



Education in Hydrogen Technologies Area

VODÍK PRO SPALOVACÍ MOTORY



**Co-funded by
the European Union**

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

obsah	2
úvod.....	2
1 Historie	3
2 plynňý vodík	7
3 tankování.....	11
3.1 tankování ve vlastním domě	13
3.2 benzín a nafta	13
4 Princip čtyřtaktu v ottově a dieslově motoru.....	15
4.1 Ottův spalovací motor	16
4.1.1 fáze 1. sání.....	17
4.1.2 fáze 2. komprese	17
4.1.3 fáze 3. Silový zdvih.....	17
4.1.4 fáze 4. výfuk.....	17
4.2 princip čtyřtaktu u dieslového motoru.....	17
4.3 dieslový vznětový motor	18
4.3.1 fáze 1. sání.....	18
4.3.2 fáze 2. stlačení-komprese.....	18
4.3.3 fáze 3. zážeh	18
4.3.4 fáze 4. výfuk.....	18
5 Jak vodík funguje ve spalovacím motoru?	19
5.1 konverze spalovacího motoru na vodíkový pohon	20
5.1.1 krok 1	20
5.1.2 krok 2	21
5.1.3 krok 3	21
5.2 dva různé způsoby sycení motoru vodíkem	22
5.2.1 krok 4.....	22
6 Fáze výzkumu	24
6.1.1 vstřikování vodíku, PFI.....	24
6.1.2 kompresní zapalování homogenní náplně, HCCI.....	25
6.1.3 vstřikování paliv s jiskrovým zapalováním.....	26
6.1.4 Pilotní zapalování paliva se vstřikováním vodíku přes port	26
6.1.5 vodíkové spalování s přímým vstřikováním	27

6.1.6	Zážeh pomocí žhavicí svíčky motoru	27
6.1.7	zážeh pomocí zapalovací svíčky motoru.....	28
6.1.8	vznětový motor s přímým vstřikováním duálního paliva při vysokém tlaku	28
6.2	pro a proti různých metod.....	30
6.2.1	role vstřikovače	30
6.3	Tři různé typy vstřikování	31
6.3.1	Elektro-hydraulické ovládání (NTSEL).....	31
6.3.2	elektromagnetické ovládání (Westport)	31
6.3.3	Piezo-elektrické ovládání (Westport).....	31
7	závěry	31
7.1	výhody vodíkové konverze stávajících motorů	32
7.2	proč vodík ve spalovacích motorech	32
8	Reference	34
9	odkazy na obrázky	36
10	zkratky	38

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.

ÚVOD

Probíhající energetická debata, díky ničení životního prostředí, které je přímo spojováno s používáním fosilních paliv, vede jednoznačně k faktu, že jsme nuceni najít nové zdroje energie. Všechna fosilní paliva jako ropa, plyn které pocházejí ze země obsahují uhlík, který se mění na oxid uhličitý pokud ho spalujeme. Všechno co obsahuje uhlík a my různými způsoby spálíme, vede k tomu, že místo abychom emise oxidu uhličitého snižovali, v mnoha případech je tomu právě naopak.

S celosvětově rostoucí populací roste též potřeba dopravních prostředků pro jednotlivce, komerční vozidla, nákladní přepravu i letadla. To zvyšuje též potřebu paliv pro rostoucí transport. Jinými slovy s větší světovou populací se zvyšuje potřeba paliv. Též je více než jasné, že náš způsob života ovlivňuje celosvětové klima. V některých částech světa změny klimatu vedou k suchu a rozsáhlým lesním požárům zatímco jiné části ohrožují prudké bouře a lijáky způsobující záplavy. Výzkum probíhá na několika místech na světě a nové technologie pro tyto dopravní prostředky jsou jednou z nejvyšších priorit. Alternativní paliva byla již zkoumána a některá se již používají, další jsou více či méně stále ve stádiu zkoušení a projektů. Elektrifikace různých typů vozidel je jev, který vídáme čím dál častěji. Tato vozidla jsou stále relativně drahá a tedy nemusí být dostupná široké veřejnosti, navíc nabídka takových vozidel není tak široká jako u tradičních benzinových a dieslových vozidel. Navíc, produkce elektřiny není vždy vyřešena s ohledem k životnímu prostředí bez negativních dopadů. Další paliva, která můžeme zmínit jsou biopaliva, která jsou zbytkovými produkty vznikající z odpadu domácností a zemědělství. Alkohol nebo ethanol je palivo, které se též již nějakou dobu používá jako doplněk pro auta poháněná benzínem. Řepkový olej je též alternativa k fosilním palivům. Žádné z těchto alternativních paliv nezvyšuje emise oxidu uhličitého, ale udržuje je v neutrální hladině. Jsou součástí přirozeného přírodního cyklu.

Vodík byl již zkoumán v různých obdobích naší světové historie. Relevantní otázkou je, proč výzkum očividně v určité době šel rychle kupředu a potom se zase rychle zpomalil, aby se později zase na novo rozběhl. Vodíková vozidla, která jsou poháněna takzvanými palivovými články se začínají objevovat v některých částech světa, ikdyž nejsou tak častá jako osobní auta ve Švédsku. Nicméně, ve veřejné dopravě jako je autobusová doprava můžeme sem tam tento trend zaznamenat také. Dokonce ani dnes, není běžně možné jít a koupit si osobní či nákladní vůz se spalovacím motorem, který je poháněn vodíkem, ale někteří výrobci jsou již velmi blízko takové vozidlo dokončit.

1 HISTORIE

Tato kapitola hovoří o historii vodíku, od 18. století až po současnost. Dozvíte se o prvních vynálezech vodíkových spalovacích motorů a nápadech, které jsou stále relevantní ve vývoji vodíku i dnes.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Historie vodíku, automobil, Rivaz.

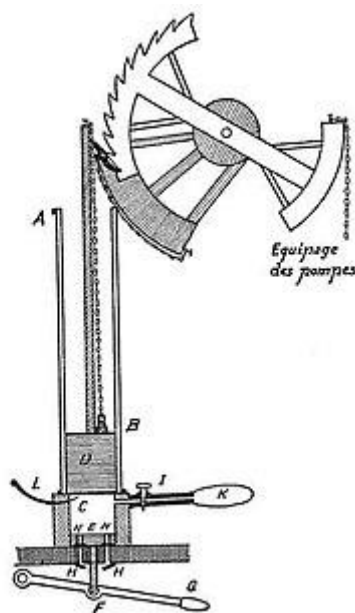
OTÁZKY KE STUDIU

1. Který muž přišel s prvním funkčním spalovacím motorem?
2. Co vedlo k rapidní změně v užívání paliv v Leningradu roku 1941?
3. V jakém smyslu byl rok 1966 úspěšný v souvislosti s vývojem vodíkových technologií?

Víme, že dávno v roce 1700 zde byly pokusy vynalézt kočáry, které se pohybují samy a bez potřeby zápruhu koní. Francouz Cugnot zkonstruoval kočár poháněný parním strojem a jeho účelem bylo vozit děla pro armádu. Tento samo se pohybující vůz byl pojmenován automobile z řeckého autos což znamená sám a latinského mobilis což znamená pohybující se. Naneštěstí tento vynález skončil velmi záhy. Cugnotův kočár najel do zdi a byl naprosto zničen.

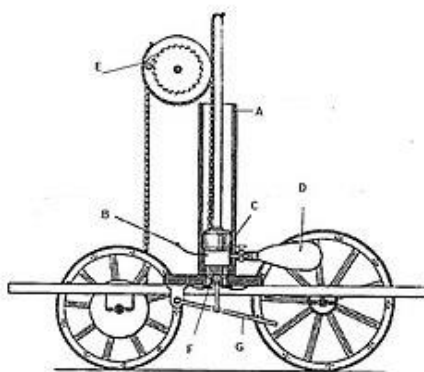
Když čteme o historii motorů, jistě zaznamenejme, že Nicolaus Otto byl vynálezce, s největší pravděpodobností, prvního motoru se spalovacím prostorem. Dieslový motor byl vynalezen Rudolfem Dieselem a též pojmenoval palivo. Toto se událo někdy v půli 19. století, bohužel je těžké uvést přesný rok vzhledem k tomu, kdy byl vynález patentován. Otto byl první s moderním spalovacím motorem v roce 1876, ale ještě před ním Etienne Lenoir úspěšně vynalezl spalovací motor pro komerční účely asi kolem roku 1860. Je důležité podotknout, že francouzský gentleman jménem Francois Isaac de Rivaz byl ještě před výše zmíněnými pány.¹ Rivaz se narodil ve Francii roku 1752 a později se přestěhoval do Švýcarska, kde se stal vynálezcem a politikem. Na začátku 19. století měl Francois hotový primitivní motor.

¹(Wikipedia, 2019)



První verze Rivazova motoru (obrázek 1)

O trochu později měl též kočár bez nutnosti živých koňských sil, kam umístil jeden ze svých motorů, což se považuje za první světový spalovací motor k pohánění automobile. A cca roku 1809, cestoval tímto vozem kolem Ženevského jezera.

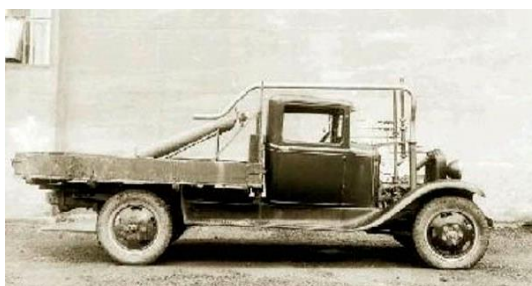


Jeden z prvních Rivazových vozů (obrázek 2)

Jenže Francois pravděpodobně předběhl svou dobu, jen málo lidí v něj věřilo, a tvrdili, že jeho vynález nebude nikdy schopen konkurovat parnímu stroji. Ale palivo, které Francois použil nebyla nafta ani benzín, použil vodík.

