování. Následují informace o potenciálu vodíku v dopravě a informace o současných trendech.

Klíčová slova: Vodík, Výroba vodíku, Doprava, Alternativní palivo

Hydrogen industry and its exploitation in transport

Abstract: The goal of this bachelor thesis is to provide current information about the hydrogen industry. Emphasis is placed on the problems of the production, storage and distribution of hydrogen. First, a summary will be given about the properties of hydrogen as a separate element and its comparison with other alternative fuels. Secondly, current use and potentially possible production of hydrogen are mentioned. Possibilities of hydrogen storage are also presented. The thesis is concluded with information about the potential of hydrogen in transport and information about current trends.

Keywords: Hydrogen, Production of hydrogen, Transport, Alternative fuel

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíl práce a metodika	10
3. Vlastnosti vodíku	11
3.1. Použití vodíku.....	13
3.2. Vliv vodíku na materiály	13
3.3. Porovnání s ostatními alternativními palivy	15
3.4. Alternativní anorganické sloučeniny s vodíkem jako palivo.....	15
4. Výroba vodíku	17
4.1. Výroba z fosilních paliv	17
4.2. Výroby využívající elektrickou energii	20
4.3. Ostatní, méně využívané metody výroby	21
4.4. Cyklické procesy	23
5. Skladování a přeprava vodíku	25
5.1. Skladování v plynném stavu - stlačený vodík	25
5.2. Skladování v kapalném stavu - kryogenní nádrže	27
5.3. Jiné způsoby skladování vodíku	28
6. Využití v dopravě	29
6.1. Motor – přímé spalování ve spalovacích motorech.....	29
6.2. Palivový článek.....	30
6.3. Nikl - vodíková baterie	32
6.4. Plnicí stanice.....	33
7. Legislativa	34
7.1. Stavební řízení vodíkové plnicí stanice	34
7.2. Silniční přeprava vodíku z hlediska legislativy	35
8. Perspektivy	36
8.1. Aktuální projekty	36

8.2. Výhledové projekty	39
9. Závěr.....	40
10. Bibliografie.....	41
11. Seznam obrázků	44
12. Seznam tabulek.....	44
13. Seznam zkratek	45
14. Přílohy	46

1. Úvod

Po tisíce let byly jediným zdrojem síly pro přepravu a pohyb svaly.

S vynálezem parního stroje a motoru s vnitřním spalováním docházelo k mohutnému rozvoji dopravy. S tím je spojena exploatace fosilních surovin, která má za následek produkci nežádoucích škodlivin, v podobě prachu, popela a plyných zplodin jako například oxidu uhličitého - plynu přispívajícího k tvorbě skleníkového efektu.

Problémy s plyny a exhalacemi se dají řešit instalací elektrostatických filtrů a odsiřováním, případně instalací individuálních katalyzátorů pro jednotlivé motory. Tím se však neřeší problém s oxidem uhličitým. Ten je řešen především administrativně, tedy restriktivními směrnici Evropské unie, v automobilovém průmyslu se omezuje produkce oxidu uhličitého na ujetých 100 km, což se projevuje jak na výkonu vozidel, tak na jejich ceně.

Ještě dříve, než se problémy s ekologií dostaly na dnešní úroveň, byly zkoumány různé alternativní způsoby, které v dnešní době reprezentuje především proud "bio-paliv" (bio-etanol, estery vyšších mastných kyselin). Druhý směr alternativních zdrojů je využití elektrické energie vyprodukované z obnovitelných zdrojů. Následně vznikla idea vodíkového hospodářství, založená na jednoduché myšlence - při reakci vodíku a kyslíku vzniká tolik žádaná energie a odpadním produktem zůstane jen voda.

Tato idea však naráží na několik problémů, které jsou v této práci popsány. Jedná se zejména o výrobu vodíku, jeho následné skladování a distribuci. V neposlední řadě je problémem současná legislativa.

2. Cíl práce a metodika

Cílem práce je shrnout aktuální stav vodíkového hospodářství, převážně problematiku výroby, skladování a distribuce vodíku. Často opomíjenou komplikací je potom legislativa ohledně manipulace s tlakovými zařízeními, důležitými pro jakoukoliv manipulaci s vodíkem na úrovni dopravní jednotky. Zmíněny jsou také novější trendy, co se dopravních řešení týče.

3. Vlastnosti vodíku

Vodík je nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru a třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi (po kyslíku a křemíku). Asi 15,4% atomů zemské kůry tvoří vodík vázaný ve sloučeninách. V hmotnostních procentech je tento prvek na devátém místě (0,9 hm.%) a v povrchových horninách je na místě desátém (0,15 hm.%). (1)

Vodík je vysoce hořlavý a lehce vznětlivý plyn, který společně s kyslíkem nebo se vzduchem v širokém koncentračním rozmezí tvoří výbušnou směs. Výbušné jsou rovněž směsi vodíku s fluorem v plynném i kapalném stavu a také s chlorem. Pro vznícení těchto směsí stačí iniciace pouhým světlem. (1)

Vodík má na rozdíl od ostatních plynů záporný Joule - Thomsonův koeficient, což znamená, že se při uvolňování tlaku zahřívá. Existuje proto nebezpečí, že při náhlé expanzi stlačeného vodíku může dojít k jeho samovolnému vznícení. (2)

Pro tyto nebezpečné vlastnosti je třeba při manipulaci se stlačeným vodíkem pracovat s největší opatrností a v dobře větraných prostorách. Stejně tak je zapotřebí upravit bezpečnostní opatření tlakových lahví. Veškeré tlakové láhve a přilehlé potrubí je nutné osadit bezpečnostními ventily pro případ přetlaku. Tyto bezpečnostní ventily však není možné vyvést do prostředí, nýbrž pomocí svodů vyvést mimo zónu výbuchu. Některé kyslíkárny těmito svody ještě nechávají proudit dusík pro zajištění maximálního bezpečí a bezproblémový odchod vodíku.



Obrázek 1: Svody do odvzdušňovacího komínu a odvzdušňovací komín neratovické plnicí stanice na vodík (autor)

Elementární vodík nemá na lidský organizmus žádné účinky. Jeho nebezpečí spočívá v tom, že zdroj čistého vodíku může způsobit snížení parciálního tlaku kyslíku v okolí, což může vést k následnému zadušení. Dále je nebezpečí otravy všude tam, kde vzniká vodík

z nečistého materiálu, což je dáno možností přimíšení velmi jedovatých látek (arsenovodíku, fosforovodíku a sirovodíku). (3)

Podrobnější fyzikálně-chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce číslo 1.

Chemický vzorec	H ₂
Elektronová konfigurace	1s ¹
Molární hmotnost	2,016 g·mol ⁻¹
Oxidační číslo	-1,1
Teplota vznícení	510 °C (Teplotní třída T1)
Dolní mez výbušnosti se vzduchem	4% obj. (3,4 mg·dm ⁻³)
Horní mez výbušnosti se vzduchem	75% obj. (63 mg·dm ⁻³)
Dolní mez výbušnosti s kyslíkem	4% obj.
Horní mez výbušnosti s kyslíkem	95% obj.
Mezní bezpečná spára	0,29 mm
Výhřevnost	120,04 MJ·kg ⁻¹
Inverzní teplota	-68,15 °C
Bod tání	-259,34 °C
Bod varu	-252,87 °C
Kritická teplota	-239,9 °C
Kritický tlak	1,307 MPa
Kritická hustota	0,03 kg·dm ⁻³
1 mg·dm ⁻³	12 225 ppm
1 ppm:	0,0817 mg·m ⁻³
Senzorické vlastnosti	bezbarvý, bez chuti a zápachu
Vhodné hasivo	tříštěná voda, hasící prášky
Zvláštní upozornění	možnost samovznícení expanzním teplem
Rozpustnost ve vodě (při 20 °C)	1,93 mg·dm ⁻³
Stabilita	za normálních podmínek stabilní
Podmínky, kterých je nutno se vyvarovat	teploty nad 50 °C
Látky, s nimiž výrobek nesmí přijít do styku	oxidanty
Nebezpečné rozkladné produkty	žádné
Absolutní entropie při 25 °C a 101,325 kPa	451,9 J·g ⁻¹
Rychlost zvuku v dané látce	1 269,5 m·s ⁻¹

Tabulka 1: Fyzikálně-chemické vlastnosti vodíku (1) (2) (4) (5)

3.1. Použití vodíku

- Metalurgický průmysl: pro tepelné zpracování kovů (jako součást ochranných redukčních atmosfér) nebo výrobu barevných kovů
- Energetika: pro chlazení alternátorů turbín díky své vysoké tepelné vodivosti
- Chemie: pro syntézu sloučenin, především chlorovodíku ($\text{Cl}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$) nebo čpavku ($3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$) (2)
- Kryogenika: pro separaci neonu od helia a pro přípravu kapalného helia (6)
- Doprava: přímé spalování ve spalovacích motorech a palivo pro palivové články. A to nejen jako současný trend alternativních paliv, ale již v minulost jako nosná část balonů a vzducholodí. Po katastrofě vzducholodi Hindenburg se však od vodíku na čas ustoupilo z bezpečnostního hlediska
- Potravinářský průmysl: pomocí vodíku se vyrábějí ztužené tuky (převádí nenasycené mastné kyseliny [kapalné] na nasycené mastné kyseliny [tuhé]) (4)
- Základní výzkum: kapalný vodík se využívá v tzv. bublinové komoře pro zviditelnění drah elementárních částic

3.2. Vliv vodíku na materiály

K poškození kovových materiálů vodíkem dochází v případech, kdy je u povrchu stěny k dispozici vodík v atomárním stavu se schopností difundovat do materiálu. Poškození vodíkem začíná jeho rozpouštěním v kovu ve formě protonů. Rychlost a míra tohoto rozpouštění závisí na tlaku a teplotě příslušného prostředí. Na proces poškozování materiálu vodíkem má nejvýraznější vliv teplota, parciální tlak vodíku, úroveň napjatosti tlakové části, časové trvání expozice a stav struktury materiálu. (7)

Z předchozího odstavce je jasné, že skladování a jakákoliv práce s vodíkem může přinášet materiálové komplikace. Níže jsou uvedené nejčastější problémy vyskytující se u působení vodíku na kovové materiály.

