

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav techniky a automobilové dopravy



**Využití vodíku jako alternativního zdroje energie pro
automobilovou dopravu**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Adam Polcar, Ph.D.

Vypracoval:

Viktor Kozubík

Brno 2017

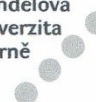


ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Viktor Kozubík**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Provoz techniky
Název tématu: **Využití vodíku jako alternativního zdroje energie pro automobilovou dopravu**
Rozsah práce: 30-40

Zásady pro vypracování:

1. V úvodní části práce se zabývejte výhodami a nevýhodami fosilních paliv.
2. Následně se zaměřte na výhody a nevýhody alternativních zdrojů (CNG, LPG, akumulátory elektrické energie).
3. Dále proveďte studii o možnosti využití vodíku jakožto alternativního zdroje energie pro automobilovou dopravu
4. Srovnajte finanční náročnost provozu motorových vozidel na vodík spolu s fosilními palivy popřípadě s dalšími alternativními zdroji energie.
5. V závěru práce zhodnoťte budoucnost využití vodíku jakožto alternativního paliva pro motorová vozidla



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Využití vodíku jako alternativního zdroje energie pro automobilovou dopravu vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Mnohokrát děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Adamu Polcarovi, Ph.D., za přínosné rady, vstřícný přístup, trpělivost a ochotu, se kterými ke mně přistupoval při zpracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce zabývající se využitím vodíku jako alternativního zdroje energie pro automobilovou dopravu byla vypracována v rámci studijního programu Zemědělská specializace na Mendlově univerzitě. Práce je rozdělena do čtyř základních částí. První část je věnována problematice využití konvenčních paliv. Následující část se zabývá analýzou současného stavu alternativních pohonů v automobilové dopravě. Další část se zaměřuje na vodík, vodíkové palivové články a jejich využití v automobilové dopravě. Závěr práce představuje srovnání aktuálních automobilů využívajících buď konvenční, nebo alternativní pohonná ústrojí.

Klíčová slova: vodík, palivový článek, elektrolýza, alternativní pohony

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the use of hydrogen as an alternative energy source for automotive transport. It was elaborated within the framework of the study of Agricultural Specialization program at Mendel University. This thesis is divided into four basic parts. The first part is devoted to the use of conventional fuels. The following section deals with the analysis of the current state of alternative drives in automotive transport. The other part focuses on hydrogen, hydrogen fuel cells and their use in automotive transport. Final part of the thesis is created by comparison of current cars using either conventional or alternative propulsion.

Keywords: hydrogen, fuel cell, electrolysis, alternative drive systems

OBSAH

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce	9
3. Konvenční zdroje energie.....	10
3.1. Fosilní paliva v dopravě	11
3.2. Spalovací motor.....	12
3.2.1. Benzín.....	12
3.2.2. Motorová nafta	12
3.2.3. Zpracování ropy.....	13
3.3. Výhody a nevýhody fosilních paliv.....	15
3.4. Emise a normy.....	15
4. Alternativní zdroje energie.....	17
4.1. Typy alternativních paliv.....	17
4.2. Pohon na zkapalněný ropný plyn (LPG)	17
4.3. Pohon na zemní plyn (CNG a LNG)	19
4.4. Biopaliva	22
4.5. Elektromobily s pohonem na akumulovanou elektrickou energii	24
4.6. Pohon na vodík.....	26
4.7. Hybridní pohony.....	26
5. Vodík.....	29
5.1. Vodík jako prvek	29
5.1.1. Energetické vlastnosti a výhody vodíku	30
5.2. Získávání vodíku	31
5.2.1. Parní reforming.....	32
5.2.2. Elektrolýza vody.....	33
5.3. Distribuce a skladování vodíku	34
5.4. Bezpečnost vodíkatých paliv	34
6. Vodík v automobilové dopravě	35
6.1. Spalování vodíku.....	35

6.2.	Vodíkové palivové články	36
6.3.	Vodíkem poháněná vozidla	37
7.	Srovnání automobilů s různými typy pohonů	40
7.1.	Toyota Mirai.....	41
7.2.	Škoda Octavia G-TEC.....	41
7.3.	Toyota Prius Plug-in hybrid	42
7.4.	Nissan Leaf.....	43
7.5.	Volkswagen 1.0 TSI Golf.....	43
7.6.	Opel Astra 1.4 LPG ecoFlex	44
7.7.	Škoda Octavia 1.6 TDI.....	45
7.8.	Výsledek srovnání	46
8.	SWOT analýza	48
9.	Závěr.....	49
10.	Použitá literatura	50
11.	Seznam obrázků	54
12.	Seznam tabulek	55

1. ÚVOD

Dnešní svět se potýká s jedním velkým problémem. Tímto problémem je uspokojení energetické poptávky stále rostoucí populace. Nejenže roste populace, ale roste i roční spotřeba energie jednoho obyvatele planety. V roce 2006 byla celosvětová spotřeba energie 95 191 TWh, v roce 2010 to bylo 103 123 TWh a poslední hodnota spotřeby z roku 2014 byla ve výši 109 624 TWh. Tento trend neustálého růstu spotřeby energie je nastaven již od roku 1982, kdy naposledy v tomto roce byl zaznamenán její pokles (International Energy Agency, 2014).

Lidstvo si začíná čím dál více uvědomovat důležitost ochrany životního prostředí, a tudíž chce využívat nové technologie, které zamezí tvorbě škodlivých emisí či nevratné spotřebě nerostných surovin, jež v mnoha odvětvích například chemického či farmaceutického průmyslu stále nemají alternativu. Přes neustálou propagaci obnovitelných zdrojů, mají fosilní zdroje energie stále převládající postavení v energetickém sektoru. Pro budoucnost této planety je hledání alternativního paliva pro automobilovou dopravu zcela nezbytné a nevyhnutelné.

Vozidla využívající pohon pomocí vodíkových palivových článků by se v budoucnu mohla stát jednou z alternativ ke stávajícím typům pohonů. Zájem o vodík stále narůstá a to díky jeho značným výhodám, které představuje. Vodík nachází upotřebení v mnoha odvětvích a může být využit jako zdroj energie pro různé druhy zařízení. Vodíkový palivový článek funguje tak, že při reakci vodíku a kyslíku produkuje energii ve formě elektřiny. Pozůstatkem této chemické reakce je čistá voda, která neznečišťuje přírodu. Jelikož vodík můžeme vytvořit i bez použití fosilních paliv a dá se využít v mnoha odvětvích, mohl by se svět s jeho použitím stát nezávislým na používání fosilních zdrojů energie.

Rostoucí zájem o životní prostředí, nakládání s fosilními palivy a hledání alternativního paliva spustilo nespočet programů na rozvoj vodíku jakožto zdroje energie. V automobilové dopravě představila většina předních automobilek svou vizi vodíkového automobilu budoucnosti. Bude však zapotřebí ještě velkých investic nejen k zavedení palivových článků do většího množství sériově vyráběných automobilů, ale i k vytvoření husté sítě čerpacích stanic a v neposlední řadě ke znásobení množství výroby vodíku. To vše by v konečném důsledku vedlo jak ke zlevnění těchto automobilů, tak i vodíku, jakožto paliva.

2. CÍL PRÁCE

Cílem práce je shrnout výhody a nevýhody fosilních paliv, vytvořit přehled alternativních pohonů a přiblížit možnosti vodíku v automobilové dopravě. Nakonec v závěru práce srovnat aktuální automobily s různými typy pohonů a zhodnotit budoucnost vodíku.