Posuneme se o půl století dopředu, do roku 1860, jiný vynálezce, Francouz jménem Etienne Lenoir, vyvinul tříkolový Hippomobil. Lenoirův Hippomobil byl poháněn jednoválcovým dvoutaktovým motorem. Vodík byl vyráběn elektrolýzou vody a plyn sytil motor.

V řadě další automobilů na vodíkový pohon byl vyvinut v Norsku v roce 1933, když norská Norsk Hydro elektrárenská společnost předělala malý nákladní vůz. Vůz byl opatřen amoniakovým reformátorem, který produkoval vodík, kterým byl následně sycen spalovací komorový motor.



První norský nákladní vůz předělaný na vodíkový pohon (obrázek 3)

V roce 1941 kdy byl svět ve světové válce, německá nacistická armáda obklíčila Leningrad, což pomalu vedlo k tomu, že došly zásoby benzínu pro armádní vozidla. Nedostatek benzínu podnítil nová řešení a vynálezy. A proto Rus Boris Shelishch, předělal 200 GAZ-AA nákladní vozidla na vodíkový pohon, ukázalo se, že hoří čistěji a déle než benzín. Z nějakého důvodu všechny detailní dokumenty týkající se vodíku jako alternativního paliva záhodně zmizely po 2. světové válce a stále se nenašly.

1959 Harry Karl Ihrig přizpůsobil traktor Allis-Chalmers a vytvořil tak první vozidlo na palivové články v historii. Palivové články zde nebudou vysvětleny, jen chceme zdůraznit, že probíhal paralelní vývoj oběma směry týkající se alternativních paliv již dříve v historii. ²

²(National Museum of American History, n.d.)



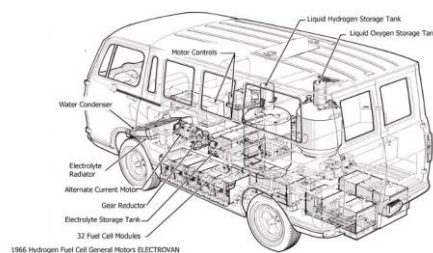
Harry Karls Ihring a jeho traktor na palivové články (obrázek 4)

Rok 1966 byl úspěšný rok pro vodík a to jak u spalovacích motorů tak vodíku pro vozidla na palivové články. Roger Billings přinesl nový nápad co se týče vodíkových paliv a předělal běžný Ford model A na vodíkové palivo v normálním benzínovém motoru.³



Roger Billings a jeho předělaný model A na vodíkový pohon, 1966 (obrázek 5)

Ten samý rok General Motors vytvořili GM Electrovan na palivové články, toto vozidlo se považuje za první osobní vozidlo na tento pohon.



³Roger Billings (Billings, 2013)

Od té doby se vývoj vozidel poháných vodíkem ve spalovacím motoru i vozidel na palivové články posunul velmi dopředu.

2 PLYNNÝ VODÍK

Tato kapitola hovoří stručně o plynném vodíku a procesu jeho výroby bez dopadu na životní prostředí, kapitola dale prezentuje různé typy vozidel poháněných vodíkem. Výroba vodíku je dále detailně vysvětlena v jiném modulu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Výroba vodíku, váhový poměr, plavidla poháněná vodíkem, elektro palivo.

OTÁZKY KE STUDIU

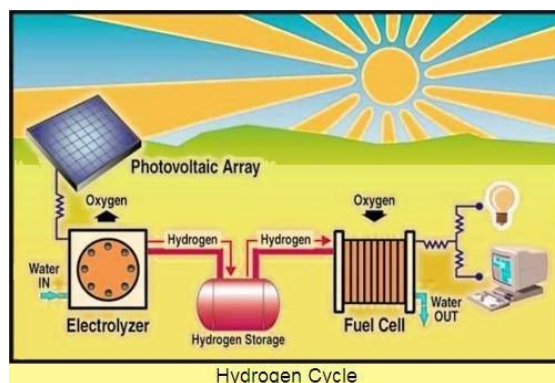
1. Jaký je váhový poměr mezi vzduchem a vodíkem?
2. Uveďte příklad odkud může být vodík rafinován?
3. Jaké druhy vozidel a plavidel mohou být použity pro vodíkový pohon?

Plynný vodík je nejlehčí ze všech prvků ve vesmíru, je asi 14x lehčí než vzduch, a to znamená že vodík se rozpíná velmi rychle při jeho úniku. Vodík se skládá s dvou atomů vodíku, a proto má chemické označení H_2 . Je bezbarvý, bez zápachu a netoxický, ovšem vysoce hořlavý. Vodík je nejhojnější chemická substance ve vesmíru a tvoří přibližně 75%. Na Zemi je ho znatelně méně pouze 0.15% z celkového objemu, je přítomen v různých formách skupenství, např. ve vodě, H_2O .

Výroba vodíku

První záznam o uměle vytvořeném vodíku je ze začátku 16. století, kdy kyseliny reagovaly s různými kovy. Dnes máme hned několik způsobů výroby vodíku, různé způsoby mají též více či méně dopad na životní prostředí a stále se pracuje na tom, aby výroba vodíku byla co nejvíce ekologická. Dnes již

víme, že pro životní prostředí je nejlepší, pokud můžete využít solární energii či větrné turbíny, ale i tyto metody mají určitý negativní dopad na životní prostředí.⁴



Vodík vyráběný pomocí solární energie (obrázek 7)

Zde vysvětlíme pouze jeden způsob, a to velmi zjednodušeným způsobem. Můžeme říct, že výroba vodíku je zde provedena tím, že od sebe oddělíme kyslík a vodík. Toto se děje pomocí elektrické energie, kterou pustíme do vody. Slaná voda je výhodou, protože vede elektřinu lépe. Tento process oddělování těchto dvou prvků můžeme též nazvat jako rozštěpení vody. To, co se děje poté, je že se z kyslíku a vodíku stanou samostatné plyny. V této kapitole se nebudeme příliš zabývat výrobou jako takovou. Faktem ale je, že tento proces je běžně proveditelný v domácích podmínkách, pokud máte správné vybavení. Musíte mít ale na paměti, že máte co do činění s hořlavým plynem.⁵

Různé typy vozidel

Vývoj má za sebou dlouhou cestu a použití vodíku můžeme dnes vidět ve všech možných typech vozidel. Většina velkých výrobců vozidel na světě testuje své vlastní motory do aut, která pohání pouze vodík, než aby motory pouze modifikovali k vodíkovému pohonu. Je ale nutné dodat, že vývoj jde kupředu opravdu velmi rychle a je velmi těžké zde uvést naprosto nejnovější poznatky, protože zítra už mohou být zastaralé. Autobusy s tradičním spalovacím motorem jsou v některých částech světa úspěšně poháněny vodíkem.

⁴Kumar (2016)

⁵(Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019)



Autobus poháněný vodíkem s konvenčním motorem, za jehož výrobou stojí společnost Keyou (obrázek 8)

Jeden z problémů je, že nejsou naprosto bez emisí, protože obsah oxidu uhelnatého CO , a oxidu uhličitého CO_2 , je téměř nezatelný, ale na druhou stranu je zde obsah oxidu dusnatého, NO_x , s kterým se potýkáme, abychom ho udrželi na akceptovatelné úrovni. V procesu hoření je použit vzduch a dusík ve vzduchu se přemění na oxid dusnatý, což znamená, že tato vozidla nesplňují požadavky, aby mohla být klasifikována jako bezemisní, ale výzkum v této oblasti také pokračuje. Toto vysvětlíme později a také jak s tím pracovat. Též v oblasti nákladních vozidel je výzkum veden směrem k použití vodíku jako paliva pro již existující spalovací motory. Dálkoví dopravci, kteří byli zcela závislí na fosilních palivech již závislí nebudou muset být.

Teoreticky jezdit bez fosilních paliv, pouze na vodík je možné. Motory prokázaly, že fungují stejně tak dobře na vodík jako na naftu a výkon motoru, točivý moment a účinnost paliva je stejná jako byla předtím. Některé společnosti, které se zabývají vstřikováním paliva dokonce tvrdí, že jejich produkt vykazuje lepší výsledky, a to jak v účinnosti, tak otáčkách. Navíc, problémy, které mají majitelé elektrických aut týkající se dobíjecích stanic a času, který dobíjení zabere, zde odpadá, a čas se v dopravním sektoru velmi cení.

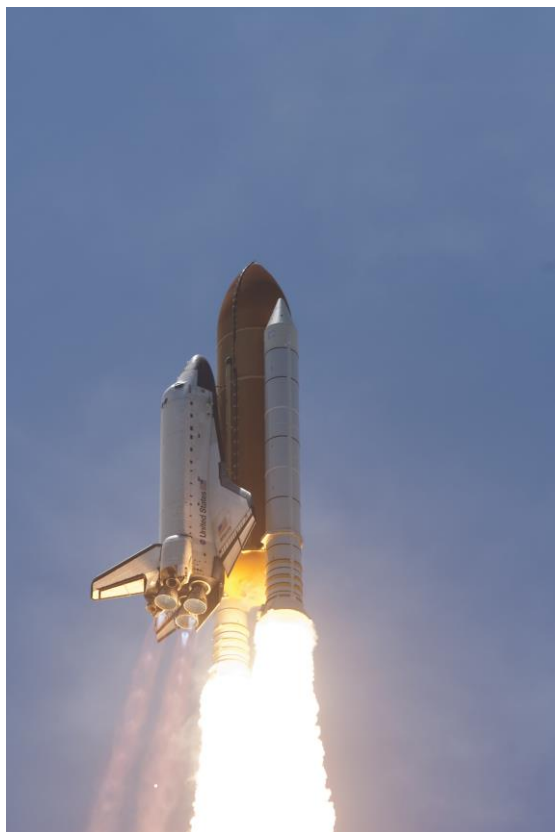
V námořní dopravě jde vývoj stejným směrem, a navíc zde bude ještě větší dopad na ekologické cíle, protože zde nejsou žádné restrikce jaké palivo je použito a též žádná purifikace zplodin, některé přepravní společnosti již vodík testují.