3.2.1. Vodíková koroze

Vodík difundující do kovového materiálu se shromažďuje na hranicích zrn. V těchto místech se poškozování vodíkem může projevit u železných kovů a to reakcí s perlitem. Za příslušných podmínek při teplotě nad 500 °C je tento proces velmi rychlý a v průběhu pěti hodin může oduhličení uhlíkové oceli proniknout až do hloubky 1 mm. (7)

Pro uhlíkaté oceli platí, že působením vodíku se železo stává lámavým a ztrácí některé mechanické vlastnosti. Při vyšších teplotách dochází vedle přijímání vodíku také ve větší míře k oduhličování železa.

Přídavek chromu značně snižuje nebezpečí oduhličení. Teoreticky postačuje přídavek 6% chromu, zejména obsahuje-li ocel další legovací přísady. Vhodné je použít chrom-nikl-manganovou ocel v zastoupení 15%–1,5%–9%. Tato slitina je zařazena dle tabulky korozního napadení do kolonky "Materiály prakticky stálé" s maximálním váhovým úbytkem 2,4 g/m²/den. Pro srovnání v praxi stále používané materiály mohou mít váhový úbytek až 72 g/m²/den.

Všechny slitiny jsou ve zvýšené míře napadány vodíkem přímo úměrně s rostoucí teplotou. (8)

3.2.2. Vodíkové křehnutí

Jedná se o snížení houževnatosti a nebo tažnosti kovu v důsledku absorpce vodíku. (7)

3.2.3. Vodíkové praskání pod napětím

Vodíkové praskání pod napětím se vztahuje ke křehkému lomu běžných slitin pod vysokým tlakem za současného působení vodíku. Jsou k němu náchylné uhlíkové a nízkolegované oceli, nerezové oceli, slitiny hliníku a slitiny niklu. (9)

3.2.4. Vznik bublin způsobených vodíkem

Jev vzniká při procesu difúze a shromažďování atomárního vodíku v místech rozličných vnitřních diskontinuit (například dutiny a póry). Působením tlaku vodíku dochází k charakteristickému rozšíření a k zvýraznění těchto necelistvostí jako vodíkových bublin. (7)

3.3. Porovnání s ostatními alternativními palivy

V dopravě je využíváno více alternativních zdrojů energie. V níže uvedené tabulce je srovnání vodíku s nejpoužívanějšími palivy.

	Vodík	Nafta	Benzín	LPG	CNG	Metanol	Etanol	MEŘO
Chemické složení	H ₂	cca C _x H _{l,9x}	cca C _x H _{l,8x}	cca C _x H _{2,6x}	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	cca C ₁₉ H ₃₅ O ₂
Hustota [kg/m ³] (při 15 °C)	0,0899	746	720–775	510–580	678	796	794	870–890
Výhřevnost [MJ/kg]	119,6	42,5	42–43,5	46,44	50	19,9	26,8	38,5
Výhřevnost [MJ/l] při 15 °C	0,0108	35,6	31–32,9	0,098	0,04	15,9	21,3	34,3
Teplota vznícení	510	250	246	460	650	450	420	300
Teplota plamene [K]	2400	1100	1300	1700	1957	1800	2086	1372
Bod varu [°C]	-253	160–360	30–210	-5– -17,7	-162	65	78,3	320–360
Výparné teplo [kJ/kg]	454	180	290	300	555	1110	904	260
Mez hořlavosti [hm. %]	0,1– 7,14	0,6–6,5	0,7–7	1,5–9	5–15	5,5–26	3,5–15	0,6–6,5
Energie jiskry [MJ]	0,02	-	0,24	0,26	0,3	0,14	0,2	-
Stechiometrický poměr	34,33	14,6	14,7	15	17,2	6,5	9	13,2

Tabulka 2: Srovnání vodíku s ostatními palivy (10)

Z tabulky je dobře patrné, že vodík je velmi energeticky příznivý, co se hmotnostního přepočtu týče, problém je však s jeho velmi nízkou hustotou, která komplikuje skladování v přepočtu na objem.

3.4. Alternativní anorganické sloučeniny s vodíkem jako palivo

I	II	III	IV	V	VI	VII
LiH	[BeH ₂] _x	(BH ₃) ₂	CH ₄	NH ₃	H ₂ O	FH
NaH	[MgH ₂] _x	[AlH ₃] _x	SiH ₄	PH ₃	SH ₂	ClH
KH	CaH ₂	(GaH ₃) ₂	GeH ₄	AsH ₃	SeH ₂	BrH
RbH	SrH ₂	[InH ₃] _x	SnH ₄	SbH ₃	TeH ₂	IH
CsH	BaH ₂	TlH ₃	PbH ₄	BiH ₃	PoH ₂	AtH

Tabulka 3: Významné sloučeniny vodíku (2)

V tabulce 3 jsou uvedeny základní sloučeniny vodíku s prvky náležejícími do hlavních skupin periodické tabulky. (2) (11)

Všechna aktuálně používaná alternativní paliva jsou vždy jen jinou směsí uhlovodíků (CNG, LPG, Bio-etanol). Vzhledem k aktuální „honbě“ za minimalizací uhlíkové stopy nastává otázka, zda není možné použít sloučeninu jiného prvku, než uhlíku - anorganickou. Z periodické tabulky prvků se nabízí jako alespoň částečně zdravotně nezávadný a neradioaktivní prvek bor. Společně s vodíkem tvoří sloučeninu diboran - B_2H_6 . Jedná se opět o plyn. Ovšem díky prezenci boru je daleko vhodnější než samotný vodík, co se týče energie obsažené v 1 m^3 . Jeho velkou výhodou je také fakt, že se vzduchem ochotně tvoří výbušnou směs.

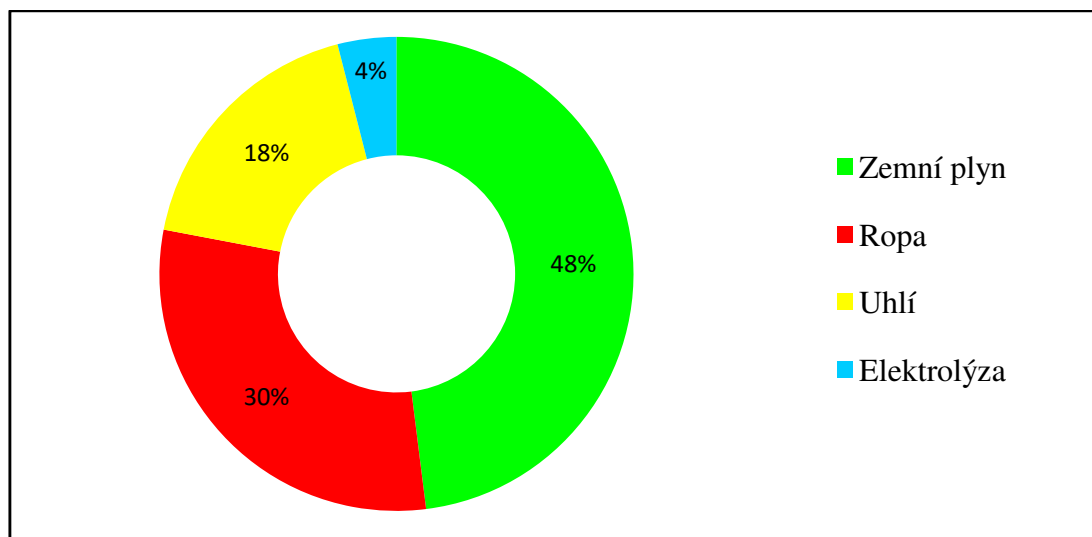
Toto palivo dokonce testovala americká kosmická společnost NASA v 50. letech minulého století s celkem uspokojivými výsledky. (12)

Další výhodou je, že palivo skutečně nezanechává žádnou uhlíkovou stopu, nicméně po hoření vzniká kromě vodní páry také kyselina boritá případně oxid boritý. Jedná se sice o mimořádně slabou kyselinu, ale v množství při teoretickém použití v osobní dopravě by hrozila kontaminace spodních vod. (13)

4. Výroba vodíku

Vodík se aktuálně z drtivé většiny vyrábí z neobnovitelných zdrojů, což nepodporuje myšlenku vodíku jako obnovitelného zdroje energie. Výroba z těchto zdrojů je výrazně levnější než jakékoliv ostatní metody. Podíl výroby pomocí elektrolýzy - obnovitelného zdroje, by mohl značně stoupnout za předpokladu, že by bylo možné při výrobě vodíku používat více elektrickou energii (například díky dotacím). Výroba vodíku elektrolýzou levněji a ve větším měřítku je spíše problém výroby a distribuce levné elektrické energie.

Problém výroby vodíku je jeden z největších, proto je mu v práci věnováno nejvíce prostoru. Podíly výroby jsou uvedeny na obr. 2.



Obrázek 2: Procentuální podíl různých surovin na výrobě vodíku (14)

Následující podkapitoly zpracovány dle: (2) (11) (15) (16) (17)

4.1. Výroba z fosilních paliv

4.1.1. Parní reformace zemního plynu

V současnosti se jedná o nejrozšířenější technologii výroby vodíku. Cena výroby je u této metody až o 40% nižší, než při výrobě parciální oxidací uhlovodíků, případně zplyňováním uhlí.

Výroba je členěna na dvě základní reakce. Při teplotách nad 750 °C probíhá reakce endotermní a při nižších teplotách exotermní.

Plyn je nutno nejprve odsířit z důvodu možného poškození kovových katalyzátorů. Odsíření se většinou provádí v adsorbérech s náplní tvořenou oxidem zinečnatým.

Endotermní reakce:

Plyn je stlačen na přibližnou hodnotu 3 MPa a společně s vodní parou přiveden do parní reformovací jednotky, kde při teplotě 750 °C za působení niklového katalyzátoru vzniká vodík a oxidy uhlíku.

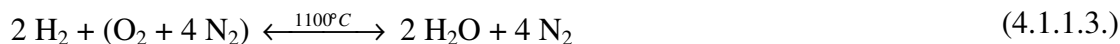


současně



Po průchodu katalyzátorem obsahuje odcházející plyn přibližně 9% nezreagovaného metanu. Tohoto metanu se zbavujeme v následujícím stupni, kdy je do reakční směsi přiveden vzduch tak, aby poměr dusík - vodík byl 1:3.