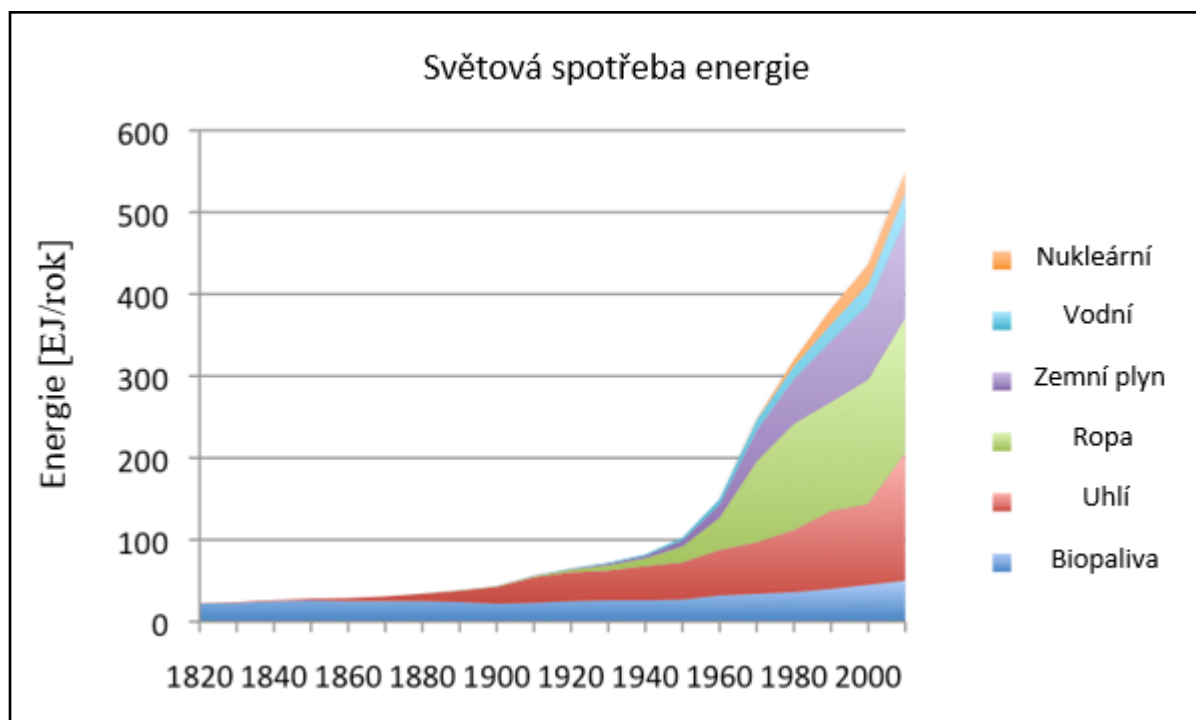
3. KONVENČNÍ ZDROJE ENERGIE

Za konvenční zdroj energie se v dopravě označuje benzín nebo nafta. Tyto paliva pocházejí z ropy, která je fosilním palivem.

Fosilní palivo je nerostná surovina vytvořena před mnoha miliony lety přírodním procesem. Tento proces se skládá z anaerobního rozkladu odumřelých organismů a rostlin. Záleží pak na typu organické hmoty, teplotě, času a tlakových podmínkách, do které formy paliva se zformuje. Máme tři základní formy fosilních paliv. V pevném skupenství se jedná o uhlí, v kapalném o ropu a v plynném o zemní plyn (Enzler, 2017).

Problémem fosilního paliva je jeho omezené množství. Další problém představuje spalování fosilního paliva, které uvolňuje významné množství emisí, které pak zatěžují životní prostředí. Většina energie, kterou spotřebujeme, pochází právě z fosilních paliv. V roce 2014 bylo 75 % energie vyrobeno z fosilních zdrojů (International Energy Agency, 2014). Na výrobu tepla a energii je využíváno především uhlí. Pro pohánění automobilů se používá ropa přeměněná na motorovou naftu nebo na benzín.

Grafické zpracování vývoje spotřeby a podílu jednotlivých zdrojů energie (viz obr. 1).



Obr. 1 Světová spotřeba energie

Zdroj: <https://gailtheactuary.files.wordpress.com/2012/03/world-energy-consumption-by-source.png>

3.1. Fosilní paliva v dopravě

Navzdory tomu, že alternativní pohony byly dostupné již mnohem dříve, než vznikl první spalovací motor, stal se právě on tím dominantním prvkem v dopravním odvětví.

Fosilním palivem využívaným v dopravě je ropa, ne však ve svém surovém stavu, ale jako její následný produkt v podobě benzínu a nafty. Fosilním palivem je i zemní plyn, ten ale řadíme do paliv alternativních. Důvodem tohoto přeřazení je jeho zanedbatelné využití a menší produkce škodlivých emisí při spalování. Podíl paliv na celkové dopravě za rok 2014 je znázorněn na grafu (viz obr. 2).



Obr. 2 Podíl paliv na celkové dopravě v roce 2014

Zdroj: <http://www.iea.org/Sankey/>

Ropa je kapalná směs, jejíž hlavním podílem jsou uhlovodíky. Přestože vznikla také z biomasy, obsahuje méně vázaného kyslíku a dusíku než uhlí.

Ropa nebyla dlouho využívána, jelikož se nevyskytovala ve významnějším měřítku na území průmyslově rozvinutých evropských států. Získával se z ní destilací hlavně petrolej pro svícení, zatímco benzín byl odpadem až do období rozvoje automobilismu. To znamená do roku 1876, kdy Nicolaus Otto nechal patentovat čtyřtaktní zážehový spalovací motor. Tento typ motoru pak v roce 1908 představil Henry Ford ve svém modelu T (Wichterle, 2014).

3.2. Spalovací motor

Spalovací motor je jedním z těch vynálezů, který zasáhl veškerou populaci na planetě. Spalovací motor je tepelný motor, ve kterém je exotermická reakce vyvolaná hořením paliva. Následná expanze plynů má za následek pohyb pístu ve válci. Tento pohyb válce je následně převeden z motoru až ke kolům automobilu.

Spalovací motory lze rozdělit na dvě skupiny:

- Zážehové: V tomto typu se stlačená směs paliva a kyslíku vznítí pomocí přidaného zdroje energie většinou zapalovací svíčky. Nejvíce využívaným palivem pro tento typ motoru je benzín.
- Vznětové motory: V tomto případě stlačením pístu naroste tlak ve válci natolik, že následným zvýšením teploty dojde ke vznícení paliva. Nejpoužívanější palivo ve vznětových motorech je motorová nafta.

3.2.1. Benzín

Benzín je produktem frakční destilace ropy a používá se převážně jako palivo pro zážehové spalovací motory. Čistý, panenský benzín se vyrábí v ropných rafinériích a následně je upravován pro použití ve spalovacím motoru. Takovýto benzín se skládá z alkanů, cykloalkanů a alkenů. Výsledný poměr složek benzínů se různí podle toho, kde byla surová ropa vytěžena. Destilační rozmezí je přibližně 30 – 215 °C, obsahuje převážně uhlovodíky s 5 až 12 atomy uhlíku. Při mísení finálního produktu se přidávají kyslíkaté látky. Celkový obsah kyslíku je dle normy maximálně 2,75 % hmotnosti. Poté se do směsi benzínu mohou přidávat různé přísady pro zlepšení vlastností.

Nejdůležitější charakteristikou benzínu je oktanové číslo, které označuje, jak palivo odolá předčasné detonaci a samovznícení. Vysoce oktanová paliva dovolují větší kompresi a tím vykazují i vyšší účinnost (Wichterle, 2014).

3.2.2. Motorová nafta

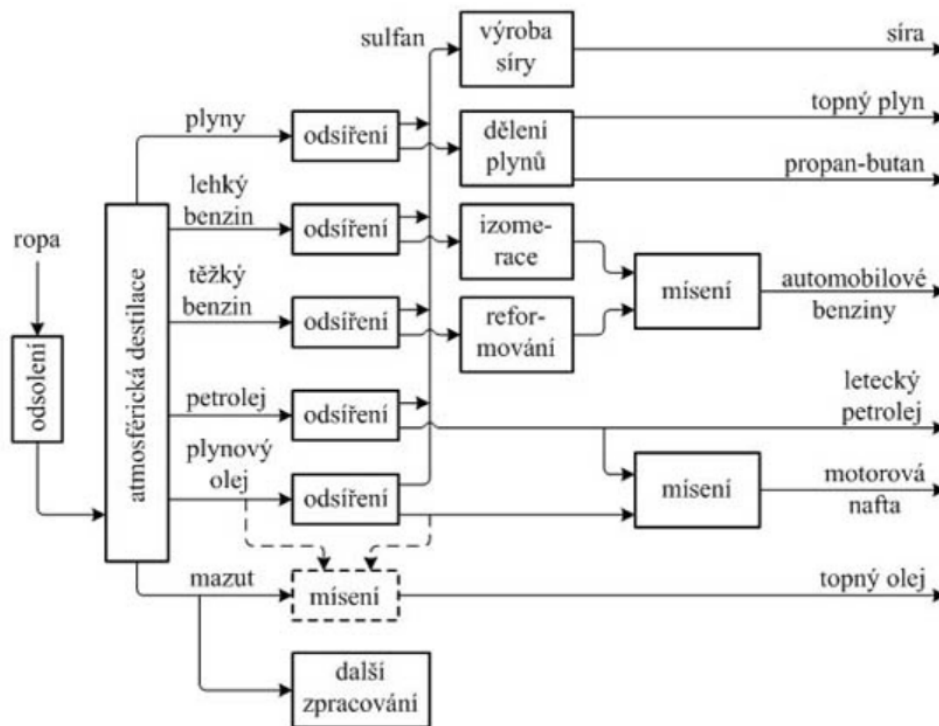
Motorová nafta, též označována jako diesel, se typicky skládá z uhlovodíkových molekul. Tyto molekuly obsahují 10 až 15 atomů uhlíku. Motorová nafta má o 18 % vyšší hustotu a obsahuje o 18 % více energie na jednotku objemu než benzín. To znamená, že dieselové motory jsou účinnější a vykazují lepší spotřebu paliva, než motory poháněné benzínem. Ekvivalentem oktanového čísla je u nafty číslo cetanové. Cetan je uhlovodík, který se při zvýšení tlaku velmi rychle vznítí. Cetanové číslo určuje kvalitu prohoření paliva. Označuje, jak