Letecká doprava též vyvíjí alternativní zdroje pohonu pro letadla, a jednou z alternativ je vodík. Nedávno uskutečnili úspěšné pokusy letů na vodíkový pohon, v tomto případě se jednalo ještě o směs jiného paliva, kterému se říká elektro palivo. Elektro palivo je kolektivní název pro paliva obsahující uhlík vyrobená pomocí elektřiny jako hlavního zdroje energie. Uhlíkové atomy v palivu pocházejí z oxidu uhličitého sesbíraného ze vzduchu, moře a plynů z elektráren, můžeme to nazvat formou recyklace oxidu uhličitého.



Různé typy letadel se testují (obrázek 9)

Raketoplány též používají vodík, ovšem v kapalně formě, společně s kapalným kyslíkem. Nádrže jsou vysoké, 15 podlažní o objemu 530 000 litrů kapalného kyslíku a 1.5 milionu litrů kapalného vodíku. Tyto se zplyňují ve spalovací komoře a zajišťují pohon pro raketu. Veškeré toto palivo je spotřebováno během 8 minut a 20 sekund.⁶



Raketoplán s plnými nádržemi naplněnými kyslíkem a vodíkem (obrázek 10)

⁶(KSC, n.d.)

V krátkosti můžeme říci, že vodíkové palivo můžeme v podstatě použít ve všech typech vozidel a letadel či plavidel. Ikdyž zatím to vypadá, že vývoj v sektoru osobních automobilů poněkud vázne. Nicméně už se začínají objevovat první vlaštovky prototypu u různých světových výrobců.

3 TANKOVÁNÍ

V následující kapitole se dozvíte, jaká jsou možná rizika v souvislosti s tankováním vodíku. Také se v kapitole dočtete o výhodách ve srovnání s dobíjením elektromobilů a budoucnosti vodíkové paliva a jeho tankování.

KLÍČOVÁ SLOVA:

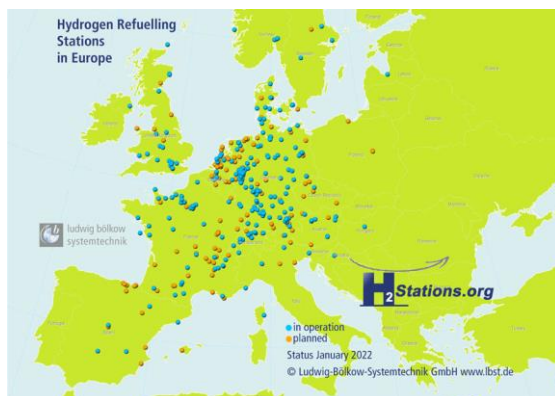
tankování, potenciální rizika, benzín a nafta versus vodík.

OTÁZKY KE STUDIU

1. Jakou výhodou je tankování vodíku oproti dobíjení elektrického vozidla?
2. Proč je vodík stlačený na tak vysoké hodnoty?
3. Jaké riziko z hlediska bezpečnosti hrozí u tankování vodíku?

V době, kdy je tento text psán, což je květen 2022 lze takovat na pěti místech ve Švédsku a v Evropě je celkem asi 230 stanic, kde můžete vodík natankovat. Německo vede se svými 101 stanicemi, následováno Francií se 41 stanicemi, Velkou Británií, která má 19 stanic, Švýcarsko 12 a Nizozemí 11. Je možné se pouze domnívat, že nedotatek čerpacích stanic je právě to, co brání vývoji a přechodu na vodík, ale celá situace se vyvíjí a jde kupředu.⁷

⁷(Autovista SE, n.d.)



Je zřejmé, že je nutností, aby vznikaly další čerpací stanice na vodík, což umožní další vývoj kupředu (obrázek 11).

Velkou výhodou tankování vodíku ve srovnání s dobíjením elektromobilů je hlavně čas, natankovat vodík netrvá déle než tankování benzínu či nafty, tj asi 2-5 minut záleží na velikosti nádrže. Dobíjení elektromobilu trvá asi 8-12 hodin, u dobíjecí stanice s rychlodobíjením s vysokým napětím se toto zkrátí asi na 20 minut, ale baterie se nenabije na 100 %, ale jen asi z 80 %.

Tankování vodíku do auta se provádí z tlakových nádrží na stanici a vodík je v automobile též tlakovaný. Tlak v nákladní vozidle je 350 barů, v autě je to 700 barů. Plyn je tlakovaný, aby měl větší kapacitu, ale jak již bylo zmíněno, vývoj jde neustále kupředu, což znamená, že tyto hodnoty se už mohli změnit.



Tankovací hubice je velmi podobná těm, které se používají pro vozidla na jiný plynový pohon (Obrázek 12).

Vyhodnocení možných rizik nehod při tankování se budeme zabývat v jiném modulu, který se čistě zaměřuje na problematiku "Čerpacích stanic". Vzhledem k vysokému tlaku v nádrážích je potenciálně

vysoké riziko úniku, protože plyn je mnohokrát lehčí než vzduch. Tlak se zvýší, a protože tankování obvykle probíhá venku, zváší se rychle a smísí se se vzduchem. Na druhou stranu, pokud by se nahromadil v uzavřeném prostoru a došlo by k jeho tepelnému vznícení, je zde velké riziko rychlého požáru. Je tedy více než důležité, že jsou zde senzory, které včas upozorní na možný únik plynu a že prostory, kde by se únik mohl objevit jsou opatřeny ventilačními jednotkami, které se rychle aktivují.

3.1 TANKOVÁNÍ VE VLASTNÍM DOMĚ

Tankování u vás doma by mohlo být možné, otázka je, jak se rozhodnou autority, ale rozhodně by to bylo realizovatelné. Už dnes si můžeme sami doma dobít naše elektrická auta. Takže se správným vybavením si můžete vyrábět vlastní vodík, je “jen” potřeba ho stlačit, aby byl použitelný do vozidla. A pokud chceme být ohleduplní k životnímu prostředí znamená to využít samozřejmě zelenou elektřinu, tj. solární panely na střeše či větrné turbíny.



Zde palivová stanice pro domácí použití vyvinuta Hondou, tato stanice též zajišťuje elektřinu pomocí palivového článku

(obrázek 13)

3.2 BENZÍN A NAFTA

Téměř 150 let jsme se více či méně spoléhali na benzín a naftu, aby poháněly naše vozidla a plavidla na silnicích, na vodě a ve vzduchu. Už před více než 100 lety zde byly další možnosti, které mohly velice pravděpodobně uspět právě místo benzínu a nafty. Elektřina například byla velmi vyspělá, spousta různých typů elektrických vozidel existovala před více než 100 lety. Rychlostní rekordy přes 200 km/h se ukutečnily v elektrických automobilech na rychlostních okruzích v Americe na začátku minulého století. Vozidla poháněná párou byla další možností, a to nejen vlaky, ale i osobní vozidla. Otázkou zůstává jak to, že nakonec vyhrál benzín a nafta? Na tuto otázku asi stěží dostanete

odpověď. Další relevantní otázka je; jak by bývalo vypadalo životní prostředí dnes, kdyby se bývaly byly našly ještě další alternativy?

Potýkali bychom se s celosvětovým nárůstem teploty, jaký máme dnes, kdybychom bývali investovali do něčeho jiného namísto benzínu a nafty? Faktem je, že když auto a spalovací motor vstoupily začátkem minulého století na scénu, tak to bylo považováno jako dobrá investice pro životní prostředí, protože velká města po celém světě měla velké problémy se všemi těmi koňmi v ulicích táhnoucí povozy jak se božím, tak s lidmi. Velký problém byl, že koně též museli vykonávat svoje přirozené potřeby, a to kdykoliv a kdekoliv, což znamenalo výkaly.



Takto vypadala města na začátku minulého století, ten zápach musel být znatelný (obrázek 14).

Nutno dodat, že to bylo něco, co koně dělali 24 hodin denně bez ohledu na to, jestli stáli a nebo tahali povozy, narozdíl od aut, které nespotřebovávají žádné palivo ani nevypuštějí žádné výfukové plyny pokud je nepoužíváme.

Vodík v této době nebyl příliš využíván a už nebyl významný jako pohon pro vozidla na silnicích, aspoň ne pro běžné použití, a výzkum spíše stagnoval. Namísto toho ale přišli na to, že je možné využít lehký plyn k tomu, aby se plavidla a letadla vznášela, jako Zeppelin. Vlastně byly zamýšleny pro helium a byly užívané k létání přes Atlantik. Ferdinand Adolf Heinrich Von Zeppelin, který se narodil v Německu na začátku 19. století, stojí za těmito vzdušnými plavidly.⁸ Amerika sice byla v té době světovým leaderem ve výrobě helia, ale zároveň nedovolovala jeho export, plavidla byla tedy plněna

⁸(This Day in Aviation, 2023)

vodíkem. Bohužel, ve spojení se vzduchem anebo kyslíkem se vodík stal vysoce hořlavým. V roce 1937 během letu v Americe se Zeppelin Hindenburg vznítil při přistání. Věří se, že byl zasažen bleskem, ale dodnes není jasné, zda právě to způsobilo havárii nebo jestli to byla sabotáž. Celá věc byla též zachycena kamerou. Plavidlo rychle klesalo dolů k zemi a požár se šířil velice rychle. 35 lidí na palubě a jeden člověk na zemi zahynulo. Jestli právě toto přispělo ke skeptickému pohledu na vodík či nikoliv se můžeme pouze domnívat, ale film, který celou pohromu ukazuje měl pravděpodobně velký dopad na použití plynu. Nehoda Hindenburgu zahájila konec ery velkých vzducholodí té doby.⁹



Luxusní vzducholodí Hindenburg zachycena na fotografii při její havárii v roce 1937, 36 lidí zahynulo (obrázek 15)

V dnešní době se znovu pokračuje s vývojem velikých vzducholodí, jen stále není jasné, jestli budou plněny vodíkem či heliem. Důvod pro obnovu vzducholodí je ten, že jsou ekologičtější než běžná letadla.