Kyslík ze vzduchu reaguje s vodíkem a zahřeje reakční směs na teplotu přibližně 1100 °C.



Zbytkový metan při této teplotě reaguje s vodou za vzniku oxidu uhličitého a dalšího vodíku.

Po této konverzi obsahuje reakční směs již jen 0,25% metanu.

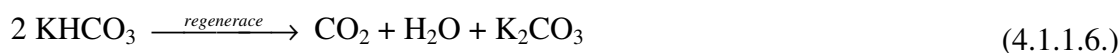
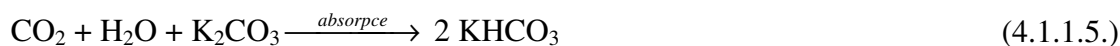
V reakční směsi se nachází oxid uhelnatý, který by byl v dalším použití nežádoucí. Jeho odstranění se provádí během exotermní části reakce a následného čištění.

Exotermní reakce:



Probíhá ve dvou ložích katalyzátoru, první stupeň (při 400 °C) využívá oxid železa (a), který zmenšuje obsah oxidu uhelnatého z 10% na přibližně 3%. Ve druhém stupni (při 200 °C) se na měděném katalyzátoru (b) dosáhne snížení obsahu oxidu uhelnatého na hodnotu 0,3%.

Dále je z reakční směsi potřeba odstranit oxid uhličitý. Odstranění probíhá pomocí propírání uhličitánem draselným, dle reakce 4.1.1.5 a 4.1.1.6.



Poslední pročištění od oxidu uhelnatého je dle reakce 4.1.1.7



Při této reakci se spotřebovává vodík. Přes malé množství oxidu uhelnatého ve směsi je třeba jeho obsah zredukovat na minimum. Malé množství vyrobeného vodíku je proto možno spotřebovat.

Tímto závěrečným čištěním se sníží obsah nežádoucího oxidu uhelnatého na 1–2 ppm.

Po reakci 4.1.1.7 reakční směs obsahuje:

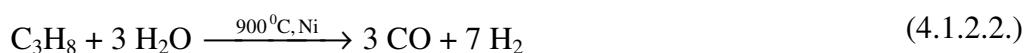
- $H_2 \sim 74,2\%$
- $N_2 \sim 24,7\%$
- $CH_4 \sim 0,8\%$
- $Ar \sim 0,3\%$
- $CO \sim 1 - 2 \text{ ppm}$

Následuje čištění vodíku na jednotce PSA, která produkuje vodík o čistotě přes 99%. Jednotka PSA využívá absorpci na molekulových sítích a aktivním uhlí.

4.1.2. Parciální oxidace uhlovodíků

Využívá stejného principu jako výroba vodíku ze zemního plynu s tím rozdílem, že vstupní surovina není metan, ale plynné i kapalně suroviny ze zpracování ropy.

Základní chemická reakce je spalování za nedostatku kyslíku tak, aby vznikla požadovaná směs oxidu uhelnatého a vodíku.



Dále se vodík čistí.

V podnicích mají malé generátory kapacitu výroby $100 - 4.000 \text{ m}^3 \cdot \text{hod.}^{-1}$, střední velikosti $4.000 - 10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{hod.}^{-1}$. Velká zařízení mohou produkovat $10^4 - 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod.}^{-1}$ vodíku.

V dnešní době podíl tohoto způsobu výroby klesá. S rozvojem alternativního paliva LPG se z frakce C_3 a C_4 stal žádaný obchodní prvek, stejně tak i ostatní uhlovodíky jsou v dnešní době využívány k dalšímu obchodu (například technický benzín).

4.1.3. Zplyňování uhlí

Principem je, že se při teplotě nad $1200^\circ C$ vytvoří syntézní plyn ve zplyňovacím generátoru.

4.1.4. Vedení vodní páry přes žhavý koks



Získává se vodní plyn. Oxid uhelnatý se z plynu odstraní.

4.1.5. Frakční destilace koksárenského plynu

Kryogenním způsobem je možné z koksárenského plynu oddělit vodík od zbylých příměsí.

4.2. Výroby využívající elektrickou energii

4.2.1. Výroba vodíku elektrolýzou vody

Při elektrolýze dochází k disociaci vody působením stejnosměrného proudu, který prochází elektrodami ve vodě.



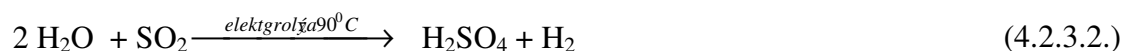
Účinnost elektrolýzy samotné je asi 70%. Fyzikálně-chemický výzkum v tomto směru, dává reálnou šanci zvýšit účinnost elektrolýzy až na 90% (vliv teploty, katalytických aktivit a materiálů elektrod). Celková účinnost elektrolýzy je však pod hodnotou 30%, a to kvůli skutečnosti, že přeměna tepelné energie uvolněné palivem na elektrickou energii je pouze cca 40%. Jako elektrolyt se užívá roztok hydroxidu draselného (KOH), nebo hydroxidu barnatého ($\text{Ba}(\text{OH})_2$). Elektrolýzer může pracovat za atmosférického tlaku 0,1 MPa nebo při tlaku 3 MPa. Přestože je teoretická spotřeba elektrické energie na výrobu 1 m³ vodíku 2,8 kWh, její skutečná hodnota je vzhledem ke ztrátám kolem 5 kWh.

4.2.2. Výroba elektrolýzou solanky



Tato výroba vodíku se vzhledem k velmi žádaným vedlejším produktům stává ekonomicky výhodnou. Hromadnou výrobou se však nemůže stát, protože je pevně vázána na odbyt chloru.

4.2.3. Výroba elektrolýzou vody a oxidu siřičitého (hybridní Westinghouse-cyklus)



4.2.4. Výroba vysokoteplotní elektrolýzou

Při vysokoteplotní elektrolýze (parní elektrolýza) je část dodávané energie ve formě tepla a část ve formě elektrické energie. Reakce je reverzní k reakci probíhající v palivových člancích s pevnými oxidy. Do elektrolyzátoru vstupuje vodní pára a vodík. Vystupuje směs složená přibližně ze 75% vodíku a 25% vodní páry. Vodík je následně oddělen v kondenzační jednotce.

4.3. Ostatní, méně využívané metody výroby

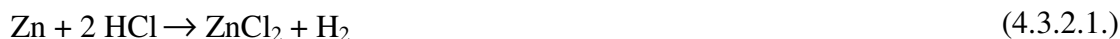
4.3.1. Výroba vodíku z biomasy

Výrobu vodíku z biomasy lze rozdělit na dva postupy, a to parní reformování biomasy a biotechnologické procesy. Dále je také možno pro výrobu použít deriváty biomasy, jako je bioetanol a bioplyn, zde je ovšem lepší použít tyto deriváty přímo jako palivo. (14)

Parní reformování biomasy probíhá ve dvou fázích, kde v první části probíhá pyrolýza za vzniku plynů (vodík, metan) a v druhé části jsou zbylé plyny jako metan převedeny pomocí páry na oxid uhelnatý a vodík.

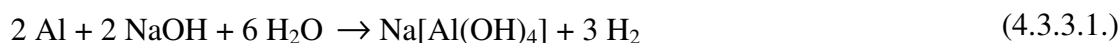


4.3.2. Rozpouštění zinku v kyselině chlorovodíkové



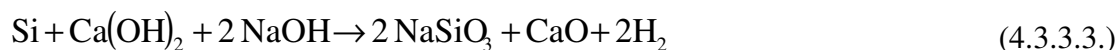
Místo kyseliny chlorovodíkové je možno použít kyselinu sírovou a místo zinku jakýkoliv jiný elektropozitivní kov.

4.3.3. Rozpouštění hliníku nebo křemíku v hydroxidu



Tyto způsoby se využívaly k výrobě vodíku pro armádní účely (plnění meteorologických balonů). K výrobě 1 m³ vodíku je třeba 0,81 kg hliníku, nebo 0,63 kg křemíku, nebo 2,9 kg zinku, nebo 2,5 kg železa. (2)

Místo křemíku se také používá ferosilicium (slitina železa a křemíku). Před 1. světovou válkou byl ve francouzské armádě zaveden přípravek *Hydrogenit* (směs ferosilicia a natronového vápna - směs hydroxidu vápenatého a hydroxidu sodného). Po zapálení doutná a živě vyvíjí vodík.



4.3.4. Působení sodíku na vodu



Obdobě reagují i ostatní alkalické kovy a kovy alkalických zemin.

4.3.5. Působení hydridu vápenatého na vodu



Na 1 m³ vodíku je teoreticky potřeba 0,94 kg hydridu vápenatého. Překážkou této výroby je vysoká cena hydridu vápenatého.

4.3.6. Technologie zinku



Problémem je velká energetická náročnost výroby čistého zinku. Výhodou je, že zároveň se vznikem vodíku se opět vyrábí oxid zinečnatý, který lze opět recyklovat.

4.3.7. Výroba 1,3 butadienu



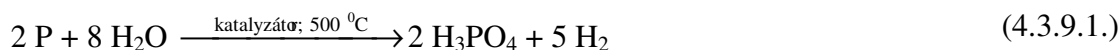
Při této výrobě z etanolu se připravuje 1,3 butadien, který slouží jako základ pro výrobu pneumatik a zároveň odpadá vodík. Problém je, že tento vodík se v drtivé většině spotřebovává v následných provozech například pro krakování nebo hydrogenaci. Tento zdroj vodíku tak nemůže pro využití v dopravě hrát rozhodující úlohu.

4.3.8. Vedení vodní páry přes železo zahřáté do červeného žáru



Oxid železnato-železitý je možno redukovat generátorovým plynem zpět na železo, takže převáděním vodní páry se reakce může opakovat. Tento výrobní způsob měl dlouho značný technický význam a v omezené míře je užíván dodnes.

4.3.9. Rozklad vodní páry fosforem



Reakce je vhodná pouze tam, kde vyrobený vodík slouží k výrobě čpavku a ten následně k výrobě fosforečnanu amonného, který slouží jako hnojivo.