rychle se palivo samo vznítí v podmínkách vznětového motoru. Čistý cetan má tedy cetanové číslo 100. Pro cetan platí, že palivo s vysokým cetanovým číslem se vznítí v krátké době po vstříknutí do válce. Na druhou stranu palivo s nízkým cetanovým číslem odolává samovznícení v důsledku zvýšení tlaku. Dle evropské legislativy se smí používat motorová nafta s minimálním cetanovým číslem 51 (Pražák, 2004).

3.2.3. Zpracování ropy

Výchozím bodem při zpracování ropy je po jejím odsolení frakční destilace, která probíhá buď při tlaku atmosférickém, nebo výrazně sníženém (vakuová destilace). Při tomto procesu jsou od sebe odděleny jednotlivé složky uhlovodíků dle jejich bodu varu (Budín, 2015).

Schéma průběhu zpracování ropy:



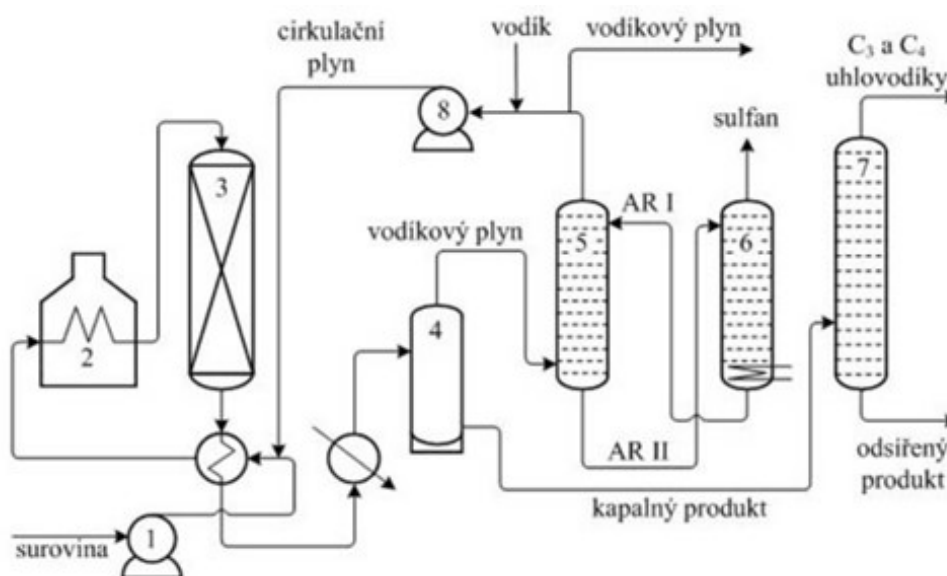
Obr. 3 Proces zpracování ropy

Zdroj: <http://oenergetice.cz/domains/oenergetice.cz/wpcontent/uploads/2015/05/Blokov%C3%A9-sch%C3%A9ma-zpracov%C3%A1n%C3%AD-frak%C3%AD-z-atmosf%C3%A9rick%C3%A9-destilace.png>

Po získání jednotlivých složek je nutné provést jejich odsíření, k čemuž se používá hydrogenační rafinace. Při tomto procesu vzniká amoniak, sulfan a voda.

Hydrogenační rafinace se provádí v reaktorech. Surovina je smíchána s vodíkem a přehřáta produkty, jež jsou přivedeny zpět z následných fází reakce. Dále se směs zahřeje v peci na reakční teplotu a je zavedena do reaktoru, v němž proběhnou hydrorafinační reakce. Z produktů reakce se po ochlazení a snížení tlaku uvolní v separátoru vodíkový plyn. Kapalné produkty ze separátoru jsou odvedeny do stabilizační kolony. Zde se tento odsířený produkt zbaví zbytků uhlovodíkových plynů a zbytků sulfanu.

Vodíkový plyn je ze separátoru odveden do absorbéru, kde se z něj vypere sulfan, který je v absorpčním roztoku odveden do regenerátoru. Zde se sulfan uvolní a absorpční roztok se vrací zpět do absorbéru, kde se použije znovu na vyprání sulfanu. Vypraný vodíkový plyn se doplní čerstvým vodíkem a vrací se zpět do reaktoru. Část vodíkového plynu se odvádí, protože je při každém průchodu reaktorem naředěn metanem a etanem. Na níže uvedeném schématu (viz obr. 4) jsou jednotlivá zařízení, která se podílejí na procesu hydrogenační rafinace (Budín, 2015).



Obr. 4 Schéma hydrogenační rafinace

1 – násťrikové čerpadlo, 2 – trubková pec, 3 – hydrorafinační reaktor, 4 – separátor vodíku, 5 – absorbér, 6 – regenerátor, 7 – frakční kolona, 8 – vodíkový kompresor, AR I – absorpční roztok, AR II – absorpční roztok se sulfanem

Zdroj: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-19.aspx>

Po odsíření se u benzínů dále zvyšuje oktanové číslo. U lehkého benzínu dochází ke zvýšení oktanového čísla izomerací probíhající pomocí katalyzátorů za přítomnosti vodíku a pod vysokým tlakem. U těžkého benzínu se oktanové číslo zvyšuje reformováním, jež probíhá rovněž pomocí katalyzátorů a za působení vysokého tlaku a teplot (Petroleum.cz, 2017).

3.3. Výhody a nevýhody fosilních paliv

Fosilní paliva jsou vysoce účinná. To znamená, že i z malého množství dokážeme získat velké množství energie. Ropa se dá velmi efektivně a jednoduše transportovat na dlouhé vzdálenosti. Palivo se může dopravovat cisternami, tankery nebo potrubím. Při skladování není zapotřebí měnit tlak nebo palivo ochlazovat. Důležitou výhodou je i vybudovaná infrastruktura (výrobní zařízení, čerpací stanice, atd.), která naopak brání například vodíku v jeho rozšíření.

Mezi nevýhody patří bezesporu omezené, vyčerpatelné zdroje a znečišťování ovzduší. Veškerá fosilní paliva při svém spalování tvoří oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a pevné částice, které jsou škodlivé pro životní prostředí. Hrozbou je i možné nebezpečí ropných havárií, při nichž unikne velké množství surové ropy na povrch. Hlavní zdroje ropy jsou koncentrovány v relativně málo zemích. Dvě třetiny z nalezených zásob ropy jsou v severní Africe a na blízkém východě. To může způsobit celou řadu problémů. Například pozastavení dodávek nebo možnost těchto států manipulovat s cenou ropy (Rinkesh, 2009).

3.4. Emise a normy

S rozvojem automobilismu se začínají rozvíjet i emisní normy. Lidstvo je znepokojeno vývojem životního prostředí a začíná se orientovat na nové způsoby dopravy. Elektromobily a jiné alternativní pohony jsou stavěny do popředí nejen odborníky, ale i širokou veřejností.

Největší problémem pro životní prostředí jsou škodlivé emise způsobené spalováním fosilního paliva v motoru. Dopad automobilu na životní prostředí se počítá na celý cyklus jeho života. Na začátku 90. let minulého století si Evropská unie, USA a Japonsko stanovili emisní cíle pro nová vozidla. Evropská komise stanovila emisní limity pro zajištění lepší ochrany ovzduší. Pro osobní, užitková a nákladní vozidla vznikly emisní normy EURO. Přehled EURO emisních norem (viz tab. 1) (NGK Spark Plug Europe, 2017).