4 PRINCIP ČTYŘTAKTU V OTTOVĚ A DIESLOVĚ MOTORU

Tato kapitola vysvětluje principy, které stojí za Ottovým a Dieslovým motorem, jež oba mohou být použity s vodíkovým pohonem. Též se dozvíte více o principu čtyřtaktu u obou typu motorů.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Ottův motor, Dieslův motor, princip čtyřtakového motoru.

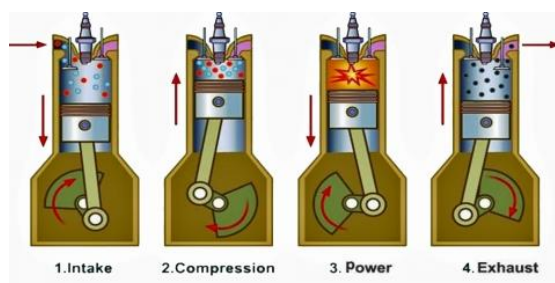
⁹(SO-rummet, 2022)

OTÁZKY KE STUDIU

1. Co se tvoří pod tlakem ve válci?
2. Co se používá v Ottově motoru za palivo k zážehu?
3. Jaké palivo se používá k zážehu v Dieslově motoru?

Zde malé opakování, jak funguje čtyřdobý motor, Ottův motor i vznětový motor, a to vše proto, aby bylo snazší pochopit vodík jako palivo v motoru na základě těchto principů. Ve čtyřdobém motoru probíhá celý pracovní proces ve čtyřech zdvihových cyklech, přičemž jeden zdvih představuje pohyb pístu z jedné úvratě do druhé, například z horní úvratě do dolní úvratě nebo naopak. Termín úvrať znamená, že když píst dosáhne spodní polohy ve válci nebo horní polohy, zpomalí se natolik, že se obvykle nazývá stojící, než změní směr a vydá se opačným směrem, dosáhne svého mrtvého středu a v jednotlivých zdvihových krocích se dějí různé věci. Horní úvrať se někdy zkráceně označuje jako TDC a dolní úvrať jako BDC. Za jeden pracovní cyklus se klikový hřídel otočí o dvě otáčky, vačkový hřídel o jednu. Pro každý válec je zapotřebí alespoň jeden sací a jeden výstupní ventil. K zapálení směsi paliva a vzduchu je zapotřebí zapalovací svíčka.

4.1 OTTŮV SPALOVACÍ MOTOR



Čtyřtakt u Ottova motoru (Obrázek 16)

4.1.1 FÁZE 1. SÁNÍ

Při tomto zdvihu se píst pohybuje dolů do válce. Sací ventil je otevřený a vzduch je nasáván podtlakem, který vzniká ve válci. V sacím, lze jej také nazvat sací zdvih, kanálu je vstřikovací ventil, který v určitém čase vstřikuje benzin a mísí se se vzduchem. Výstupní ventil je uzavřen. Pokud se jedná o motor s tzv. přímým vstřikováním, je nasáván pouze vzduch a palivo je vstřikováno přímo do spalovacího prostoru v čase, který je považován za optimální. Pokud je motor tzv. přeplňovaný pomocí výfukového kompresoru, turba nebo mechanického kompresoru poháněného nějakým řemenem nebo řetězem, je směs vtlačována pomocí jím vytvořeného přetlaku.

4.1.2 FÁZE 2. KOMPRESE

Píst je nyní v dolní mrtvé ose a směřuje vzhůru. Sací ventil se zavře, výstupní ventil zůstane zavřený, při této rychlosti se stlačuje směs paliva a vzduchu. Když je směs paliva a vzduchu stlačena, zvyšuje se účinek na motor a spalování je účinnější. Těsně před tím, než píst dosáhne horní mrtvé polohy, je směs paliva a vzduchu zapálena jiskrou ze zapalovací svíčky.

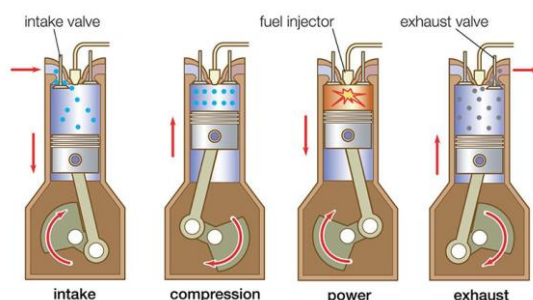
4.1.3 FÁZE 3. SILOVÝ ZDVIH

Při této rychlosti se směs paliva se vzduchem právě zapálila a rozpíná se vysokou rychlostí, což způsobuje, že píst je tlačěn dolů velmi velkou silou. Sací ventil je uzavřen, výstupní ventil je rovněž uzavřen. Tento zdvih je jediný, který vytváří výkon ze všech čtyř zdvihů.

4.1.4 FÁZE 4. VÝFUK

Při tomto zdvihu se píst pohybuje nahoru do válce. Výstupní ventil je otevřený, což umožňuje, aby výfukové plyny, které dříve tvořilo palivo a vzduch, byly vytlačovány na něj a dále ven výfukovým otvorem a dále výfukovým potrubím.

4.2 PRINCIP ČTYŘTAKTU U DIESLOVÉHO MOTORU



Čtyřtakt v dieslovém motoru (Obrázek 17)

Lze říci, že funkce Ottova motoru a vznětového motoru jsou si velmi podobné. Stejně jako u Ottova motoru jsou nutné čtyři zdvihy. Pro každý válec je také zapotřebí alespoň jeden sací a jeden výfukový ventil. Klikový hřídel se k dokončení pracovního cyklu otočí o dvě otáčky a vačkový hřídel o jednu otáčku. protože se však palivo liší od benzínu, není zapotřebí zapalovací svíčka. Nafta se vznítí díky vysokému teplu ve válci. Vysokého tepla je dosaženo tím, že vznětový motor má podstatně vyšší kompresi než Ottův motor. Komprese je přibližně 20-30 barů.

4.3 DIESLOVÝ VZNĚTOVÝ MOTOR

4.3.1 FÁZE 1. SÁNÍ

Píst se pohybuje po válci, vstupní ventil je otevřený a výstupní ventil je zavřený. Podtlak vytvořený ve válci pomáhá nasávat vzduch. Pokud je motor přepřehován výfukovým kompresorem, turbodmychadlem nebo mechanickým kompresorem poháněným řemenem nebo podobně, pak tlačí vzduch do válce.

4.3.2 FÁZE 2. STLAČENÍ-KOMPRESSE

Píst se nyní pohybuje ve válci směrem nahoru. Vstupní ventil je uzavřen a výstupní ventil zůstává i během tohoto zdvihu uzavřen. Vzduch je nyní stlačen, pak se také vzduch zahřeje vlivem vysokého tlaku. Těsně na konci kompresního zdvihu se do horkého vzduchu vstříkne nafta, která se vlivem vysoké teploty zapálí. U vznětového motoru dochází ke vstřikování nafty vždy přímo do spalovacího prostoru, nikdy ne do sacího potrubí jako u většiny zážehových motorů. Při studených startech je třeba vzduch ohřát, ve spalovací komoře je umístěna tzv. žhavicí svíčka, která pak ohřívá vzduch na teplotu potřebnou k zapálení nafty.

4.3.3 FÁZE 3. ZÁŽEH

Zapálená látka se rychle rozpíná a tlačí píst dolů do válce. Vstupní ventil je uzavřen, výstupní ventil je rovněž uzavřen. Tímto zdvihem je hnacímu ústrojí dodáván výkon. Z nafty a vzduchu se nyní staly výfukové plyny.

4.3.4 FÁZE 4. VÝFUK

Píst se vysune směrem nahoru ve válci. Sací ventil je uzavřen. Výpustný ventil se otevřel. Píst nyní vytlačuje výfukové plyny ven skrz otevřený výpustný ventil dále k výfukové trubici a do koncového výfuku.

5 JAK VODÍK FUNGUJE VE SPALOVACÍM MOTORU?

V následující kapitole se dozvíte, jak lze poměrně snadno a krok za krokem přestavět ottův nebo vznětový motor na vodíkové palivo. vTéto kapitole je také vysvětleno, jak různými způsoby vstřikovat a zapalovat vodíkové palivo v přestavěném motoru a jaká jsou možná rizika při nesprávném zapalování.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Zapalování, časování zapalování, vstřikování paliva, přestavba.

OTÁZKY KE STUDIU:

1. Co hoří rychleji – vodík či benzín?
2. Jak může být samovznícení rizikem pro motor?
3. Proč platinové zapalovací svíčky nejsou dobrou volbou pro vodíkové motor?

Lze spalovací motor, benzinový nebo naftový, pohánět pouze vodíkem? -Ano, ale ne bez určitých změn. Jak jsme již uvedli, rychlost spalování je u vodíku mnohem vyšší než u benzínu a nafty. Může být užitečné, pokud jen víte, jak s touto rychlostí zacházet. Při provozu motoru na benzin musíte mít při vysokých otáčkách dřívější zážeh, aby se všechno palivo stihlo spálit, než začne další zdvih, jinak hrozí ztráta výkonu, horší hodnoty výfukových plynů a vyšší teplota motoru. S vodíkem v nádržích je to téměř naopak, nemůžete použít tradiční systém zapalování z benzinového spalovacího motoru. Vzhledem k hořlavosti vodíku hrozí, že k zapálení dojde příliš brzy, což v takovém případě může vést ke špičkám, které mohou vést i k horším hodnotám výfukových plynů. U motoru, který je nadále používán tímto způsobem, hrozí v důsledku toho velké poškození motoru, velké poškození pístů a ventilů, v nejhorším případě havárie motoru. Tento problém lze vyřešit tím, že místo toho se provede pozdější zážeh, těsně před tím, než píst dosáhne horní mrtvé polohy nebo polohy blízké nule. To dobře funguje u vodíkového paliva, protože rychlost hoření je velmi vysoká. Při nízkých otáčkách je naopak výhodou, pokud máte o něco vyšší zážeh. Zjednodušeně by se dalo říci, že potřebujete zapalovací soustavu, která funguje přesně opačně než zapalovací soustava, kterou máte dnes v benzinovém motoru.