4.3.10. Termické štěpení čpavku



Reakce je obrácená reakci při výrobě čpavku.

4.3.11. Termické štěpení vody



Termické štěpení vody je nevhodné, protože potřebné teploty jsou příliš vysoké (až 3.500 °C) a současné konstrukční materiály pro tyto podmínky nevyhovují.

4.3.12. Štěpení metanolu

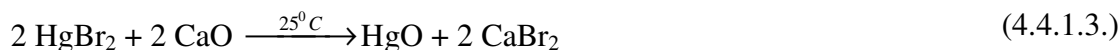


Vznikající plyny se následně vedou difúzním separátorem, který obsahuje velké množství tenkých trubiček ze slitiny stříbra a palladia. Vodík, který se vyvíjí je chladný, čistý, suchý a připravený k použití. Reakce je obrácená reakci při průmyslové výrobě metanolu.

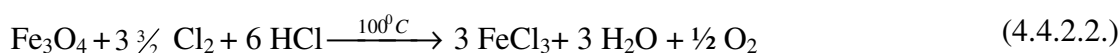
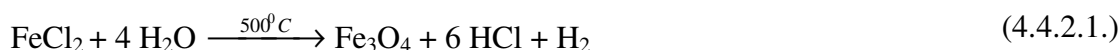
4.4. Cyklické procesy

Byly studovány chemické děje, jejichž vstupem by byla voda a energie a výstupem byl vodík a kyslík. Z mnoha se jako nadějně jeví tyto výrobní cykly:

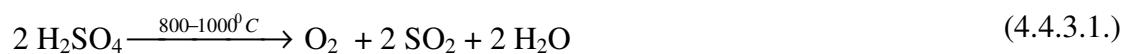
4.4.1. Cyklus s bromovodíkem



4.4.2. Cyklus s chlorovodíkem



4.4.3. Cyklus s jodovodíkem



Získávání vodíku pomocí cyklických reakcí představuje elegantní způsob výroby. Výroba je ale velmi náročná na technologii, neboť se pracuje s velmi agresivními a jedovatými látkami (chlorovodík, bromovodík, jodovodík a rtuť). Z ekologických a hygienických důvodů jsou technologie se rtutí rušeny jako nepřijatelné.

5. Skladování a přeprava vodíku

Jak již bylo zmíněno, vodík má ze všech paliv nejmenší hustotu a nejnižší bod varu, což komplikuje skladování. Jelikož největší energetický obsah mají paliva kapalná, nejvhodnějším řešením z hlediska prostoru a převozu materiálu by tak bylo skladování v kapalné podobě. Vzhledem k nízkému bodu varu je toto řešení u vodíku velmi komplikované. V této kapitole jsou zpracovány aktuálně využívané i potencionálně možné metody skladování.

Vodík lze aktuálně skladovat několika způsoby. Nejčastější metodou je skladování ve stlačeném stavu, následně skladování v kapalném stavu a současně se dostává do popředí i dlouhodobější skladování v podobě sloučenin. Skladování vodíku v tuhém stavu je energeticky velmi náročné a v praxi se téměř nepoužívá.

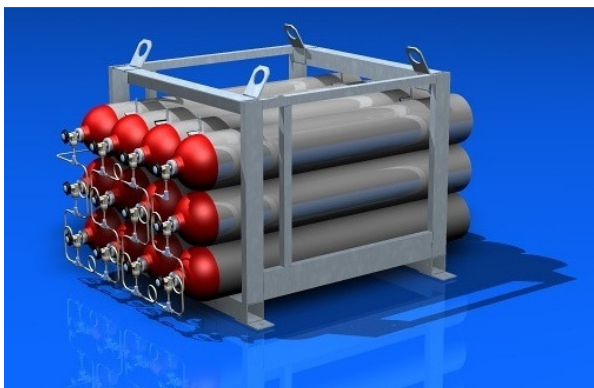
5.1. Skladování v plynném stavu - stlačený vodík

Vodík lze komprimovat a skladovat v plynné formě. Tento druh skladování je nejběžnější a provozně a technologicky nejlépe zvládnut. Skladovací zařízení vyžaduje zásobník s příslušenstvím. Pro stlačování se používá zejména pístový kompresor.



Obrázek 3: Kompresor firmy Linde v plnící stanici v Neratovicích (autor)

Pro převoz i uskladnění na místě se používají ocelové bezešvé láhve převážně z legované oceli. Vyrábějí se do objemu 50 dm^3 . Tyto lahve se následně mohou slučovat do "svazků". Běžný provozní tlak je 200 - 350 bar, v novějších aplikacích potom až 700 bar.



Obrázek 4: Tlakové láhve spojené do svazku (18)

Problémem přepravy stlačeného vodíku je, že se prakticky "převáží železo". Láhev o objemu 50 dm^3 a tlaku 20 MPa (200 barů) pojme $50 \times 200 = 10\,000 \text{ dm}^3 = 10 \text{ m}^3$ vodíku. Hmotnost potřebné láhve se pohybuje kolem 60 kg na převezených 0,899 kg vodíku. (19)

Například Mazda RX-8 Hydrogen RE používá vodíkovou nádrž o objemu 110 dm^3 a tlaku 350 bar. V této relativně velké nádrži tak může být maximálně 3,46 kg vodíku. V přepočtu na výhřevnost se jedná o ekvivalent pouze 9,7 litru benzínu. Při stlačení vodíku na tlak 350 bar je navíc zapotřebí přibližně 30% energie obsažené ve stlačovaném vodíku. (20)

Pro uskladnění čistě statické se používají větší zásobníky s menšími skladovacími tlaky, společně s příslušenstvím, které při přepouštění vodíku do jiných nádrží (například při tankování vozidel) vodík zkomprimuje na vyšší tlak a přepustí. Tak je tomu například u vodíkové čerpací stanice v Neratovicích. Tento způsob je vhodný z hlediska materiálového - velký zásobník se stejným provozním tlakem by bylo velmi nákladné vyrobit. Problém ovšem nastává ve spotřebě elektrické energie při tankování.

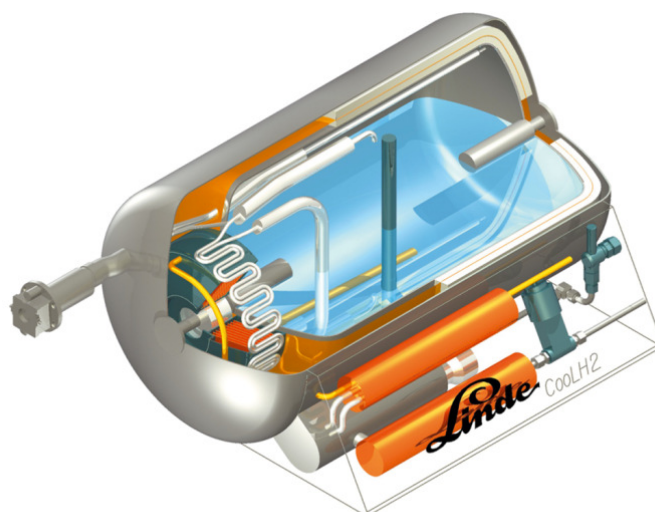
Problém při skladování je opět i z hlediska bezpečnosti. Pokud by došlo k revizi tlakových zařízení (ať už tlakových lahví samotných, nebo jen potrubí), případně došlo k jejich kontaminaci vzduchem jiným způsobem je nejdříve nutné při znovunaplňování tlakových lahví a potrubí vodíkem provést průplach jiným plynem, a to například dusíkem. Opět by totiž mohlo dojít k výbuchu při smíchání se vzduchem (viz kapitola 1).

5.2. Skladování v kapalném stavu - kryogenní nádrže

Vzhledem k nízké inverzní teplotě vyžaduje vodík předchlazení. Zkapalňování je tak energeticky velmi náročnou operací. (2) (21)

Pro uskladnění se používají nádoby s vaku-práškovou izolací (na obrázku 5). Pro potřeby dopravy se používají vícevrstvé nádoby s velmi dobrými izolačními vlastnostmi s maximálním přetlakem 0,5 MPa. Při skladování vodíku v kryogenních nádobách dochází vlivem přestupu tepla z okolí k postupnému odpařování a tedy zvyšování tlaku uvnitř této nádoby. Kvůli tomuto přetlaku tak musí být nádrže vybaveny pojistnými ventily, aby nedošlo postupným odpařováním vodíku ke zvýšení tlaku a následné destrukci nádrže. Tento způsob skladování je však téměř nepoužitelný pro běžný provoz osobních automobilů. Odpařování vodíku má za následek únik cca 3 - 5% objemu nádrže za den. Kryogenní nádrže je tak teoreticky možné používat například u často využívaných dopravních prostředků jako jsou linkové autobusy.

I přes jasnou "nevhodnost" pro použití v osobních automobilech experimentálně využívala a stále ještě využívá kryogenní nádrž automobilka BMW v malé sérii vozidel BMW 750hl (a i další automobilky jako například Mazda a Ford). Vzhledem k tomu že jsou ale tato vozidla v provozu od roku 2000 a stále nejsou určena k běžnému prodeji, jedná se spíše o reklamní tah. S kryogenní nádrží byl vyroben také prototyp BMW H2R se kterým bylo vytvořeno několik rychlostních rekordů. Dnes už však automobilky spíše pracují na vozidlech poháněných palivovým článkem, než přímým spalováním vodíku. (22)



Obrázek 5: Řez kryogenní nádrží (23)

5.3. Jiné způsoby skladování vodíku

Vodík lze uchovávat a transportovat vázaný ve sloučeninách a to v chemické, nebo fyzikálně-chemické formě, ze které je následně snadno uvolnitelný.

5.3.1. Palladium

Prvek palladium velmi ochotně absorbuje vodík do své molekulové mřížky. Vzniká sloučenina $\text{PdH}_{0,7}$. Vodík, který se v palladiu zachycuje chemisorbcí, při zvýšeném tlaku přechází do mřížky kovu.

Nevýhodou je cena palladia (7.12.2016 se prodávalo za 737 \$ tr.oz.)