Tab. 1 Emisní normy EURO (NGK Spark Plug Europe, 2017)

	CO g/km	HC g/km	HC + NO _x g/km	NO _x g/km	PM g/km
Motorová nafta					
EURO I (1992)	2,72		0,97		0,14
EURO II (1996)	1,0	0,15	0,7	0,55	0,08
EURO III (2000)	0,64	0,06	0,56	0,5	0,05
EURO IV (2005)	0,5	0,05	0,3	0,25	0,025
EURO V (2009)	0,5	0,05	0,23	0,18	0,005
EURO VI (2014)	0,5	0,09	0,17	0,08	0,005
Benzín					
EURO I (1992)	2,72		0,97		
EURO II (1996)	2,2		0,5		
EURO III (2000)	2,3	0,2		0,15	
EURO IV (2005)	1,0	0,1		0,08	
EURO V (2009)	1,0	0,1		0,06	0,005
EURO VI (2014)	1,0	0,1		0,06	0,005

Normy se zaměřují především na oxid uhličitý (CO₂), oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC) a pevné částice (PM).

Oxid uhelnatý je jedovatý plyn bez barvy a zápachu. Velmi ochotně se váže na hemoglobin obsažený v krvi a tím zabraňuje přísunu kyslíku do těla. Oxid uhličitý je považován za emisní plyn z důvodu toho, že je klasifikován jakožto skleníkový plyn přispívající globálnímu oteplování. Oxidy dusíku jsou vysoce reaktivní plyny bez barvy a zápachu se nachází v různých sloučeninách dusíku a kyslíku. Vytváří kyselý déšť a přízemní ozón, který způsobuje oční a dýchací problémy.

Prachové částice jsou nevyhořelé zbytky uhlovodíkového paliva. Tyto částice jsou přenášeny vzduchem a při vdechnutí se usazují v lidském těle. Způsobují potíže s dýcháním a zanáší malé průchody v plicích (The Automobile Association, 2015).

4. ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE

Alternativní palivo je v dnešní době definováno jako palivo jiné než nafta a benzín. Hlavním důvodem vývoje alternativních pohonů, je snaha přistoupit zodpovědněji k nakládání s neobnovitelnými zdroji energie a zmenšit míru znečištění ovzduší. Tichý pohon z obnovitelných zdrojů energie a nulové emise jsou hlavní charakteristiky auta budoucnosti.

4.1. Typy alternativních paliv

V současné době máme hned několik používaných druhů paliv. Každý z nich má své výhody a nevýhody.

Těmito druhy jsou:

- propan butan (LPG),
- zemní plyn (CNG a LNG),
- biopaliva,
- hybridní pohony,
- akumulovaná elektrická energie,
- vodík.

4.2. Pohon na zkapalněný ropný plyn (LPG)

Pod zkratkou LPG, neboli Liquefied Petroleum Gas se česky nazývá palivo zkapalněný ropný plyn. Ten je složen převážně ze směsi uhlovodíků (propanu a butanu). Palivo je vedlejším produktem rafinace ropy, proto je cena LPG úzce provázána s cenou ropy. Obvyklá cena litru LPG je o 50 % nižší, než cena stejného množství benzínu. Jelikož se jedná i o plyn určený k vytápění domů, dá se předpokládat, že v zimních měsících může dojít k jeho zdražení. V naší atmosféře se ropný plyn nachází v plynném skupenství. Aby tento plyn mohl být použit, jako palivo pro automobilovou dopravu musí být nejprve zkapalněn. Zkapalnění probíhá stlačením plynu. Obecně se uvádí, že ke zkapalnění postačí vytvoření tlaku okolo 10 atmosfér. Takto stlačený a zkapalněný plyn je nabízen a distribuován do prodejní sítě, která převážně využívá stávajících prodejců pohonných hmot (Štěrba, 2013).

Rozšířenost a celkový počet čerpacích stanic nabízejících LPG (v ČR – 899) je na třetím místě hned za benzínem a naftou, což znamená velkou výhodu. LPG je už delší dobu využíván způsobem pohonu automobilů se spalovacím motorem. Oblibu si LPG získalo již v 80. letech 20. století. Dostupné prameny hovoří o 4 milionech automobilů v rámci Evropy.

Přestavba vozidla a používání paliva LPG vyžaduje odborný zásah certifikovaného servisu a protokolární zápis do technického průkazu vozidla. LPG je nutné uchovávat ve speciální nádrži v automobilu. V minulosti se provozovatelé setkávali s problémy, kam umístit novou nádrž, která je na rozdíl od benzínové objemná a těžká. Dnes již je tento problém vyřešen možností uložení nádrže do prostoru určeného pro rezervní kolo (viz obr. 5).



Obr. 5 Moderní uložení LPG nádrže ve vozidle (místo rezervního kola)

Zdroj: <http://files.lpgoncak.webnode.cz/20000000453b8d54b2c/Golf%20Tank2750.jpg?ph=b5fa1ec7a7>

V dnešní době nenabízí mnoho automobilek standardně tuto variantu pohonu a spíše se začíná orientovat na zemní plyn – CNG. Na druhou stranu je stále mnoho firem, které se specializují na přestavbu motoru pro použití LPG. Většina zážehových motorů může být upravena za cenu okolo 25 000 – 40 000 Kč, tak aby byl vůz schopen provozu na benzín i LPG. Jeden litr LPG má zhruba pětinou energetickou kapacitu vůči benzínu stejného objemu. Spotřeba LPG je zhruba tak o 20 % vyšší, než spotřeba benzínu (Štěrba, 2013).

V porovnání s benzínem dokáže pohon na LPG ušetřit majiteli až 1 000 Kč na 1000 ujetých kilometrů. To znamená, že návratnost přestavby je velmi dobrá (Kinkor, 2005).

Dle většinového názoru však LPG není vhodným alternativním palivem pro budoucnost, jelikož je vedlejším produktem ropy. V menším měřítku však může LPG nabídnout alespoň možnost výběru jiného typu pohonu, který se svými nižšími emisemi, malému obsahu síry a nulovému počtu částic olova je šetrnější k životnímu prostředí. Analýza kladů a záporů LPG (viz tab. 2).

Tab. 2 Výhody a nevýhody LPG

Výhody	Nevýhody
Hustá síť čerpacích stanic	LPG je ropná frakce (fosilní palivo)
Levné palivo	Zmenšení zavazadlového prostoru
Přestavba není nákladná (dobrá návratnost investice)	Není možno parkovat v nevětraných prostorách
Výhřevnost je srovnatelná s ostatními palivy (benzín, nafta)	Menší účinnost motoru
Čerpací stanice nevyžadují pro svůj provoz velkou spotřebu energie	Nebezpečí výbuchu

4.3. Pohon na zemní plyn (CNG a LNG)

V automobilové dopravě se dá zemní plyn využít dvěma způsoby. Buďto ve formě stlačeného plynu – CNG (Compressed natural gas) nebo zkapalněném plynu – LNG (Liquified natural gas). Obě paliva, jak stlačený zemní plyn, tak i zkapalněný zemní plyn jsou tvořeny z 80 – 99 % metanem. Když porovnáme spalování všech typů fosilních paliv a jejich následnou produkci emisí, je použití zemního plynu ze všech nejčistší. Produkuje výrazně méně oxidu uhličitého a jiných dalších škodlivých plynů. Emise CO₂ jsou u vozidel na zemní plyn přibližně o 20 % nižší, než u jejich benzínových konkurentů (Vlk, 2004).

CNG může stejně jako LPG nahradit benzín nebo naftu ve spalovacích motorech. Jak již bylo uvedeno výše, hlavní výhoda CNG oproti výše zmíněným palivům je ta, že jeho spalování produkuje méně škodlivých plynů. Vůz s pohonem na stlačený zemní plyn taktéž představuje menší nebezpečí při havárii. Jelikož je zemní plyn lehčí než vzduch, rychle se při úniku z nádrže rozptýlí do okolí a neohrozí tak posádku vozidla. Ve vozidle je CNG uloženo při tlaku 20 MPa v ocelových nebo karbonových nádržích. V tomto tlaku má CNG přibližně 25 % hustotu energie v porovnání s benzínem. Pokud má být zachována vzdálenost dojezdu, jakou je schopen benzínem poháněný automobil urazit, musí se s ohledem na energetické vlastnosti CNG nádrž dostatečně zvětšit. Rentgenový pohled na automobil s pohonem na CNG (viz obr. 6).