5.1 KONVERZE SPALOVACÍHO MOTORU NA VODÍKOVÝ POHON

Přestavba spalovacího motoru na pohon pouze vodíkem namísto benzínu/nafty je v zásadě možná. Zde vysvětlíme dva způsoby, ale je jich více.

Když říkáte "možné", je to v uvozovkách. Vždy, když je třeba něco převést/přestavět/modifikovat, je to vždy mnohem více, než jste původně očekávali. V době psaní tohoto článku se na trhu ještě nenašly žádné hotové přestavbové sady a možná se ani nikdy nenajdou.

Další otázka, která se nabízí, je, jaký typ motoru a modelový rok přestavět, ale zůstaneme u zcela obecného vysvětlení, aniž bychom zacházeli do nejmenších detailů. Dnes existují společnosti, které vyrábějí konverzní sady pro CNG, stlačený zemní plyn, LNG, zkapalněný zemní plyn a tyto plyny jsou velmi podobné vodíkovému plynu.¹⁰

5.1.1 KROK 1

První věc, kterou vzít v potaz je palivový systém. Nádrž musí být nahrazena takovou, která je schopna odolat vysokému tlaku o 700 bar. Sehnat takovou nádrž je otázka sama pro sebe, v současné době takové nádrže nejsou k dispozici v obchodech pro auto moto součástky, ale jsou společnosti, které se specializují na vývoj a výrobu nádrží pro vysokotlaký vodík anebo je zde možnost koupit láhev přímo od dodavatele plynu.¹¹



Zde je příklad vodíkové nádrže vyrobené společností Doosan (obrázek 18).

¹⁰(Dimitriou and Tsujimura, 2017)

¹¹(Kroyan et al. 2022)

5.1.2 KROK 2

Dalším krokem je nahradit obyčejné palivové potrubí, které původně sloužilo pro transport benzínu pod relativně nízkým tlakem a malým rizikem úniku paliva. Vodík bude uskladněn pod velmi vysokým tlakem a také tak transportován potrubím z nádrže do motoru, kde je vysoké riziko úniku ve všech spojích. Jinými slovy, všechny potrubí, která jsou instalována musí být dimenzována přesně dle vysokého tlaku a objemu.

To same platí pro všechny spoje a součástky, tyto musí také splňovat všechny požadavky, které vodík vyžaduje, abychom předešli jeho úniku.¹²



Různé součástky pro vysokotlaký vodík (obrázek 19).

5.1.3 KROK 3

Motor pak dostane palivo a jak již bylo zmíněno, budeme se zabývat dvěma různými přístupy. Co je třeba udělat bez ohledu na různé přístupy, je nahradit předchozí vstřikovací ventil(y), které byly dříve určeny pro benzín, vstřikovacími ventily, které jsou určeny pro plyn. Existují zprávy, že použití vstřikovacích ventilů určených pro plyn se osvědčilo.¹³

¹²(Dimitriou and Tsujimura, 2017)

¹³(Rorimpandey et al. 2023)

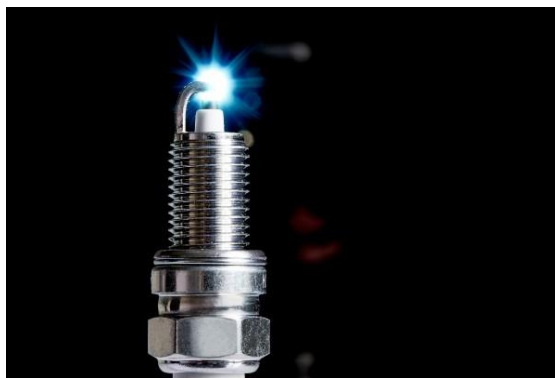
5.2 DVA RŮZNÉ ZPŮSOBY SYCENÍ MOTORU VODÍKEM

Jedním ze způsobů zásobování motoru vodíkem jsou vstřikovací ventily umístěné v sacím potrubí na vnější straně sacího ventilu, které umožňují, aby se vodík začal mísit se vzduchem/kyslíkem již mimo spalovací komoru, a poté je pomocí podtlaku motoru nasáván do válce, když se otevře sací ventil. U tohoto modelu existuje určité riziko samovznícení, protože palivo se dostane dovnitř, jakmile se otevře sací ventil, a pak může hrozit, že se vodík dostane do kontaktu s částmi, které mají tak vysokou teplotu, že se vznítí. Může to být zapalovací svíčka, která má příliš nízké tepelné číslo a přesto žhne, mohou to být zbytky karbonu a sazí z motoru, který před přestavbou pracoval na fosilní palivo. Nebo zbytky oleje, které jsou vytlačeny mezi stěnu válce a pístní kroužky v důsledku poněkud nekvalitního odvětrávání klikové skříně, které mohou ve válci žhnout. K detonaci směsi paliva a vzduchu může dojít také v důsledku časování vačky s příliš vysokým překrytím a palivo se pak dostane do kontaktu s výfukovým otvorem.

Dalším způsobem, jak lze vodík do motoru dodávat, je použití tzv. modelu motoru s přímým vstřikováním. To znamená, že vstřikovací ventil musí být umístěn přímo ve spalovací komoře. Výhodou této metody je, že můžete přesněji kontrolovat, kdy má injekce proběhnout.

5.2.1 KROK 4

Díky hořlavosti vodíku je potřeba též předělat systém zapalování, samozřejmě záleží, z jakého bodu vycházíte, potom je potřeba předělat zapalování různými způsoby.¹⁴

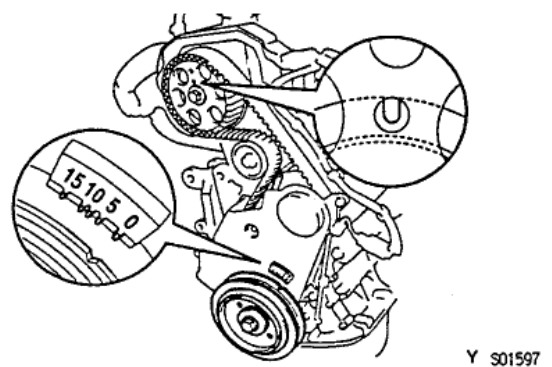


Běžná zapalovací svíčka se používá též v některých typech vodíkových motorů (obrázek 20).

¹⁴(Verhelst and Wallner, 2009)

Lze to shrnout tak, že časování zážehu při vysokých otáčkách motoru se spalovacím motorem přestavěným na vodík by mělo být pozdější než například při klasickém provozu na benzin, kdy je časování zážehu přibližně 25-35 stupňů před horním mrtvým bodem. U vodíkového konvertoru se může časování zážehu při vysokých otáčkách motoru blížit nule, protože rychlost plamene je tak vysoká.

Na druhou stranu se rychlost plamene snižuje s chudší směsí, což se projevuje například při nízkých otáčkách, například při volnoběhu, ale také při nízkém zatížení, kdy je u benzinového motoru časování zážehu přibližně 10 stupňů před horním mrtvým bodem, zatímco u motoru s vodíkovým motorem by mělo být časování zážehu o něco dříve, aby shořela celá směs.



Časování je potřeba zpomalit narozdíl od motoru s benzinovým palivem (obrázek 21).

Úprava může být provedena modifikací software kontrolní jednotky vozidla dle požadovaného časování zážehu, kterého chcete dosáhnout v různých podmínkách, kterým bude motor vystaven.

U starších motorů s tradičním rozdělovačem, který běží rychlostí vačkové hřídele, místo toho můžete použít rozdělovač, který je v opačném směru, než by měl být, což by pak znamenalo, že časování zapalování je sníženo při vyšších otáčkách a zvýšeno při nižších otáčkách, například na volnoběh.

Navíc, zážehové svíčky s platinovou vrchní vrstvou by se neměly používat, protože platina se chová jako katalyzátor mezi vodíkem a kyslíkem a hrozí riziko samovznícení.

Při plánování předělání běžného spalovacího motoru, který byl předtím poháněn fosilními palivy obsahujícími uhlík, je více než důležité demontovat všechny části motoru, které mohou obsahovat spaliny či jiné uhlíkové částice jako jsou saze. Hlava válce se musí rozebrat, aby byl přístup k sazím, které se většinou nachází ve spalovacím prostoru. Ventily by se též měly vyndat, aby mohly být očištěny od spalin, též uvnitř trubic, zvláště na výfukové straně, všechny saze a spaliny musí být odstraněny. Na povrchu pístů se obvykle též nacházejí usazeniny spalin, které musí být odstraněny.

Toto důkladné čištění je důležité, abychom zabránili samovznícení, ke kterému může dojít, pokud rezidua spalín zůstanou v motoru a snadno se vznítí. Z vodíku nevznikají žádné usazeniny sazí či spalín, protože neobsahuje ani uhlík ani kyslík.

6 FÁZE VÝZKUMU

V současné době, výzkumníci po celém světě na plné obrátky vyvíjejí a zdokonalují technologie pro motory, které budou jezdit na vodík lépe. Pracují na různých způsobech, jak motoru dodávat vodík, bude detailně vysvětleno v následující kapitole.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Zážeh, vstřikování, různé vstřikovací systémy.