5.3.2. Hydridy

Přicházejí do úvahy především hydridy kovů, jako například FeTiH_2 , MgNiH_4 a jiné. Zatím se ukazuje, že tyto hydridy by byly vhodné pro nemobilní jednotky, protože pro automobily by měly příliš velkou hmotnost v poměru k množství uchované energie. Značnou závadou je i skutečnost, že tyto hydridy v opakovaných cyklech absorbují i vodu a tím se snižuje jejich kapacita.

5.3.3. Alanáty

Jedná se o sloučeniny na bázi hliníku. Alanáty mají oproti hydridům vyšší hmotnostní i objemovou kapacitu. Jejich nevýhodou je ale vysoká cena.

5.3.4. Borohydridy

Borohydridy jsou komplexní sloučeniny vodíku s borem (například NaBH_4). Vodík se z nich uvolňuje reakcí s vodou. Borohydridy se používají u menších zařízeních. (24)

5.3.5. Uhlíkaté struktury

Mezi uhlíkaté nanostruktury řadíme vysokoporézní grafit. Hodnoty hmotnostní kapacity adsorbovaného vodíku v nanostrukturách uhlíku se pohybují v rozmezí 0,4 - 7 hm.%.
"Vývoj tlakových nádob pro skladování vodíku jak plynného, tak i kapalného stále pokračuje a ani zdaleka nedosáhl stádia počátku hromadné výroby. Skladování v pevných médiích je stále ještě ve stádiu výzkumu." (25)

6. Využití v dopravě

6.1. Motor – přímé spalování ve spalovacích motorech

Princip je obdobný jako u provozu spalovacího motoru na plynná paliva (například LPG). U vozu je třeba upravit vstřikování (z hlediska časování) a sací potrubí (z hlediska možnosti zpětného zášlehu).

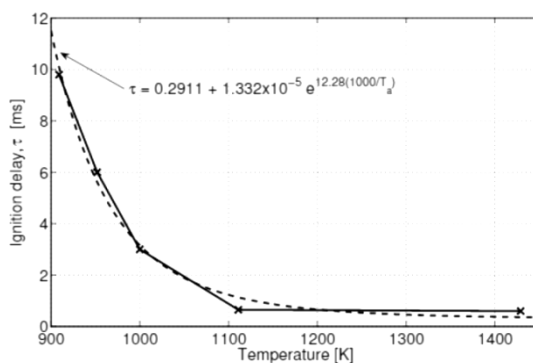
Provádějí se také testy, při kterých se užívá duálních systémů paliva. Principem je použití běžného vznětového motoru, kterému je do sání přimícháván vodík. Ten následně výrazně urychluje spalování, prohoření směsi a zvyšuje i teplotu hoření. Experimentálně se pracovalo na jednoválcovém vznětovém motoru s objemem 825 cm³ s teoretickým výstupním výkonem 9 kW při použití samotné nafty. V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky testů v závislosti na použití paliva a přípravě vzduchu.

	Přímý vstřik nafty a vodík v sání	Přímý vstřik vodíku
Výstup hřídele [%]	33,9	42,8
Chladicí systém [%]	31,2	17,3
Výfukové plyny [%]	34,9	39,9
Výkon na hřídeli [kW]	8950	10280

Tabulka 4: Energetická bilance vznětového motoru s různými palivovými systémy (26)

Zajímavostí je, že za předpokladu, že se použilo obohacení vzduchu o vodík, bylo nutné tento nasávaný vzduch předehřívát. Při dosažení teploty nad cca 1100 K v horní úvratí při kompresi měla prezence vodíku ve vzduchu velmi příznivý vliv na rychlost vznícení. Když se této teploty nedosáhlo, výsledek byl přesně opačný. Ke vznícení směsi došlo později a negativně se to projevilo na výkonu testovaného motoru, jak je možné vidět na grafu z obrázku 6.

Existují ale i úspěšné pokusy, kdy se vodík využívá k čištění karbonových usazenin v motoru. (27)



Obrázek 6: Závislost zpoždění vznícení směsi na teplotě (26)

Testované vozy fungují na principu kombinace vodík / benzín. Jako příklad lze uvést BMW 750hl. Jiní výrobci tento systém rovněž testují. Jedná se například o Mazdu s vozem RX-8 Hydrogen RE.

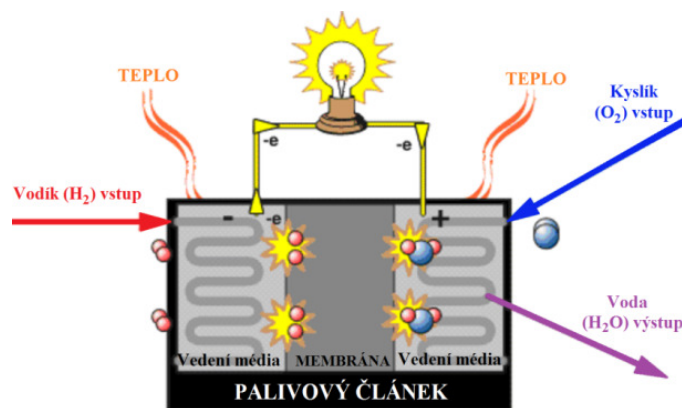
Do budoucna se plánovalo využití v modernizovaném Wankelově motoru, případně se také pracuje na možnosti přímého vstřikování u upravených vznětových motorů.

Možnosti zmíněné v kapitole 6.1. jsou však pouze teoretické, aktuálně spíše platí, co uvádí Josef Kameš: "Hospodárnost motorů na vodík v současnosti není výhodná. Vzhledem k energetickým nákladům a škodlivým emisím při provozu vodíkového motoru v bilanci škodlivin nevykazuje žádné ekologické výhody." (28)

6.2. Palivový článek

Objevitel palivového článku je W. Grove, který v r. 1839 při elektrolýze kyseliny sírové zjistil, že po přerušení vnějšího proudu a po nasycení elektrody vodíkem článek vykazoval napětí, které do spotřebování vodíku poskytovalo elektrický proud. (16)

Většina vozidel, v nichž pracují spalovací motory, spalují fosilní paliva a zatěžují okolí exhalacemi. Elektrická vozidla nabízí četné výhody: nezpůsobují lokálně žádné škodlivé emise, jsou tichá, nepotřebují převodovku a elektromotor má vysokou účinnost. (28)

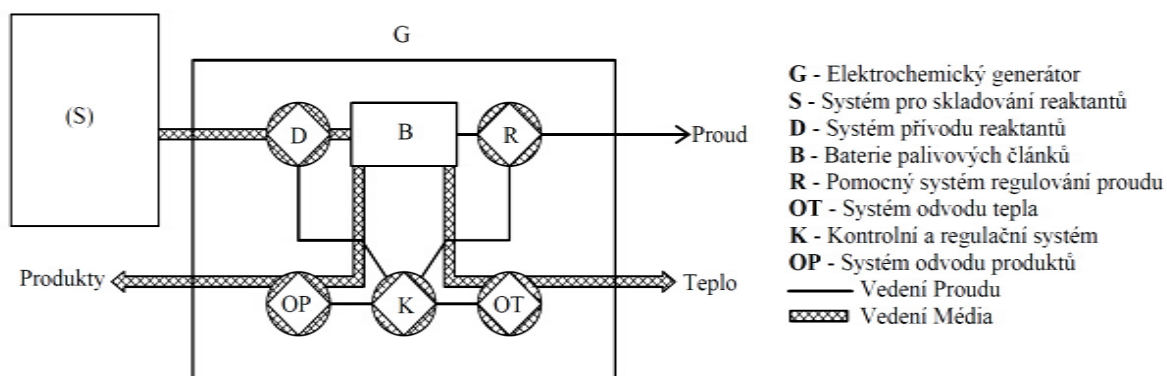


Obrázek 7: Zjednodušený princip funkce palivového článku (29) (přeloženo)

Palivový článek funguje na inverzním principu, než bylo popsáno v kapitole 4.2. V palivovém článku se vodík opět spojuje s kyslíkem a je tvořena elektrická energie. Odpadem je pouze více zředěný elektrolyt o větší poměr vody v něm obsažené. Základními elementy každého palivového článku jsou dvě elektrody a elektrolyt, viz obrázek č. 7. Palivem mohou být plynné, kapalné i tuhé látky. V současné době se jako perspektivní jeví články na bázi vodík - kyslík, hydrazin - kyslík, metanol - kyslík. (30)

Na rozdíl od baterií je palivovému článku stále přiváděn redukční prostředek (palivo) a oxidační prostředek kontinuálně zvenčí. Článek sám zůstává nezměněn. To je pro vozidlo neocenitelná výhoda. Palivový článek dodává v principu neomezeně energii, dokud je účastná chemická substance přiváděná z vnějšku. Jeho výkon se může v širokých mezích libovolně měnit. Vozidlo vybavené palivovými články může v krátké době natankovat palivo, například vodík, metanol nebo zemní plyn, který mu postačí pro mnoho hodin jízdy tak jako se spalovacím motorem. Účinnost zařízení s palivovým článkem je téměř dvojnásobná oproti účinnosti spalovacího motoru. Emise oxidu dusíku nebo oxidu uhelnatého odpadají zcela, oxid uhličitý je emitován pouze jedná-li se o uhlovodíkové palivo. (28)

Proti jiným zdrojům vyžadují palivové články pro svůj provoz různé přídavné systémy na dodávání reaktantu, odstraňování reakčních produktů, udržování tepelného režimu a dalších funkcí. Kompletní schéma palivového článku je na obrázku 8. (31)



Obrázek 8: Technologický princip funkce elektrolytického palivového článku (31)

Při provozu palivového článku je třeba řešit následující problémy:

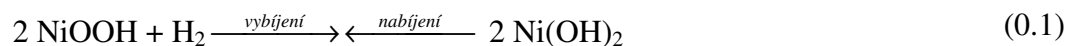
- Při použití alkalického elektrolytu musí být vstupující reakční složky zcela prosty oxidu uhličitého. I stopové množství oxidu uhličitého reaguje za vzniku příslušného uhličitanu, což vede k úplné likvidaci elektrolytu. Do úvahy tak připadají pouze naprosto čisté plyny vyrobené pomocí elektrolýzy.
- Při použití kyselého elektrolytu odpadá problém s oxidem uhličitým, ale vzniká problém materiálové volby. Kombinace kyselého prostředí a vyšší teploty společně s působením vodíku a kyslíku vytváří velmi korozivní prostředí. Volba materiálu elektrody velmi ovlivňuje také základní proudotvorné reakce. Z dostupných materiálů vyhovují například platinové kovy a aktivovaný uhlík.