Obr. 6 Automobil s pohonem na CNG

Zdroj: https://audimediacentera.akamaihd.net/system/production/media/24588/images/7f33f0ba7c8616c48adcb6468dc789f91953ccbb/A158354_full.jpg?1441806512

Z důvodu nízké energetické hustoty CNG byli výrobci zemního plynu nuceni vytvořit nové koncentrovanější palivo. Zkratka LNG označuje zkapalněný zemní plyn. Zkapalnění probíhá kondenzací při teplotě $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proces zchlazení zemního plynu zmenší jeho objem až 600 krát. To znamená snadnější způsob přepravy a následné uskladnění zásob. LNG tedy hlavně slouží k transportu zemního plynu, většinou pomocí obřích lodí, do místa kde se znovu přemění na klasický zemní plyn v plynné formě (Schauhuberová, 2014).

Dnes si LNG jakožto alternativní palivo hledá cestu i do automobilové dopravy. Ve vozidle musí být uskladněn ve speciálních nádobách. Tyto nádoby mají dva pláště, mezi nimiž je prostor tvořen vakuem, tak aby se uchovala nízká teplota paliva a tím jeho kapalné skupenství. V tomto stavu má LNG přibližně o 40 % nižší hustotu energie v porovnání s motorovou naftou. Oproti CNG však zabírá jen třetinový objem. Proto se hodí pro použití v dálkové dopravě (autobusy, tahače, atd.). LNG je díky technologii výroby a skladování dražší než CNG, ale stále výrazně levnější než nafta. Poloha nádrží u tahače s pohonem na LNG (viz obr. 7).



Obr. 7 Tahač s pohonem na LNG

Zdroj: <http://www.tirstop.pl/mod-content-name/uploads/2014/04/Iveco-Stralis-LNG-3.jpg>

V současné době se na území ČR nachází téměř 111 plnicích stanic nabízejících CNG (viz obr. 8). Tento počet v porovnání s ostatními palivy není příliš vysoký. Zájem o stlačený zemní plyn neustále roste, kdy za první půlrok v roce 2016 se zprovoznilo 54 nových plnicích stanic.



Obr. 8 Plnicí stanice CNG

Zdroj: <http://www.epod.cz/wp-content/uploads/cng-stanic-pribyva.jpg>

Pohon na zemní plyn představuje dnes vhodnou a dosažitelnou technologii pro řešení problému znečišťování ovzduší. Perspektiva dostupnosti zemního plynu je minimálně 200 let i při vzrůstajícím směru spotřeby. Analýza kladů a záporů zemního plynu (viz tab. 3).

Tab. 3 Výhody a nevýhody CNG

Výhody	Nevýhody
Bezpečnější provoz	Původem CNG je zemní plyn - fosilní palivo
Levné palivo	V současnosti řídká síť čerpacích stanic
Podpora od státu (dotace, daňové slevy)	Častější prohlídky palivové soustavy a nádrže
Menší produkce emisí	Požizovací cena (horší návratnost)
Nevytváří karbonové usazeniny v motoru	Energeticky náročná výroba – LNG

4.4. Biopaliva

Biopaliva představují způsob využití biomasy v automobilové dopravě. Biomasu tvoří materiál organického původu. Nejedná se pouze o rostliny, ale také o těla živočichů, sinice, bakterie a řasy. Biomasa obsahuje energii pocházející z fotosyntézy a slunečního záření. To znamená, že biopaliva jsou vyráběna z obnovitelných zdrojů energie. Biomasa je známí a dlouhodobě využívaný zdroj energie. Zajištění efektivní a energeticky nenáročné přeměny biomasy na biopalivo, je zásadním předpokladem úspěchu a rozšíření tohoto typu paliva (Ližbetin, 2016).

Biopaliva se dělí do tří generací podle původu biomasy:

- 1. generace: Výroba paliva z plodin zemědělské půdy (olejnin a polysacharidy). Příkladem paliva z první generaci je bioetanol vyrobený z obilí, cukrové řepy nebo kukuřice.
- 2. generace: Palivo vzniká z nepotravinářské biomasy (seno, sláma, rostlinný odpad, energetické plodiny). Oproti první generaci má lepší transformační potenciál. Transformační potenciál značí to, kolik biopaliva vytvoříme z určitého objemu biomasy.
- 3. generace: Palivo pochází z vodních řas. V dnešní době nevyužívaná technologie, která je stále ve stádiu vývoje.
- 4. generace: Tento typ paliva nachází v laboratorní fázi. Vědci se snaží vyvinout biopalivo z geneticky upravených bakterií.

V současnosti se v automobilové dopravě používají dvě biopaliva. Prvním a celosvětově nepoužívanějším biopalivem pro zážehové spalovací motory je bioetanol. Druhým a v Evropě velmi rozšířeným pro vznětové motory je bionafta.

Bioetanol je palivo získané fermentací (kvašením) uhlovodíků obsažených v biomase. Pro fermentaci se využívá biomasa s vysokým obsahem cukru a škrobu. Nejčastěji se jedná o cukrovou řepu, kukuřici a obilí. Kvašením škrobu a cukru se produkuje bioetanol. Bioetanol může být použit přímo v zážehovém spalovacím motoru. Pro jeho použití však musí být spalovací motor nejprve upraven (Ližbetin, 2016).

Dnešní výzkum se zabývá především použitím bioetanolu jakožto aditiva přimíchaného do benzínu. Tato směs výrazně snižuje emise uhlovodíků a oxidu uhelnatého do atmosféry. Optimální poměr směsi etanolu a benzínu je 10 % etanolu a 90 % benzínu. Při tomto poměru má palivo celkově nejlepší účinnost na objem produkovaných emisí. V USA je bioetanol produkován převážně z kukuřice a je přimícháván do benzínu v poměru 85 % benzínu na 15 % etanolu. Vzniklé palivo má označení E85. Největší producentem bioetanolu je Brazílie (viz obr. 9). Ročně se zde vyrobí miliardy galonů etanolu čistě pro účely automobilové dopravy.



Obr. 9 Zpracování biomasy v Brazílii

Zdroj: <http://autogreenmag.com/wp-content/uploads/2010/04/11235f1d-2824-4428-8964-32f9171e874f.jpg>

Bionafta je směs metylesterů nenasycených mastných kyselin. Pro výrobu bionafty se používá proces rafinování tzv. transesterifikace. Bionafta může být vyrobena z rostlinného oleje nebo zvířecího tuku. Výhodou je i možnost výroby bionafty z použitého oleje na smažení. Jindy odpadní materiál může být přeměněn na palivo.

Pro výrobu bionafty se používají různé druhy rostlin. Záleží na zemědělských podmínkách dané lokality. Zatímco v severní Americe se bionafta vyrábí ze sójových bobů, v Evropě je hlavní surovinou řepka olejná. Díky svým vlastnostem podobajícím se naftě vyrobené z ropy, může bionafta sloužit jako náhradní ekologické palivo pro vznětové spalovací motory. Většina naftových vozidel nemusí být pro použití bionafty upravena. Některé vznětové motory jsou zkonstruovány tak, že by byl jejich provoz možný i za použití 100 % bionafty. Použitím rostlinné složky se snižují emise, ale zvyšuje se spotřeba paliva. Dle nařízení evropské unie musí být do motorové nafty přimícháno 5 % bionafty.

Hlavní výzvou v rozvoji tohoto typu paliva je zajištění udržitelné výroby. To znamená šetrné zacházení s přírodními zdroji (půdou, vodou) a následně energeticky účinně přeměnit biomasu na některý z druhů biopaliva. Analýza kladů a záporů biopaliv (viz tab. 4).