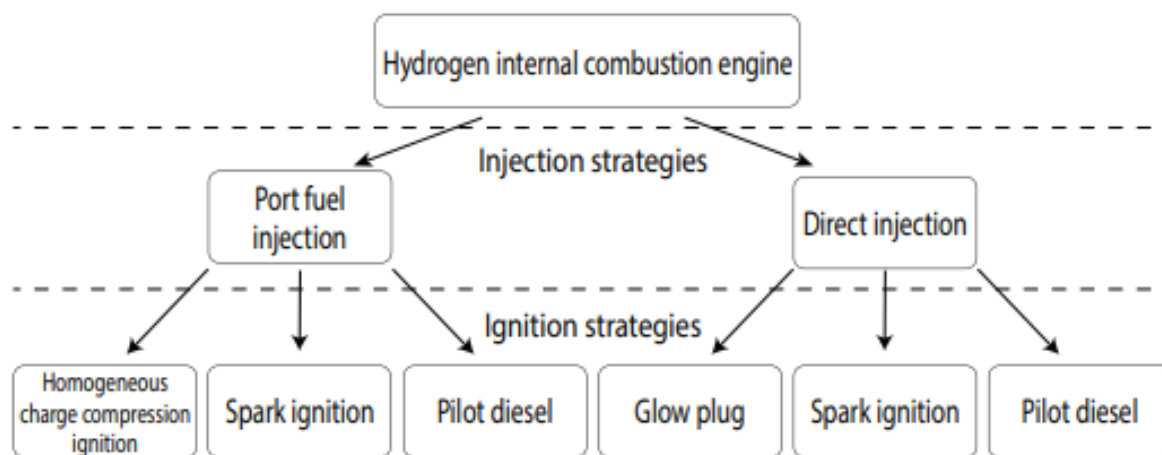
OTÁZKY KE STUDIU:

1. Který systém se považuje za nejjednodušší způsob sycení motoru vodíkem?
2. Který z výfukových plynů se ukázal jako náročný při snížení jeho emisních hodnot?
3. Vysvětlíte proč se ve vodíkových motorech používá pilot vstřikování.

6.1.1 VSTŘIKOVÁNÍ VODÍKU, PFI

Vstřikování do sacího otvoru v sacím potrubí. To znamená, že palivo je vstřikováno mimo sací ventil, tj. ne přímo do spalovacího prostoru. Teprve když se sací ventil otevře a píst se pohybuje dolů, je palivo nasáváno do válce v důsledku podtlaku, který v takovém případě vzniká, tedy sacího zdvihu. Tento typ vstřikování je u Ottových motorů nejběžnější. Převod tohoto systému na vodíkový provoz je poměrně "jednoduchý", jak jsme již dříve uvedli. Je třeba vyměnit vstřikovače, aby byly schopny pracovat s vodíkem namísto benzínu, a upravit zapalovací systém, o čemž jsme se již také zmínili. U tohoto systému však existují rizika, která jsme rovněž zmínili dříve, a to předčasné samovznícení, protože palivo vstupuje do motoru tak brzy. Dalším problémem tohoto typu vstřikovacího systému je, že při vstřikování paliva do sacího otvoru vytlačuje vzduch a výkon motoru je pak omezen. Níže následuje jednoduchý popis různých typů, jak může probíhat spalování, a také mírně odlišných typů zapalování paliva.¹⁵

¹⁵(Yip et al., 2019, s. 7)



Různé typy vstřikování pro spalovací motor (obrázek 22)

6.1.2 KOMPRESNÍ ZAPALOVÁNÍ HOMOGENNÍ NÁPLNĚ, HCCI

Homogenně nabitě stlačené zapalování by se dalo přeložit takto. Aniž bychom se pouštěli do hlubšího popisu, vychází z toho, že vstřikování vodíku probíhá tak, jak jsme popsali u systému PFI, tj. do sacího otvoru hned vedle sacího ventilu, ale na vnější straně spalovacího prostoru. Používá se homogenní směs vzduchu a vodíku, která je rovněž velmi chudá. Tato směs se vstřikuje přímo do spalovací komory a díky své hořlavosti se zapálí vysokou kompresí a následně zapálí dodaný vodík. Velkou výhodou tohoto systému se ukázalo, že se podařilo snížit množství NOx jako zbytkového produktu ve výfukových plynech na opravdu nízké hodnoty. To navíc při zachování výkonu motoru. NOx se blíží nule. Ale i tento systém potřebuje další vývoj, aby fungoval, je mimo jiné nutná velmi vysoká komprese, abychom jmenovali alespoň některé.¹⁶

¹⁶ Ibid. s. 7

6.1.3 VSTŘIKOVÁNÍ PALIV S JISKROVÝM ZAPALOVÁNÍM

Tento systém, který se v angličtině označuje jako PFI SI, SI znamená Spark Ignition, tj. zapalování paliva jiskrou ze zapalovací svíčky. Systém PFI s SI je nejprozkoumanějším systémem, pokud jde o spalovací motory, které budou spalovat vodík. Tento systém, pokud máte extrémně chudou směs paliva se vzduchem, dokáže dosáhnout velmi nízkých hodnot NO_x ve výfukových plynech, pod 100 ppm, bez jakékoli vnější úpravy. Je také žádoucí snížit množství nežádoucích zbytkových produktů v souvislosti se spalováním. Toho lze dosáhnout pomocí stechiometrických vztahů.

Stechiometrické vztahy lze zjednodušeně popsat tak, že do spalování, při němž se vše vznítí, je zahrnuto přesně správné množství látky spolu s další látkou v přesně správném množství. Tím se také vyloučí nežádoucí zbytky. Použití systému EGR ještě více snižuje emise NO_x. EGR je zkratka pro recirkulaci výfukových plynů. Což znamená, že malé množství výfukových plynů se vrací zpět do spalovacího procesu, aby se snížila teplota spalování a tím se snížily hodnoty NO_x, které vznikají při vysokých teplotách.

Používá se také třicestný katalyzátor, který dále snižuje hodnoty NO_x až na hodnoty blízké nule. Místo EGR se někdy používá vstřikování vody do sacího potrubí, protože má stejný účinek jako EGR, protože při spalování vodíku vzniká jako zbytkový produkt pouze vodní pára. Tento systém má, jak jsme se již dříve setkali, některé problémy, jako je nežádoucí předčasné vznícení směsi, ale také zpětné zážehy, které vedou ke ztrátám výkonu motoru.

6.1.4 PILOTNÍ ZAPALOVÁNÍ PALIVA SE VSTŘIKOVÁNÍM VODÍKU PŘES PORT

Tento systém je založen na tom, že má přímé vstřikování DI a PFI. Přímé vstřikování slouží k tomu, aby se dalo takzvané "pilotní vstřikování", to znamená, že se vstříkne malé množství nafty přímo do spalovacího prostoru. Nafta se zapálí teplem při kompresi a když se do ní později vstříkne vodík, dojde k jeho zapálení. Ale i tento systém s sebou nese určité nevýhody, jako je například nežádoucí samovznícení. Obsah NO_x je také příliš vysoký na to, aby bylo možné tuto metodu klasifikovat jako bezemisní, ale v laboratořích se provádějí další studie. Ale i přes skutečnost, že systémy PFI lze poměrně snadno převést na vodíkový provoz, možná bychom je měli vnímat spíše jako přechod od

našich obvyklých motorů spalujících fosilní paliva k pokročilejším motorům, které snad v budoucnu nebudou příliš vzdálené.¹⁷

6.1.5 VODÍKOVÉ SPALOVÁNÍ S PŘÍMÝM VSTŘIKOVÁNÍM

Přidávání vodíku přímo do válce během samotného kompresního zdvihu se zdá být nejslibnějším konceptem, jakého jsme dnes s vývojem typů motorů dosáhli. Tímto způsobem lze víceméně zabránit nežádoucímu samovznícení nebo zpětnému vznícení, které by se mohlo projevit na motoru. Protože dobu vstřikování paliva lze regulovat podle potřeby. Se vstřikováním můžete počkat tak dlouho, až se uzavrou oba ventily, čímž se minimalizuje působení horkých částí.

Problém, který máte s vodíkem, spočívá v tom, že při vstřikování přes sací potrubí zabírá hodně místa a pak také zabírá místo přívodu vzduchu. To zase přispívá ke ztrátě výkonu, které se také zbavíte. Je to proto, že přes sací ventil je do válce již nasáván pouze vzduch a palivo je do válce dodáváno až po uzavření sacího ventilu. Při vstřikování paliva v kompresním zdvihu však musíte mít vyšší vstřikovací tlak ze vstřikovače kvůli vyššímu tlaku, který panuje uvnitř válce, než jaký je vyžadován od vstřikovače pro systém PFI. V systému PFI není vůbec žádný přetlak, ale místo toho je to většinou podtlak. Ukázalo se, že tento systém, který pracuje s tak vysokými tlaky, lze téměř přirovnat k vysoké účinnosti nafty. Tento systém se často označuje zkratkou HPDI, což znamená High Pressure Direct Ignition (vysokotlaké přímé zapalování). Tento systém má mnoho výhod, může být flexibilnější v mnoha různých situacích, lze jej vyladit zcela jiným způsobem než systém PFI. Můžete nastavit tlak vstřikování, můžete nastavit časování vstřikování, můžete také upravit konstrukci vstřikování, to vše proto, abyste mohli optimalizovat výkon motoru na optimální úroveň. Existuje několik různých způsobů zapalování paliva, o kterých se dočtete dále.¹⁸

6.1.6 ZÁŽEH POMOCÍ ŽHAVÍCÍ SVÍČKY MOTORU

Žhavicí svíčky jsou normálně používány pro dieslové motory při startování zastudena. Těsně před startem pak krátce žhnou, aby se zahřál spalovací motor, a po spuštění motoru zhasnou. Když je všeak použijete pro práci ve spalovacím motoru s přímým vstřikováním vodíkového paliva, je to jiné.