Dříve byly palivové články nejperspektivnější, co se týče využití. Později však bylo zjištěno, že palivové články dosahují maximální účinnosti při plném zatížení. Při běžném provozu tak je jejich účinnost velmi malá a celková energetická bilance je opět ne zcela příznivá.

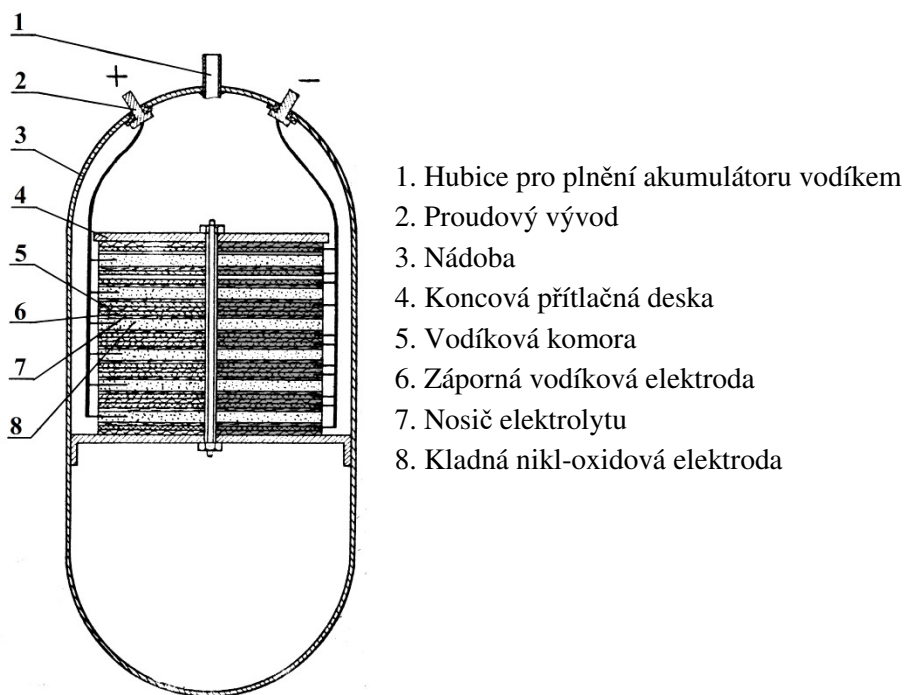
6.3. Nikl - vodíková baterie

V nikl-vodíkových akumulátorech se používají kladné elektrody z nikl-kadmiového akumulátoru, které mají dobrou reverzibilitu. Záporná elektroda je vodíková na bázi platiny nebo jiného katalyzátoru. Schéma baterie je na obrázku 23. (31)

Velkou výhodou této baterie je vysoká mechanická odolnost oproti palivovým článkům.



Vodík uvolněný při nabíjení se akumuluje a tlak v akumulátoru roste, při vybití se vodík spotřebovává a tlak klesá. (31)



Obrázek 9: Schéma nikl-vodíkového akumulátoru (31)

6.4. Plnicí stanice

Problematika spočívá především v bezpečnosti provozu - tedy samotném tankování. Aktuálně tento akt může provádět jen vyškolená osoba za přísných bezpečnostních podmínek.

V České republice je nyní v provozu pouze čerpací stanice v Neratovicích sloužící k zajištění provozu městské autobusové linky v Neratovicích uskutečňované vodíkovým autobusem TriHyBus. V Neratovicích také probíhala prezentace osobních vozidel poháněných vodíkem automobilkou Honda (Honda FCX Clarity).



Obrázek 10: Čerpací stanice vodíku v Neratovicích (autor)

Na obrázku 10 vlevo je vidět technické zázemí plnicí stanice. Uvnitř ve stavbě se nachází kompresor sloužící k plnění 8 svazků tlakových lahví s možností tlaku až 450 bar. Vodík je pomocí tohoto kompresoru přepouštěn z tlakové nádoby na obrázku 10 vpravo. Tento zásobník je konstruován na tlak pouze 40 bar, plněn je cca 125 kg vodíku při svém objemu 50 m³. To umožňuje, aby při příjezdu autobusu bylo možné pouze přecerpat vodík z tlakových lahví do autobusu a nemuselo se čekat na práci kompresoru.

V Německu byla realizována například plnicí stanice vodíku v Unterschleißheimu (na obrázku 11).



Obrázek 11: Plnicí stanice vodíku v německém Unterschleißheimu (32)

7. Legislativa

V této kapitole jsou zmíněny pouze nejdůležitější předpisy a zákony. Úplný popis jednotlivých kroků spojených s praktickou výstavbou vodíkové plnicí stanice přesahuje rámec této práce.

Vodíková plnicí stanice je stavba ve smyslu Stavebního zákona (Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu). Z tohoto důvodu stavba stanice podléhá územnímu řízení, ve kterém se přezkoumává, zda umístění stavby je v souladu s územním plánem. V případě souladu je vydáno územní rozhodnutí.

7.1. Stavební řízení vodíkové plnicí stanice

Dalším krokem je stavební řízení, ve kterém je zkoumáno, zda projektová dokumentace stavby je v souladu s předpisy ohledně ochrany zdraví a života, obecné bezpečnosti stavební a technologické části, dále potom požární, hygienické a ekologické bezpečnosti. Stavební úřad může určit i další orgány a organizace, které se k projektu vyjadřují, jako je například Báňský úřad, Řízení letového provozu, Vojenská správa, Archeologický ústav, Správa povodí apod.

Během výstavby je nutné kromě zákonů a vyhlášek pro výstavbu respektovat zákon o státním odborném dozoru (Zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce). Tímto zákonem si stát vyhradil kontrolu nad zařízeními, která jsou definována jako zařízení se zvýšenou mírou ohrožení zdraví a bezpečnosti osob a majetku, která podléhají dozoru. Jsou to technická zařízení tlaková, zdvihací, elektrická a plynová. Tento zákon je prováděn následujícími vyhláškami:

- Vyhláška č. 73/2010 Sb. o stanovení vyhrazených elektrických technických zařízení, jejich zařazení do tříd a skupin a o bližších podmínkách jejich bezpečnosti
- Vyhláška č. 18/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterou se určují vyhrazená tlaková zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti
- Vyhláška č. 21/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti

Vodíkové plnicí stanice se týkají vyhrazených zařízení: tlakových, plynových a elektrických.

- tlaková, plnicí tlaky nad 15 MPa
- plynová, plnicí zařízení hořlavých plynů
- elektrická, vodík vytváří zóny s nebezpečím výbuchu

Další legislativa, která se na vodíkovou stanici vztahuje, je spojena s Evropskou unií a jedná se o Směrnici Evropského parlamentu a Rady 97/23/EC - Tlaková zařízení, která je provedena Zákonem č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a na to navazujícím nařízením vlády č. 219/2016 Sb. o posuzování shody tlakových zařízení při jejich dodávání na trh.



Obrázek 12: Povinné bezpečnostní značky na čerpací stanici (33)

7.2. Silniční přeprava vodíku z hlediska legislativy

Dle mezinárodní dohody ADR, tedy úmluvě o přepravě nebezpečných věcí, je vodík definován takto: (34)

- UN kód: 1049
- Třída bezpečnosti: 2
- Klasifikační kód: 1F
- Bezpečnostní značka: 2.1
- Přepravní kategorie: 2
- Identifikační číslo nebezpečnosti: 23

8. Perspektivy

V následujících kapitolách jsou zmíněny současné a výhledové projekty využívající vodík v dopravě. Práce výzkumníků se nesoustředí pouze na osobní automobily, ale i na nákladní dopravu, hromadnou dopravu (silniční i kolejovou) a současně i na rekreační využití.

8.1. Aktuální projekty

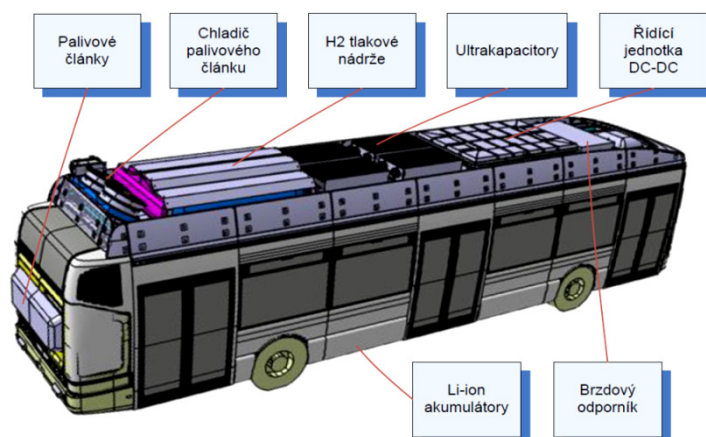
8.1.1. TriHyBus

Jedná se o trojnásobně hybridní dopravní prostředek, který je projektem několika předních firem. Koordinátorem projektoru je Ústav jaderného výzkumu ŘEŽ, a. s. Trakční systém zajišťuje Škoda Electric, firma Proton Motor potom provoz palivového článku a tlakových lahví. Veolia Transport zajišťuje operativu autobusu samotného.

TriHyBus má v podstatě 3 druhy pohonů. Prvním je palivový článek o výkonu maximálně 50 kW, dále trakční baterie s maximálním odejíratelným výkonem 120 kW a vysoko-kapacitní kondenzátory tzv. ultra-kapacity s výkonem až 200 kW.

Palivový systém má 4 kompozitní tlakové nádrže s celkovým objemem 820 dm³ při tlaku 350 bar. Kapacita lithium-iontového akumulátoru je až 27 kWh a kapacita kondenzátorů 17,8 F. Pro srovnání kapacita běžné baterie mobilního telefonu je 5,6 Wh a kapacita kondenzátorů v hudebních zesilovačích se pohybuje v řádech stovek μ F.

Celkově tak TriHyBus může mít dojezd až 320 km.