Tab. 4 Výhody a nevýhody biopaliv

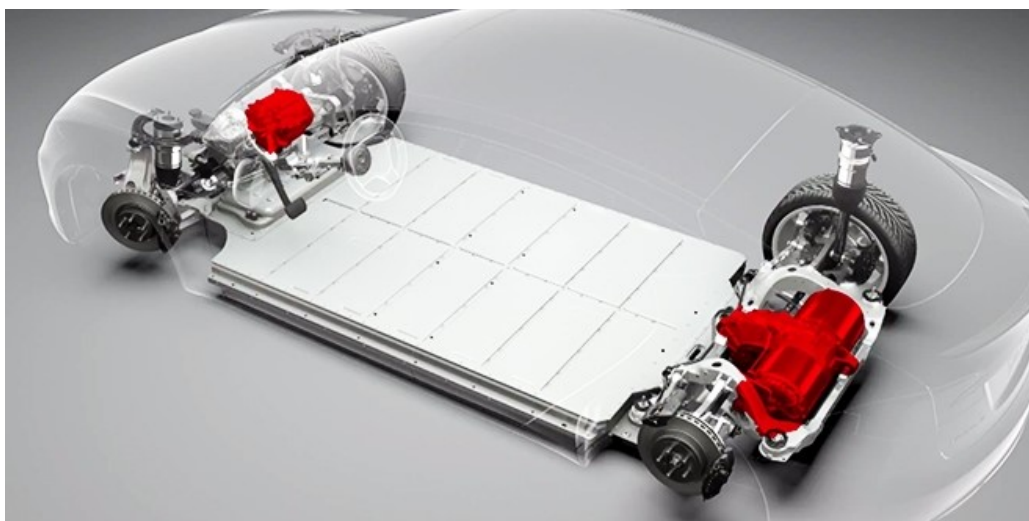
Výhody	Nevýhody
Nižší produkce emisí	Ekonomicky náročná výroba
Obnovitelný zdroj energie	Snižuje výkon
Rostliny zpracovávají oxid uhličitý	Kácení pralesů (Brazílie)
Vynikající mazací schopnosti	Spotřeba vody
Podpora zemědělství a rozvoj venkova	Produkce emisí při zpracování

4.5. Elektromobily s pohonem na akumulovanou elektrickou energii

Princip ukládání elektrické energie do baterií a následné použití této energie k pohonu automobilu není ničím novým. Baterii poháněná elektrická vozidla předběhla dokonce spalovací motory. V roce 1899 bylo na území USA prodáno více elektromobilů než parních a benzínových automobilů dohromady.

Elektromobily pomocí akumulované energie pohání jeden nebo více elektromotorů, které uvedou automobil do pohybu. Charakteristiky elektromotoru se neliší od spalovacího motoru. Zatímco účinnost spalovacího motoru závisí na jeho zatížení a velikosti otáček a i při ideálních podmínkách dosahuje výkonnosti okolo 40 %. Elektromotory dosahují vysoké účinnosti až 90%. Další výhodou je točivý moment, jeho nejvyšší hodnotu máte hned od startu. Proto elektromobily nevyžadují převodovku, což zvyšuje účinnost a snižuje komplikovanost pohonného ústrojí a tím i zabezpečuje menší poruchovost.

Baterií poháněné elektromobily jsou z důvodu menšího počtu komponentů a pohyblivých částí jednodušší pro výrobu. Celé pohonné ústrojí se dá zkonstruovat jen pomocí elektrických kabelů, ke kterým se připojí pouze elektromotor a baterie. Hlavním prvkem je baterie neboli akumulátor. Ten se využívá k opětovnému uložení elektrické energie. Nejčastěji používaným typem v automobilovém průmyslu je akumulátor elektrochemický. Ten funguje na vratném principu přeměny elektrické energie na chemickou. Právě baterie je alfa a omega dnešní doby. Pokud by existovala relativně lehká baterie o kapacitě 25 – 45 kWh, která se dokáže nabít za pár minut a vydrží několik tisíc cyklů, aniž by se její kapacita degradovala, jezdili by dnes všichni v elektromobilech. Prozatím není známo, kam až může vývoj baterií a akumulátorů pokročit. Problémem baterií je jejich hmotnost, dlouhá dobíjecí doba, nízká kapacita a relativně krátká životnost. Rentgenový snímek elektromobilu (viz obr. 10) (Hromádko, 2011).



Obr. 10 Elektromobil Tesla

Zdroj: <http://teslaturk.com/wp-content/uploads/2015/11/Tesla-Model-S-D-22.jpg>

Dalším problémem je původ elektrické energie, kterou elektromobil využívá. Elektromobil žádné přímé emise neprodukuje, ale elektrárna, ze které elektřinu čerpá, již ano. Pokud je tedy elektřina vyráběna z fosilních paliv, například spalováním uhlí, přestává být elektromobil dokonale ekologickým automobilem. Dokonce se může stát, že elektromobil vytvoří více nepřímých emisí, než automobil se spalovacím motorem.

V některých případech je vozidlo vybaveno zařízením, které baterie během jízdy dobíjí. Elektromotor tak může v automobilu fungovat nejen jako pohonné ústrojí, ale i jako brzda. Oproti běžným brzdám, které produkují teplo, které se nedá nijak využít, elektromotor vyrábí energii, která dobíjí baterie. Tato funkce se nazývá regenerativní brzdění.

Rekuperace brzděné energie vyvíjí malé množství brzděné síly, proto k úplnému zastavení vozu je zapotřebí použít klasické frikční brzdy. Styl jízdy řidiče elektromobilu má velký vliv na dojezd a spotřebu energie. Nevýhodou je hustota uskladněné energie v baterii, která je mnohem nižší než v benzínu nebo naftě. Proto musí mít elektromobily větší baterie, aby dosáhly stejných dojezdových parametrů jako jejich konkurence. V současnosti se jedná o nejvíce rostoucí segment alternativních pohonů. Veškeré hlavní automobilky vyvíjejí automobil poháněný čistě elektrickou energií. Za první kvartál roku 2016 se v Evropě prodalo 23 551 elektromobilů. Tomuto číslu přispívají vypsání dotace a možnosti daňových úlev nabízené státy. Analýza kladů a záporů vozidel poháněných elektrickou energií (viz tab. 5) (Prokopec, 2016).

Tab. 5 Výhody a nevýhody elektromobilů

Výhody	Nevýhody
Bez nutnosti budování nové infrastruktury	Vyšší pořizovací cena
Nízké provozní náklady	Emise produkované v elektrárně
Nevytváří hluk	Menší dojezd
Zlepšení akcelerace	Degradace baterií
Nulové emise z automobilu	Dlouhá doba dobíjení

4.6. Pohon na vodík

Možnosti pohonu na vodík budou podrobněji popsány dále v kapitole č. 5.

4.7. Hybridní pohony

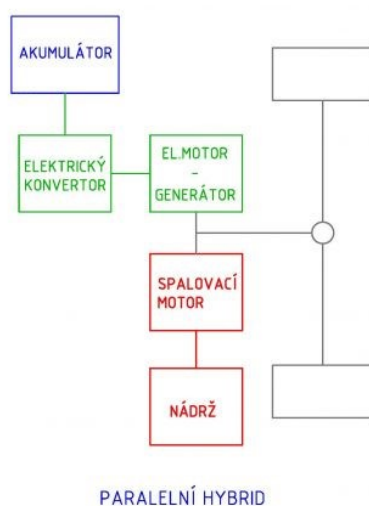
Za hybridní vozidlo se označuje automobil, který pohání více než jeden zdroj energie. Obvykle se jedná o kombinaci baterií poháněného elektromotoru a spalovacího motoru. Tyto motory společně dodávají potřebnou energii k uvedení vozidla do pohybu. Spojením dvou motorů se snaží výrobci získat výhody z obou řešení. Hybridní vozidla jsou již na trhu delší dobu. V současnosti je v nabídce automobilek mnoho modelů s hybridním pohonným ústrojím. Většina z nich pochází z Japonska.

Při nastartování hybridního vozu se nejprve spustí elektromotor. Ten pomáhá s rozjezdem a jízdou při nízkých rychlostech. Toho se využívá v městském provozu. Elektrická energie je čerpána z baterií uložených v automobilu. Když je potřeba více výkonu, například při předjíždění nebo jízdě do kopce, připojí se k elektromotoru i spalovací motor. U hybridního vozidla se plně využívá systém regenerativního brždění.

Při zpomalování nebo brždění se z elektromotoru stane generátor a místo energie, která by byla spotřebována při brždění na zahřátí brzd, dobije baterii hybridního ústrojí. Tento systém velmi zlepšuje účinnost hybridních vozidel (Frybert, 2015).

Elektromotor je zapojen do pohonného ústrojí paralelně nebo sériově ke spalovacímu motoru.