¹⁷ Ibid. s. 8

¹⁸ Ibid. s. 9

Zde musí být žhavicí svíčka zapnutá po celou dobu a je vyžadována teplota zhruba 900-1100 stupňů Celsia. Ale i tato metoda vykazuje klady i zápory, pokud ji porovnáte například s naftovým motorem, vodíkový motor sice spotřebuje více paliva, ale výhodou, kterou studie zaznamenaly, bylo, že vypouští výrazně méně emisí NO než naftový motor. Dalším problémem tohoto typu je, že dnes nemáte k dispozici žhavicí svíčky, které by byly schopny zůstat zapnuté a žhavit po celou dobu, ale možná se tento problém podaří v budoucnu vyřešit.¹⁹

6.1.7 ZÁŽEH POMOCÍ ZAPALOVACÍ SVÍČKY MOTORU

Pravděpodobně nejvíce probádaný model a též nejlépe zdokumentovaný, přímé vstřikování při zapalování zapalovací svíčkou.

V mnohém se tento model neliší od modelu popsaném v předešlém odstavci-zapalování pomocí žhavicích svíček. Co je zde ale důležité je, že žhavicí svíčka byla nahrazena zapalovací svíčkou. Může zde být též více zapalovacích svíček než jen jedna. Studie provedená na jednoválcovém motoru předělaném na přímé vstřikování a zapalování vodíku jiskrou ze zapalovací svíčky ukázala termickou efektivitu 40 % při nízké až střední zátěži motoru, což je jen o malinko méně ve srovnání se stejným dieslovým motorem.

Co je zde též poznamenáno u tohoto modelu je, že načasování vstřikování má dopad na homogenitu směsi, což značně ovlivňuje výkon motoru a emise více než načasování zážehu. Pozdržení časování vstřikování ze 120 stupňů před TDC na 65 stupňů před TDC dále zvyšuje výkon motoru. Bohužel to ale zvyšuje emise oxidu uhelnatého. Zkusili tedy vstříknout více vzduchu a snížit obsah, což fungovalo, ale efekt byl malý stejně jako výsledek. Co též bylo ukázáno je, že obrovský dopad na chod motoru má úhel, pod kterým vstřikovač vstřikuje palivo do spalovacího prostoru.²⁰

6.1.8 VZNĚTOVÝ MOTOR S PŘÍMÝM VSTŘIKOVÁNÍM DUÁLNÍHO PALIVA PŘI VYSOKÉM TLAKU

Jak jsme zmínili již dříve, zažehnout vodík pouze stlačeným teplem není jednoduché. Zde popíšeme relativně jednoduchým způsobem tuto technologii.

¹⁹ Ibid. s. 9

²⁰ Ibid. s. 10 f.

Použitím tzv. před-vstřikování, zabývali jsme tím již v předešlých modelech. Před-vstřikování může být též nazýváno pilot vstřikování. Např. se může dít tímto způsobem: ve spalovacím prostoru je vstřikovač, který vstřikuje malé množství látky, která se zapálí za pomoci stlačeného tepla, např. nafta, ta se zapálí a krátce poté je stříknut vodík a je zapálen již hořící naftou ve spalovacím prostoru. Nicméně, zde chybí informace, jak toto funguje u vodíku ve skutečnosti. Na druhou stranu studie byly provedeny na CNG (Compressed Natural Gas), který má podobnou hořlavost jako vodík.

Byly použity dva vstřikovače, jeden pro naftu, druhý pro plyn. Různé úhly vstřikovačů měly různý efekt. U tohoto modelu dokonce zkusili vstřikování v různou dobu během kompresní fáze a dostali různé výsledky. Toto bylo též zkoušeno s kombinovanými vstřikovači, kdy vstřikovač je navržen tak že obě paliva jsou v jednom v tom samém vstřikovači.²¹



Zde jeden příklad, duální vstřikovač vyvíjen společností West port. (obrázek 23)

Problém, který se objevil je, že před – vstřikování nafty, aby se zahájilo hoření plynu zanechává vrstvu spalin ikdyž množství nafty je velmi malé. Tento problém bude zřejmě snížen až se CNG nahradí vodíkem, protože CNG obsahuje uhlík.

²¹(Dimitriou and Tsujimura, 2017)

6.2 PRO A PROTI RŮZNÝCH METOD

Můžeme říci, že pro a proti najdeme u všech typů vstřikování paliva a jeho spalování. Například u vstřikovačů díky vodíku chybí lubrikační efekt jako je tomu u nafty či benzínu, což jasně ukázalo opotřebení a bude to tedy problém při dlouhodobém provozu. Pravděpodobně tento problém může být vyřešen pomocí nějakého lubrikantu a nebo ošetření částí, které se přímo dotýkají povrchem a dochází mezi nimi ke tření.²²

6.2.1 ROLE VSTŘIKOVAČE

Jak se ukázalo vstřikovač hraje velkou roli ve správném fungování motoru. Vlastnosti vstřikovače ve smyslu, kolik tlaku vydrží a velikost trysky mají přímou spojitost na kvalitu vstřikování a kontrolu kvantity. Tedy, tvar vstřikovačů ovlivňuje, jak velká tepelná ztráta je u stěn válce a jeho efektivitu, a tedy i spotřebu paliva.²³

Co se též ukázalo je, že vodík způsobuje křehnutí některých kovových slitin, což může být problém při dlouhodobém používání.

Další překážky, které je potřeba zdolat jsou například, jak si poradit s vysokou schopností vodíku se šířit, což zapříčiňuje jeho prostupnost některými typy materiálů.

Vstřikovačům, např. vystaveným působení vodíku, hrozí, že toto může vést k narušení jejich funkce či fungování vůbec.

Předpoklad vývoje vodíku jako paliva ve spalovacích motorech je, že se zaměříme na problémy, které máme, například, různé materiály, které se snesou s jinými vlastnostmi vodíku. Vysoký tlak používán v některých systémech, které byly již zmíněny. Tvar plynových potrubí, a to že budou těsnit všechny spoje různých komponentů. Jak jsou navrženy palivové nádrže a jejich konstrukce, která zajistí absolutní těsnost. Že vstřikovače jsou navrženy speciálně pro vodíkový plyn. Dnes používáme spoustu vstřikovačů, které byly původně navrženy pro typy plynů jako CNG, LPG nebo Bioplyn. Nicméně vývoj jde neustále dopředu a co je zde napsáno dnes, zítra už může být pouhá historie.

²²(Gültekin and Ciniviz, 2022)

²³(Verhelst and Wallner, 2009)

6.3 TŘI RŮZNÉ TYPY VSTŘIKOVÁNÍ

6.3.1 ELEKTRO-HYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ (NTSEL)

Tento typ vstřikovače vyžaduje hydraulickou kapalinu (většinou naftu) pod vysokým tlakem.

Tak vstřikování je limitován na 200 barů. Během vlastního vstřikování se aktivuje solenoid, který poté uvolní tlak do nafty, která je v horní části vstřikovače. Vodík, který je pod vysokým tlakem může zdvihnout vstřikovací jehlu ze sedla a proběhne vstřikování. U tohoto typu vstřikovače musí být velmi vysoký tlak na naftu, aby jehla těsnila přesně se sedlem v uzavřené pozici. Nafta též zajišťuje lubrikaci částí vstřikovače, které se pohybují.²⁴

6.3.2 ELEKTROMAGNETICKÉ OVLÁDÁNÍ (WESTPORT)

Společnost Westport vyvinula vstřikovač, je to jejich první generace a je kompletně poháněna solenoidem-elektromagnetem pro účely DI a vodíkového paliva. Je limitován na 150 barů. Již byly hlášeny nějaké závady včetně poruch omezení pohybu na jehle.

Společnost Hoerbiger Valve TEC GmbH vyvinula podobný vstřikovač, též poháněný elektromagnetem pro DI a vodíkové palivo s maximálním vstřikovacím tlakem 100 barů.²⁵

6.3.3 PIEZO-ELEKTRICKÉ OVLÁDÁNÍ (WESTPORT)

Toto je druhá generace a může odolat tlaku až do 250 barů. Zde je jehla aktivována pomocí piezo elementu, z analogového napětí, které reguluje pohyb jehly a umožňuje velmi rychlou odpověď. Doba otevření je krátká a to 0.5 ms. Navíc, obsluha byla vylepšena díky flexibilní kontrole rychlosti jehly, což umožňuje snížit rychlost uzavření, a tedy i snížit tlak při uzavírání.²⁶

7 ZÁVĚRY

²⁴ (Yip et al., 2019, s. 18)

²⁵ Ibid. s. 17

²⁶ Ibid. s. 17

Tato kapitola osvětlí výhody konverze současných motorů a též dopravu a produkci v budoucnu. Kapitola nahlíží také na budoucnost historických vozů. Ve světě, kde vědci neustále nacházejí nova řešení a svět kde lidstvo čelí novým výzvám týkajících se životního prostředí, jsou tyto perspektivy, které musíme rozhodně zvážit.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Změna výroby motorů, výhody přestavby, zachování historických vozidel, budoucnost vozidel a plavidel v dopravě.

OTÁZKY KE STUDIU

1. *Které výzvy může vodík do budoucna pomoci řešit?*
2. *Jaké jsou výhody použití vodíku ve spalovacím motoru versu v palivovém článku?*
3. *Jaké možné výhody a nevýhody přechodu na vodík vidíte v budoucnu pro jednotlivce i celou společnost?*

7.1 VÝHODY VODÍKOVÉ KONVERZE STÁVAJÍCÍCH MOTORŮ

Výhoda, která se týká spalovacích motorů poháněných vodíkem namísto palivových článků je, že vodík nemusí být natolik purifikovaný ve spalovacím motoru jako tomu musí být u palivových článků. Další výhodou je, že při používání spalovacích motorů je možnost přepnutí mezi různými typy paliv. Navíc, použití již prověřené technologie bude udržovat nižší náklady v továrnách.