Obrázek 13: Schéma vodíkového autobusu TriHybus (35)

Tento autobus měl původně sloužit v pravidelném provozu městské hromadné dopravy v Neratovicích, ovšem četnost nasazení je téměř nulová. Celkově vzato má tento autobus spíše testovací a reklamní charakter, než přínos z bezzplodinového provozu.

8.1.2. Osobní automobily

O vodíkovém pohonu uvažovalo více výrobců osobních automobilů.

Pravděpodobně nejznámější je automobil BMW 745 h z roku 2000. Dalšími automobilkami s prototypy s palivovými články nebo s přímým spalováním vodíku jsou například:

- Daimler-Chrysler: F-Cell (2002)
- Fiat: SeincentoElettra H2 Fuel Cell (2001)
- Ford: Focus FCV (2000)
- Mazda: RX-8 Hydrogen RE (2003)

Jak je vidět dle dat výroby, jedná se o starší vozidla. Jak bylo zmíněno, automobilové koncerny se obecně spíše zaměřují na pohon elektrickou energií z baterií než na vodík. Stálou snahu o vodíkový pohon projevuje jako jedna z mála hlavně automobilka BMW. Nejnovějšími projekty jsou nyní Toyota Mirai a BMW i8 s palivovými články.



Obrázek 14: BMW i8 s pohonem na palivové články (36)

8.1.3. Vlak Alstom Coradiai Lint

Jedná se o modifikaci příměstského vlaku Alstom Coradia LINT, který je běžně poháněn naftovou jednotkou. Společnost ALSTOM se tak prezentuje jako počínající ekologická firma. Vlak má být poháněn místo vznětovým motorem jen palivovým článkem na vodík. První vlaky by mohly být dodány do roku 2018. (37)



Obrázek 15: Prototyp vlaku na palivový článek Alstom Coradiai Lint (37)

8.1.4. Tahač Nikola One

Společnost "Nikola Motor Company" představila v roce 2016 unikátní projekt. Jedná se o prototyp tahače na vodíkové palivové články. Výhodou je například podobné koncepční řešení pohonu jako je tomu u české tramvaje Škoda 15T, kde je každé kolo osazeno vlastním elektromotorem. Díky tomuto řešení je možno dosahovat lepšího trakčního vedení. Tahač má tak dohromady výkon 736 kW a dojezd až 1900 km. Sériová výroba by mohla začít v roce 2020. (38)



Obrázek 16: Prototyp vodíkového tahače Nikola One (38)

8.1.5. Kolo Linde H2 bike

Jedná se o zajímavé řešení jízdního kola na palivový článek od firmy Linde AG. V kole je v plynném stavu uskladněno až 33g vodíku a baterie s kapacitou 60Wh. Výhodou tohoto kola je, že vodík do něj není potřeba přečerpávat jako u TriHyBusu, ale v síti Linde stačí zakoupit několik zásobních bombiček. Kolo má stále přívětivou hmotnost 23,5 kg a uváděný dojezd s podporou šlapání je až 100 km, což je poměrně zavádějící informace, vzhledem k tomu, že není přesně definováno, co je podpora šlapání. Cena byla stanovena na 390 000 Kč, ovšem po zavedení do masové výroby firma Linde AG slibuje zlevnění až na 112 000 Kč. (39)



Obrázek 17: Kolo na palivový článek Linde H2 bike (39)

8.2. Výhledové projekty

1.4.2004 byl založen HyWays - evropský model vodíkového programu. Do roku 2013 byla vybudována základní síť vodíkových čerpacích stanic. V Německu je aktuálně v provozu 27 veřejných stanic. Další byly vybudovány v Itálii, Španělsku a Norsku a později i v dalších evropských zemích. Česká vodíková plnicí stanice není přístupná veřejnosti.



Obrázek 18: Orientační plánec vodíkových čerpacích stanic v Evropě k roku 2007 (40)

I přes to, že aktuální pokrytí vodíkových čerpacích stanic stále není ideální, je možné uskutečnit i zajímavé cesty. Například automobilka Hyundai se svým modelem ix35 Fuel Cell absolvovala cestu z norského města Bergen až do italského Bolzana za použití pouze aktuálně existující infrastruktury vodíkových čerpacích stanic. Cesta měřila cca 2500 km a vedla přes Dánsko, Německo a Rakousko. Česká čerpací stanice byla bohužel z trasy vynechána. (41)

Vodíkové autobusy jsou plánovány i do horských středisek Krkonoš. Například město Trutnov toto uvádí a hodlá zavést do provozu do roku 2021. Vodík by byl čerpán z plánované stanice v Poříčí, kde by byl vyráběn pomocí fotovoltaiky. (42)

Jelikož vodíkové hospodářství jako celek je zatím velmi nerentabilní, menší firmy se do nových projektů nepouštějí vůbec. Větší firmy potom většinou očekávají granty z fondů Evropské Unie, protože i pro ně je vodík velmi nerentabilní záležitostí.

9. Závěr

Vodík jako čisté palivo – v minulosti velice nadějná záležitost, která se nyní stává spíše utopií. S přibývajícím testováním výroby, skladování, distribuce a koncového využití začíná být nad míru zřejmé, že idea vodíku, jakožto čistého paliva není zdaleka tak optimistická, jak se mohlo dříve zdát. Ze zákona o zachování hmoty a energie jasně vyplývá, že použitím vodíku jako paliva není možné získat více energie, než bylo vloženo do jeho výroby. Přes tato omezení i nadále probíhá základní i aplikovaný výzkum, který by měl napomoci využít obnovitelné zdroje energie tak, aby byla naplněna myšlenka vodíkového hospodářství. Největší potenciál má výroba vodíku elektrolýzou z přebytečné solární energie.

Většina automobilových výrobců postupně přechází na vhodnější řešení alternativních pohonů a to zejména elektrickou energii ať už v podobě hybridních pohonů nebo pohonů využívajících jen akumulátory.

Perspektivně lze vodík využívat v automobilovém průmyslu i jinak, než přímo k pohonu. Jednou z možností, jak je v práci zmíněno, je čištění karbonových usazenin.

Přes všechna negativa, která konstruktér musí řešit při navrhování, není myšlenka využití vodíku ani zdaleka zavrhnuta. Neustále probíhá snaha o přípravu infrastruktury, hlavně díky neustálým vládním podporám.

10. Bibliografie

1. **Greenwood, N, N. a Earnshaw, A.** *Chemie prvků. svazek I.* Praha : Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
2. **Remy, Heinrich.** *Anorganická chemie I. díl.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1971.
3. **Marhold, Josef.** *Přehled průmyslové toxikologie - Anorganické látky.* Praha : Avicenum, 1986.
4. **Bína, Jaroslav et. al.** *Malá encyklopedie chemie.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1976.
5. **Tuček, Vít et. al.** *Vodík.* Praha : Česká asociace technických plynů, 2004.
6. **Golovko, Georgij, Anatoljevič.** *ustanovki dlja proizvodstva inertnyh gazov.* Leningrad : Mašinostroenie, 1974.
7. **Asociace pracovníků tlakových zařízení, z.s.** *Zpravodaj asociace pracovníků tlakových zařízení. 3,* Praha : ATZ, 2015.
8. **Kolektiv pracovníků Výzkumného ústavu ochrany materiálu, Uhřetěves.** *Korosní sborník.* Praha : Průmyslové nakladatelství, 1952.
9. **Schweitzer, Philip.** *Fundamentals of Corrosion.* Boca Raton : CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4200-6770-5.
10. **Matějovský, Vladimír.** *Automobilová paliva.* Praha : Grada, 2004. ISBN 80-247-0350-5.
11. **Greenwood, N, N. a Earnshaw, A.** *Chemie prvků: svazek II.* Praha : Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
12. **Morris, James.** *Analyses for Turbojet Thrust Augmentation with Fuel-rich Afterburning of Hydrogen, Diborane, and Hydrazine. NASA Technical Reports Server.* Cleveland : NASA Lewis Research Center, 1957.
13. **Vohlídal, Jiří a Julák, Alois.** *Chemické a analytické tabulky.* Praha : Grada, 1999. ISBN 978-80-7169-855-5.
14. **Hromádka, Jan.** *Speciální spalovací motory.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
15. **Cotton, F, A, a Wilkinson, G.** *Anorganická chemie.* Praha : Academia Praha, 1973.
16. **Kellö, Vojtech a Tkáč, Alexander.** *Fyzikálna chémia.* Bratislava : Alfa, 1977.
17. **Červinka, Otakar et. al.** *Chemie organických sloučenin (2).* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
18. www.h2shop.cz. [Online] Atthero s.r.o., 12. Duben 2012. [Citace: 3. Leden 2017.] Dostupné z: <http://www.h2shop.cz/images/lahvesklad.png>.
19. www.supagas.net. [Online] Supagas, 9. Srpen 2012. [Citace: 30. Leden 2017.] Dostupné z: <http://www.supagas.net.au/ultra-high-purity-hydrogen-8-8m3.html#.WI-HzfnhCUk>.