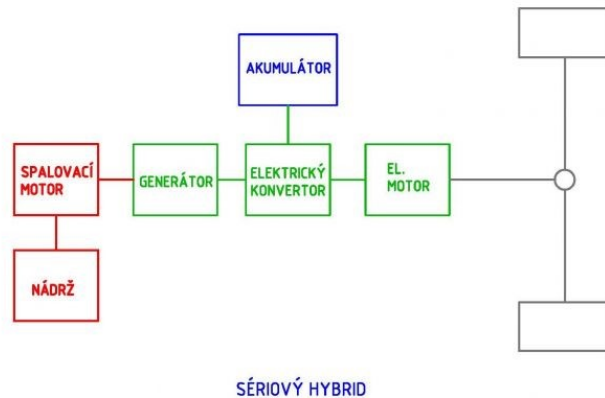
V paralelně zapojeném hybridu (viz obr. 11) je vozidlo poháněné zároveň mechanickou silou spalovacího motoru a elektromotoru. Převodový systém kombinuje sílu z obou pohonných ústrojí a dovoluje spalovacímu motoru pohánět automobil i generovat elektřinu skrze generátor. Elektrický zdroj pohonu je použit k pohonu vozidla v oblastech, kdy je využití spalovacího motoru nevýhodné. Hlavně v nízkých rychlostech, chodu na prázdno a k dodání dodatečné energie při akceleraci (Baracudaj, 2008).



Obr. 11 Paralelní uspořádání hybridního pohonu

Zdroj: <http://img.auto.cz/blog/blogs.dir/18/files/2008/09/10200.jpg>

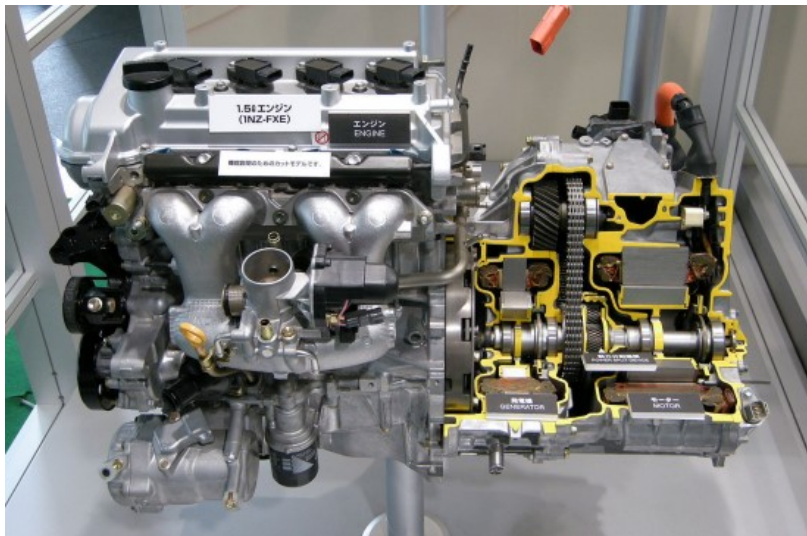
V sériovém zapojení (viz obr. 12) pohání spalovací motor elektrický generátor. Ten vyrábí elektřinu a ta pohání elektromotor, který žene kola hybridního vozidla. Funkční princip se snaží optimalizovat účinnost v ohledu na charakteristiky spalovacího motoru. Při nadbytku generované energie může generátor dobít baterie, které pohání palubní systémy nebo dodávají extra energii elektromotoru (Baracudaj, 2008).



Obr. 12 Sériové uspořádání hybridního pohonu

Zdroj: <http://img.auto.cz/blog/blogs.dir/18/files/2008/09/10197.jpg>

Oproti konvenčnímu automobilu s jedním pohonem si hybridní vůz s sebou veze pohonné jednotky dvě. Zásobník energie je značně rozměrný a těžký oproti obvyklým palivovým nádržím a negativně ovlivňuje zavazadlový prostor a hmotnost. Vysoká hmotnost pak zhoršuje jízdní vlastnosti a spotřebu paliva.



Obr. 13 Motor hybridního vozidla Toyota Prius

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Toyota_1NZ-FXE_Engine_01.JPG

Budoucností hybridních vozů jsou tzv. plug-in hybridy. Ty nabízejí dobíjení baterií vozidla pomocí elektřiny ze sítě. Stačí zapojit automobil pomocí dobíjecího kabelu do zásuvky doma nebo kdekoli jinde. Takovýto vůz je schopen ujet až 100 km pouze s využitím elektrické energie. Mnoho studií ukazuje, že 70 – 80 % všech jízd automobilem během dne je uskutečněná

v rámci dojezdu na čistě elektrický pohon. Plug-in hybridy mohou být prvním krokem k udržitelné dopravě na elektrickou energii. (Frybert, 2015)

Hybridní vozidla nabízejí řešení, jak snížit spotřebu paliva a zredukovat emise. Problémem je, že i přes masivní propagaci a dotace jsou hybridy stále výrazně dražší, než jejich ekvivalenty se spalovacím motorem. Analýza kladů a záporů hybridních vozidel (viz tab. 6).

Tab. 6 Výhody a nevýhody hybridních pohonů

Výhody	Nevýhody
Bez nutnosti budování nové infrastruktury	Vyšší pořizovací cena
Nižší spotřeba paliva	Vyšší hmotnost automobilu
Delší dojezd	Není možno parkovat v nevětraných prostorách
Zlepšení akcelerace	Vyšší poruchovost systému
Nižší produkce emisí	Nebezpečí výbuchu

5. VODÍK

V této kapitole je detailněji přiblížen vodík jako prvek, jeho energetické vlastnosti, výroba a uchování.

5.1. Vodík jako prvek

Vodík je chemický prvek označený písmenem H s atomovým číslem 1. Má nejnižší atomovou hmotnost ze všech známých prvků na Zemi. Skládá se pouze z jednoho protonu a jednoho elektronu. Čistý vodík je nejedovatý plyn bez barvy a zápachu, jeho chemické vlastnosti jsou (viz tab. 7).

Tab. 7 Chemické vlastnosti vodíku

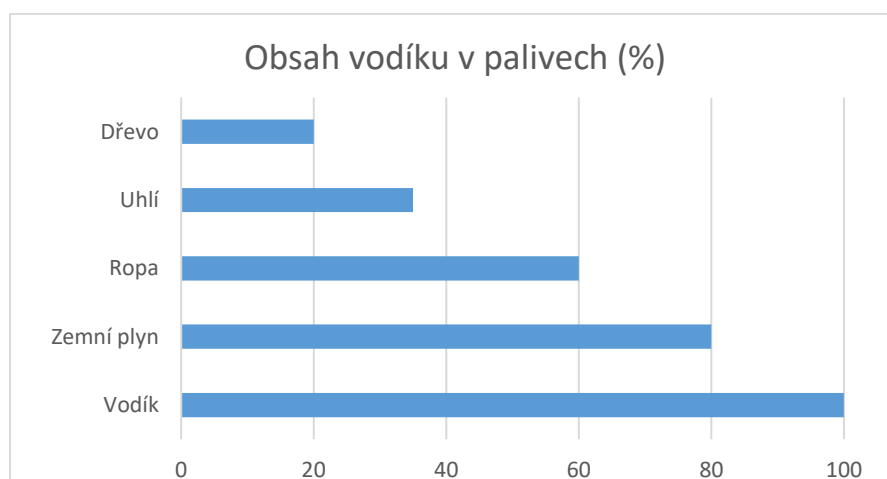
Atomová hmotnost	1,00797
Bod tání	-259,34 °C
Bod varu	-252,87 °C
Hustota plynu	0,08987 kg/m ³
Kritická teplota	-240,17 °C
Kritický tlak	1,28 MPa
Gravitace porovnaná ke vzduchu	0,0695

Vodík, je nejrozšířenějším prvek ve vesmíru. Ze všech molekul, které tvoří vesmír, se vodíku připisuje více než 90 %. Před čtyřmi miliardami let vodík dominoval i zemské atmosféře. Navzdory jeho jednoduchosti a rozšíření se nevyskytuje v přírodě jakožto samostatný prvek. Ochotně se pojí s dalšími prvky, například s kyslíkem a uhlíkem (Prvky.com, 2016).

5.1.1. Energetické vlastnosti a výhody vodíku

Vodík je využíván jako palivo od počátku věků. Ne však v jeho čisté formě, ale jako sloučenina v jiných palivech. Například ve dřevě, uhlí, ropě nebo zemním plynu.

Když hodnotíme vývoj paliva v průběhu času, je zřejmé, že množství vodíku zastoupeného v jednotlivých palivech (viz obr. 14) se s vývojem technologie zvyšuje. Vzhledem k tomuto faktu se čistý vodík jeví, jako palivo budoucnosti.