Jestli budou či nebudou v budoucnu k dispozici sady na předělání spalovacího motoru, to je otázka, kterou nyní nikdo nezodpoví, ale rozhodně by bylo ekologičtější přejít z fosilních paliv na bezfosilní paliva co nejdříve.

7.2 PROČ VODÍK VE SPALOVACÍCH MOTORECH

Závěrem; možná oprávněná otázka; proč se snažíme vyvinout spalovací a zážehový motor na vodíkový pohon, když je zřejmé, že tyto motory zastarávají a pomalu se přestávají používat v naší společnosti?

Na tuto otázku není snadná odpověď. Je naprosto zřejmé, že vozidla, která jsou poháněna palivovými články a využívají tuto technologii mají vyšší efektivitu než spalovací či dieselové motory, které byly upraveny na vodíkový pohon.

Jeden úhel pohledu je, že už teď máme spoustu spalovacích a zážehových motorů, které po celém světě fungují. A tyto motory stále dominují na trhu ve srovnání s elektrickými vozidly.

Jejich nahrazení v krátkém časovém horizontu je téměř nemožné a zároveň je ale nanejvýš důležité tento krok co nejdříve učinit, jelikož je ohroženo životní prostředí na globální úrovni.

Pro továrny je přechod z výroby spalovacích motorů na elektrické motory náročná výzva. Změny, kterým továrny musí čelit jsou a budou nelehké, navíc se dějí poměrně rychle. To samé se týká výroby baterií a látek nutných pro jejich výrobu. Dnes již víme, že zdroje těchto látek se nacházejí v omezeném množství na několika místech na světě.

V některých částech světa je toto prakticky neproveditelné z finančního hlediska, aby vozidla byla nahrazena elektrickými či na palivové články a ani tak nebude v dlouhodobém výhledu. Přestavba stávajícího vozidla by mohla být dobrá alternativa a řešení finanční nedostupnosti elektrických automobilů či vozidel na palivové články.

To samé se týká přepravy, hustého silničního provozu a letadel, možnost přestavby motoru na vodíkový pohon by mohla společnosti ušetřit od velkých finančních ztrát, které by nastaly v případě, že by se společnosti musely zbavit svého současného, ikdyž stále fungujícího, vozového parku.

A je tu další oblast naprosto závislá na fosilních palivech, a to vozidla sběratelských nadšenců, ať už vozidel pozemních, plavidel či letadel. V této oblasti též jistě uvítají možnost nadále tato vozidla používat. To samé platí po všechny typy závodních motorových vozidel.

Další aspekt je spíše emocionálního či nostalgického rázu. Pro některé lidi je těžké zbavit se svých starých spalovacích mazlíků, rádi poslouchají řev jejich motorů.

Proto je rozhodně dobré zabírat se vývojem vodíkového paliva pro spalovací a dieselové motory jako přechodnou fází, než tato vozidla doslouží a bude potřeba je nahradit úplně.

Tato náhrada za nová vozidla by měla být brána v potaz aspoň u aut pro komerční a privátní účely.

Na druhou stranu, tam kde nejsou finanční možnosti, vodíkové palivo by mohlo být dobrou alternativou, jak pokračovat v použití stávajících vozidel, které nyní spalují fosilní paliva, benzín a naftu.

8 REFERENCE

- Autovista SE. (n.d.). Möjlighet till att tanka vätgas finns nu i 33 länder. [online] Available at: <https://autovista.se/news/eu/mojlighet-till-att-tanka-vatgas-finns-nu-i-33-lander/> [Accessed 19 Jan. 2023].
- Billings, (2013). Hydrogen – Fueling the Future | Dr. Roger Billings. [online] Available at: <https://www.rogerebillings.com/hydrogen/>.
- Dimitriou, P. and Tsujimura, T. (2017). A review of hydrogen as a compression ignition engine fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(38), pp.24470–24486. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.07.232.
- Gültekin, N. and Ciniviz, M. (2022). Examination of the effect of combustion chamber geometry and mixing ratio on engine performance and emissions in a hydrogen-diesel dual-fuel compression-ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. doi:10.1016/j.ijhydene.2022.10.155.
- Kroyan, Wojciezyk, Kaario, Larmi. (2022). Modelling the end-use performance of alternative fuel properties in flex-fuel vehicles, *Energy Conversion and Management*, 269, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116080>.
- KSC, S.S. (n.d.). NASA - Demanding Design Boosts Shuttle Engine. [online] www.nasa.gov. Available at: https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/ssme.html.
- Kumar, A. R. (2016). Focus on Expansion of Hydrogen and Electric Fleets for Passenger and Freight Transport in United Kingdom (Doctoral dissertation, College of Physical Sciences, School of Engineering University of Aberdeen, King's College).
- National Museum of American History. (n.d.). Allis-Chalmers Fuel Cell Tractor. [online] Available at: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_687671.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (2019). Hydrogen Production. [online] [Energy.gov](https://www.energy.gov). Available at: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production>.
- Rorimpandey, P., Lung Yip, H. Srna, A., Zhai, G., Wehrfritz, A., Kook, S., Hawkes, E.R., Chan, Q.N. (2023). Hydrogen-diesel dual-fuel direct-injection (H₂DDI) combustion under compression-ignition engine conditions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2(48), pp 766-783, 0360-3199. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.241>.

SO-rummet. (2022). Luftskeppet Hindenburg. [online] Available at: <https://www.so-rummet.se/kategorier/luftskeppet-hindenburg#> [Accessed 19 Jan. 2023].

This Day in Aviation, (2023). Ferdinand Adolf Heinrich August Graf von Zeppelin | This Day in Aviation. [online] Available at: <https://www.thisdayinaviation.com/tag/ferdinand-adolf-heinrich-august-graf-von-zeppelin/> [Accessed 19 Jan. 2023].

Verhelst, S. and Wallner, T. (2009). Hydrogen-fueled internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 35(6), pp.490–527. doi:10.1016/j.pecs.2009.08.001.

Wikipedia. (2019). De Rivaz engine. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/De_Rivaz_engine.

Yip, H.L., Srna, A., Yuen, A.C.Y., Kook, S., Taylor, R.A., Yeoh, G.H., Medwell, P.R. and Chan, Q.N. (2019). A Review of Hydrogen Direct Injection for Internal Combustion Engines: Towards Carbon-Free Combustion. Applied Sciences, 9(22), p.4842. doi:10.3390/app9224842.

9 ODKAZY NA OBRÁZKY

Obrázek 1: The De Rivaz Engine in detail,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:De_Rivaz_IC_Engine_detail.jpg (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 2: The De Rivaz Engine, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rivaz_Engine.jpg

(Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 3: The 1933 Norsk Hydro hydrogen truck,

<https://www.flickr.com/photos/hydrogencarsnow/8136698514/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 4: Harry Karls Ihring fuel cell tractor, <https://www.rogerebillings.com/hydrogen/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 5: Roger Billings hydrogen car, <https://www.science.edu/acellus/2018/07/first-hydrogen-car/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 6: GM's fuel cell van, http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966/cars_reviews-GM-hydrogen-fuel-cell-ELECTROVAN-and-battery-electric-ELECTROVAIR-1966.html (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 7: Showcase of hydrogen produced by solar energy,

https://www.researchgate.net/figure/Hydrogen-production-from-solar-energy-36_fig17_324719917 (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 8: Keyou's hydrogen bus, <https://www.busandcoachbuyer.com/hydrogen-bus-prototype-unveiling-at-iaa/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 9: Aircraft, <https://newatlas.com/energy/infinium-electrofuels-zero-carbon-fuel/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 10: Space shuttle, https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/flyout/ssme.html (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 11: map showcasing hydrogen gas stations, <https://www.h2stations.org/press-release-2022-another-record-number-of-newly-opened-hydrogen-refuelling-stations-in-2021/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 12: Hydrogen gas filling nozzle, <https://www.swagelok.com/en/blog/guofu-hydrogen-refueling-case-study> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 13: Honda's hydrogen filling station, <https://www.hydrogencarsnow.com/index.php/home-hydrogen-fueling-stations/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 14: Traffic in early 1900's, <https://blog.greenprojectmanagement.org/index.php/2019/05/13/pollution-why-we-replaced-horses-with-automobiles/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 15: The Hindenburg airship accident, <https://www.history.com/news/the-hindenburg-disaster-9-surprising-facts> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 16: An Otto engine shown in a cut away drawing, <https://haynes.com/en-us/tips-tutorials/beginners-guide-what-four-stroke-engine> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 17: A Diesel engine shown in a cut away drawing, <https://www.hardwarezone.com.sg/feature-why-you-should-consider-diesel-your-next-car/diesel-vs-petrol-engines> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 18: Doosan's hydrogen tank, <https://www.doosanmobility.com/en/products/hydrogen-tank/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 19: Fittings for hydrogen fuel lines, <https://www.nvfcl.com/hydrogen-powered-fuel-cell-vehicles/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 20: Ignited spark plug, <https://www.mycar.com.au/car-advice/spark-plugs-in-a-car> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 21: Drawing showing timing settings, <http://www.carnewscafe.com/2015/03/what-are-timing-marks/> (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 22: Figure showcasing different injection methods, <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/22/4842>, s. 7 (Retrieved: 19-01-23)

Obrázek 23: Private image of dual fuel injector from West port.

10 ZKRATKY

BDC	Bottom Dead Center – dolní úvrať
BIO	Biological – biologický
CNG	Compressed Natural Gas – stlačený plyn
DI	Direct Injection – přímé vstřikování
EGR	Exhaust Gas Recirculation – recirkulace výfukových plynů
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition – vznětový motor s homogenním naplněním spalovacího prostoru
HPDI	High Pressure Direct Ignition – vysokotlaké přímé zapalování
H ₂	Hydrogen – vodík
ICE	Internal Combustion Engine – spalovací motor
LNG	Liquified Natural Gas – zkapalněný plyn