20. www.hytep.cz. [Online] Česká vodíková technologická platforma, 17. Květen 2007. [Citace: 13. Listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/transport-a-skladovani-vodiku/618-skladovani-vodiku-i>.
21. **Halliday, David et. al.** *Fyzika*. Brno : Vutium, 2000. ISBN 80-214-1868-0.
22. www.greencarreports.com. [Online] Green Car Reports, 1. Duben 2016. [Citace: 30. Leden 2017.] Dostupné z: http://www.greencarreports.com/news/1103189_bmws-hydrogen-fuel-cell-vehicle-getting-closer-to-reality.
23. **Partsch, Petr a Zbyněk, Brada.** *Vodíkové aktivity Linde Gas*. [Prezentace] - : Linde AG, 2008.
24. **Nunes, Henry, Xavier et. al.** Hydrogen generation and storage by aqueous sodium borohydride (NaBH₄) hydrolysis for small portable fuel cells (H₂ – PEMFC). *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016, 34, stránky 15426–15432.
25. **Kameš, Josef.** *Vodík alternativní palivo*. Praha : Nakladatelství ČVUT , 2008. ISBN 978-80-254-1686-0.
26. **Gomes Antunes, Jorge et. al.** An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009, 15, stránky 6516–6522.
27. **Shou-Pin, Yu et. al.** Integration of low-preassure hydrogen storage cylinder and automatic controller for carbon deposit removal in car engine. *International journal of hydrogen energy*. 2016, 41, stránky 21795-21801.
28. **Kameš, Josef.** *Alternativní pohony automobilů*. Praha : BEN - Technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
29. www.fuelcellstock.com. [Online] Fuel Cell Stock, 26. Únor 2014. [Citace: 13. Listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.fuelcellstock.com/news/plug-power-gets-order-from-wall-mart>.
30. **Voženílek, Ladislav.** *Kurs elektrotechniky*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1976.
31. **Bagockij, Vladimír, Sergejevič a Skundin, Alexander, Matveyevič.** *Elektro-chemické zdroje proudu*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
32. www.linde-healthcare.com. [Online] The Linde Group 2017, 12. Leden 2017. [Citace: 7. Březen 2017.] Dostupné z: http://www.linde-healthcare.com/internet.global.lindehealthcare.global/en/images/20170111_45551_587022_394240.jpg?v=1.0.
33. www.idnes.cz. [Online] MARFA, a.s., 5. Listopad 2009. [Citace: 22. Listopad 2016.] Dostupné z: http://1gr.cz/fotky/idnes/09/111/org/FDV2eed11_Vodikova_stanice_3.jpg.
34. Evropské dohody o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí. *Sbírka mezinárodních smluv*. Praha : Tiskárna Ministerstva vnitra, 2015. 11. ISSN 1801-0393.
35. **Polák, Lukáš.** *Projekt TriHyBus*. [Prezentace] - : ÚJV Řež, a.s., 2016.
36. www.greencarreports.com. [Online] greencarreports, 7. Červenec 2015. [Citace: 13. Listopad 2016.] Dostupné z: http://www.greencarreports.com/news/1098965_bmw-hydrogen-fuel-cell-prototypes-now-testing-production-sometime-after-2020.

37. www.alstom.com. [Online] ALSTOM, 20. Zář 2016. [Citace: 2. Březen 2017.] Dostupné z: <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/trains/products/coradia-ilint-regional-train-/>.
38. www.novinky.cz. [Online] Borgis, a.s., 3. Prosinec 2016. [Citace: 9. Leden 2017.] Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/422540-prototyp-tahace-na-palivove-clanky-je-na-svete.html>.
39. www.auto.cz. [Online] CZECH NEWS CENTER a.s., 5. Zář 2016. [Citace: 5. Únor 2017.] Dostupné z: <http://www.auto.cz/jezdili-vodikovem-kole-linde-h2-bike-tohle-ry-budoucnost-97968>.
40. www.cordis.europa.eu. [Online] EU Publications Office, 5. Květen 2008. [Citace: 13. Listopad 2016.] Dostupné z: http://cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/hyways-roadmap_en.pdf. ISBN 978-92-79-07824-8.
41. www.hyundai.news. [Online] Hyundai, 17. Leden 2016. [Citace: 4. Březen 2017.] Dostupné z: <https://www.hyundai.news/eu/technology/powered-by-hydrogen-from-bergen-to-bolzano-with-the-ix35-fuel-cell/>.
42. www.idnes.cz. [Online] MARFA, a.s., 11. Leden 2017. [Citace: 4. Březen 2017.] Dostupné z: http://hradec.idnes.cz/vodikove-autobusy-trutnov-krkonose-dvr-/hradec-zpravy.aspx?c=A170111_2297991_hradec-zpravy_tuu.

11. Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Svody do odvzdušňovacího komínu a odvzdušňovací komín neratovické plnící stanice na vodík (autor).....</i>	11
<i>Obrázek 2: Procentuální podíl různých surovin na výrobě vodíku (14)</i>	17
<i>Obrázek 3: Kompresor firmy Linde v plnící stanici v Neratovicích (autor)</i>	25
<i>Obrázek 4: Tlakové láhve spojené do svazku (18)</i>	26
<i>Obrázek 5: Řez kryogenní nádrží (23)</i>	27
<i>Obrázek 6: Závislost zpoždění vznícení směsi na teplotě (26)</i>	29
<i>Obrázek 7: Zjednodušený princip funkce palivového článku (29) (přeloženo).....</i>	30
<i>Obrázek 8: Technologický princip funkce elektrolytického palivového článku (31)</i>	31
<i>Obrázek 9: Schéma nikl-vodíkového akumulátoru (31).....</i>	32
<i>Obrázek 10: Čerpací stanice vodíku v Neratovicích (autor)</i>	33
<i>Obrázek 11: Plnící stanice vodíku v německém Unterschleißheimu (32)</i>	33
<i>Obrázek 12: Povinné bezpečnostní značky na čerpací stanici (33)</i>	35
<i>Obrázek 13: Schéma vodíkového autobusu TriHybus (35).....</i>	36
<i>Obrázek 14: BMW i8 s pohonem na palivové články (36).....</i>	37
<i>Obrázek 15: Prototyp vlaku na palivový článek Alston Coradiai Lint (37).....</i>	37
<i>Obrázek 16: Prototyp vodíkového tahače Nikola One (38)</i>	38
<i>Obrázek 17: Kolo na palivový článek Linde H2 bike (39).....</i>	38
<i>Obrázek 18: Orientační plánec vodíkových čerpacích stanic v Evropě k roku 2007 (40).....</i>	39

12. Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Fyzikálně-chemické vlastnosti vodíku (1) (2) (4) (5)</i>	12
<i>Tabulka 2: Srovnání vodíku s ostatními palivy (10)</i>	15
<i>Tabulka 3: Významné sloučeniny vodíku (2).....</i>	15
<i>Tabulka 4: Energetická bilance vznětového motoru s různými palivovými systémy (26).....</i>	29

13. Seznam zkratek

ADR	Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí
CNG	Stlačený zemní plyn
LPG	Zkapalněný propan butan
MEŘO	Metylester řepkového oleje
PED	Evropská směrnice pro tlaková zařízení
ppm	Částice na milion
PSA	Tlaková adsorpce
tr.oz.	Trojská unce (31,103 g)

14. Přílohy

Příloha 1: Kolaudační řízení plnicí stanice

Na základě výše zmíněných legislativních předpisů může technologii a elektroinstalaci vodíkové plnicí stanice instalovat pouze organizace mající oprávnění k výrobě, montáži, opravám vyhrazených technických zařízení a k plnění nádob plyny, jejíž pracovníci mají osvědčení o odborné způsobilosti fyzických osob k opravám a montážím vyhrazených technických zařízení.

Dále se podle stejných předpisů účastní tlakových a těsnostních zkoušek technologie:

1. Zástupce montážní organizace
2. Zástupce Notifikované osoby
3. Zástupce Technické inspekce České republiky
4. Revizní technik

Kontroly elektroinstalace se účastní:

1. Zástupce montážní organizace
2. Zástupce Technické inspekce České republiky
3. Revizní technik

Činnost zástupce Notifikované osoby, Technické inspekce České republiky a revizního technika jsou placené činnosti a v součtu se jedná v řádech o desetitisíce Kč.

K vydání kolaudačního souhlasu Stavebního úřadu s provozem stanice pro komerční využití vyžaduje Stavební úřad tyto doklady:

- Odborné a závazné stanovisko Technické inspekce České republiky k vyhrazeným technickým zařízením
- Protokol o kontrole tlakového celku vydaného Notifikovanou osobou
- Prohlášení o shodě na stavbu vydaného investorem
- Protokol metrologického ústavu o kontrole a kalibraci výdejního stojanu
- Záznam o proškolení obsluhy vodíkové čerpací stanice o obsluze stabilních tlakových nádob a o obsluze plynového zařízení
- Záznam o proškolení obsluhy vodíkové čerpací stanice o obsluze stanice jako celku
- Výchozí revizi elektrického zařízení a doklady o kusových zkouškách rozvaděčů
- Výchozí revizi uzemnění a pospojování

- Výchozí revizi plynového zařízení
- Výchozí revizi tlakových nádob stabilních zařízení
- Pasporty tlakových nádob stabilních, jsou-li vyrobeny dle ČSN 690012
- Prohlášení o shodě a návod k použití tlakových nádob stabilních, jsou-li vyrobeny dle PED
- Souhlasné stanovisko s trvalým provozem vydané dotčenými orgány a organizacemi státní správy (hasičský záchranný sbor, inspekce práce, okresní hygienická stanice a odbor ochrany životního prostředí)
- Protokoly o tlakových a těsnostních zkouškách
- Protokoly o funkčních zkouškách
- Protokoly o krychelné pevnosti betonů
- Protokoly o zákonné likvidaci odpadů vzniklých na stavbě
- Paré projektové dokumentace s označením skutečného stavu stavby
- Prohlášení o shodě na použité součásti stavební a technologické části, hutní atesty, výsledky předepsaných měření (např. osvětlení, hluk apod.)

Stavební úřad má ze zákona na vyřízení žádosti 30 dní a dalších 15 dní musí být rozhodnutí vyvěšeno na úřední desce, než nabude právní moci. Přičteme-li dalších 10 dní nutných na zpětné navracení doručenek posílaných poštou, vychází délka celého stavebního řízení na 110 dní. A to pouze za předpokladu, že se proti stavebnímu řízení žádný z účastníků neodvolá a stavební řízení není prodlouženo požadavky na změny projektové dokumentace.

Po ukončeném kolaudačním řízení je provozovatel povinen zpracovat místní a provozní řád, požární řád, požární poplachové směrnice, vykonat první provozní revize tlakových nádob stabilních, plynového zařízení a zpracovat dokumentaci na ochranu před výbuchem dle nařízení vlády číslo 405 Sb.

Přidá-li se další administrativní náročnost během výstavby a zprovoznění stavby, je zřejmé, že za stávajícího stavu není možno rychle a operativně reagovat na požadavky trhu.

Stávající legislativa je tak například pro zahraničního investora prakticky neřešitelná bez spolupráce s tuzemským subjektem. Důkazem tohoto tvrzení je fakt, že vodíková plnicí stanice v Neratovicích měla původně stát na pozemku neratovické čerpací stanice OMV. Tehdejší vedení sítě čerpacích stanic ze začátku projevovalo velkou náklonnost danému projektu, ovšem při pokračujícím řízení nakonec spolupráci ukončilo i přes to, že se jednalo o velmi lukrativní nabídku (zejména z reklamního hlediska).