Obr. 14 Graf znázorňující obsah vodíku v jednotlivých typech paliva

Zdroj: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/energycontent.html>

Vodík je flexibilní a můžeme ho relativně jednoduše skladovat. Díky tomu nachází mnoho upotřebení jako palivo. Může být spálen jako náhražka plynných fosilních paliv nebo přeměněn přímo v elektřinu pomocí palivového článku v elektrochemické reakci.

Vodík má největší hustotu energie na jednotku hmotnosti v porovnání všech ostatních paliv (viz tab. 8). Jeden kilogram obsahuje přibližně 120 MJ energie, to je trojnásobně vyšší hodnota než má benzín (43 MJ/kg). Ve srovnání energie s hmotností je vodík na prvním místě. Pokud ale dojde ke srovnání energie s objemem, ocitne se vodík na místě posledním. To způsobuje nízká atomová hmotnost vodíku. Pro představu, vodík obsahující stejnou energii jako benzín, vyplní 2 800 krát větší objem (U.S. Department of Energy, 2017).

Tab. 8 Výhřevnost a hustota paliv

	Vodík	Metan	Benzín
Výhřevnost (MJ/kg)	119,88	50,04	43,04
Hustota (kg/m ³)	0,089	0,6512	749

V porovnání se zemním plynem (druhým nejlehčím plynným palivem) obsahuje vodík třikrát méně paliva na stejný objem, ale dvakrát více na stejnou hmotnost.

Zájem o vodík roste a to s možností využití nejen v palivovém článku, ale také ve spalovacím motoru. Při spalování vodíku nebo při použití v palivovém článku je jediným zbytkem reakce voda.

V obou případech je hlavní výhodou ochrana přírody. Spalování, stejně jako palivový článek neprodukuje žádné škodlivé emise. Palivo neobsahující uhlík, nevytváří plyny, jako jsou oxid uhelnatý a oxid uhličitý.

Nevýhodou vodíku je obtížnost skladování ve vozidlech z důvodu jeho nízké hustoty a velkého objemu. Další nevýhodou jsou náklady na jeho zkapalnění a vliv na železné materiály, které při kontaktu s ním křehnou (Hofmann, 2012).

5.2. Získávání vodíku

Vodík se v přírodě nevyskytuje v čisté formě, je vždy vázán k jinému prvku. Může však být vyroben ze všech hlavních zdrojů energie, ať už jsou to fosilní paliva nebo obnovitelné zdroje. Jak přímo, tak nepřímo. Bohužel většina vodíku vyrobeného dnes, pochází z přeměny fosilních paliv (UJEP, 2017).

Možné způsoby výroby vodíku:

- štěpení uhlovodíku vodní parou (parní reforming),
- parciální oxidace uhlovodíků,
- elektrolýza vody, kyselin, chloridu sodného,
- konverze vodního plynu,
- vodík z reformování benzinů,
- koksárenský plyn,
- rozklad metanolu,
- rozklad amoniaku,
- rozklad vody.

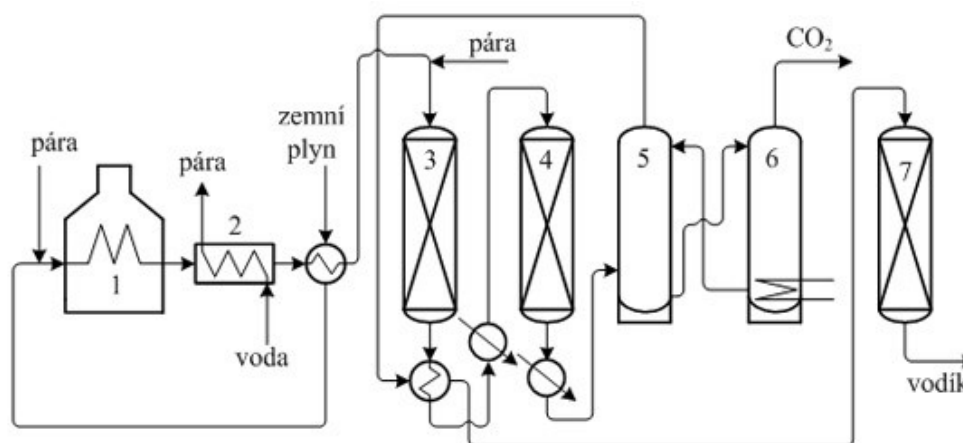
Možností jak vyrobit vodík je mnoho. Tato práce se zaměřuje na dva významné způsoby výroby. Nejvíce používaným způsobem výroby vodíku je parní reforming zemního plynu. Druhým a pro budoucnost velice významným způsobem je elektrolýza vody. Elektrolýza je považována za ideální metodu výroby vodíku. Prostřednictvím této technologie se vodík vyrábí pomocí obnovitelných zdrojů energie. Nevýhodou této výrobní technologie je její cena. Ta je dvakrát až třikrát vyšší než cena parního reformingu. Záleží především na ceně elektřiny, která se při elektrolýze používá.

Podle amerického úřadu pro energetiku je roční celosvětová produkce vodíku přibližně 50 milionů tun H_2 . Z toho je 59 % vyrobeno pomocí parního reformingu, 35 % separací rafinérských a petrochemických procesů a jen 4 % pomocí elektrolýzy. Poptávka po vodíku již od roku 1990 každoročně roste o 10 – 20 %.

5.2.1. Parní reforming

Jednou z možností jak získat vodík je parní reforming. K tomu slouží přístroj zvaný reformér v němž pára za vysoké teploty reaguje s fosilním palivem. Fosilní paliva, jakým je například zemní plyn obsahuje uhlovodíky a ty lze rozdělit na vodík a uhlík.

Proces parního reformingu (viz obr. 15) probíhá v peci při tlaku 3 – 5 MPa a teplotách 750 – 800 °C. Zemní plyn reaguje s vodní párou a tvoří vodík. Bohužel pomocí tato metoda produkuje emise oxidu uhličitého a uhelnatého. Ty se s přebytečnou vodní parou dostávají do zemské atmosféry. Tato metoda výroby vodíku je v této době nejlevnější a nejvíce používaná (Petroleum.cz, 2017).



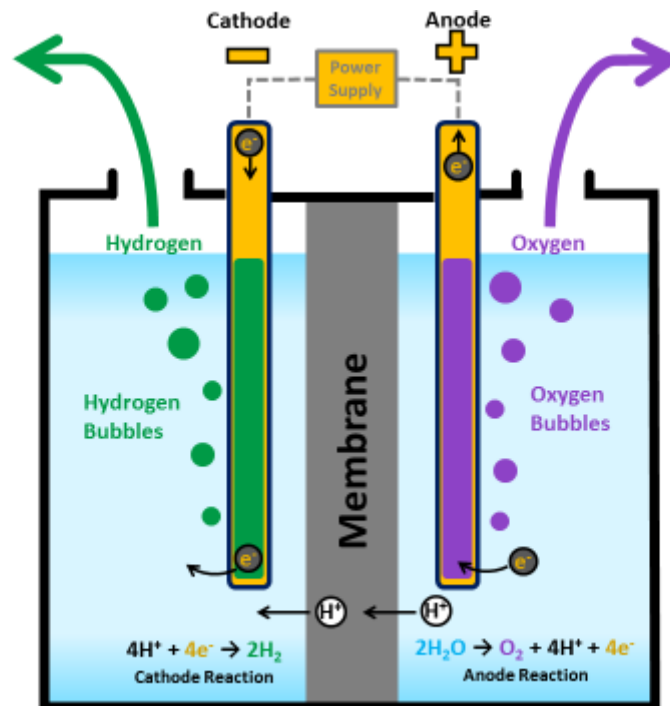
Obr. 15 Schéma parního reformování zemního plynu;

1 - pec, 2 - kotel na výrobu páry, 3 - vysokoteplotní konvertor CO, 4 - nízkoteplotní konvertor CO, 5 - absorbér CO₂, 6 - desorbér CO₂, 7 - metanizér

Zdroj: http://www.petroleum.cz/zpracovani/system/zpracovani_ropy_43_2.jpg

5.2.2. Elektrolýza vody

Elektrolýza (viz obr. 16) je technické označení pro proces, ve kterém je elektřina použita k rozdělení vody na prvky, z nichž se skládá. Produktem elektrolýzy je tedy vodík a kyslík. Rozdělení vody probíhá pomocí průchodu elektrického proud. Do elektrolytu jsou ponořeny dvě elektrody (katoda a anoda). Vodíkový iont H^+ má kladný náboj a tudíž je přitahován katodou. Ta mu předá elektron a společně vytvoří molekulu vodíku H_2 . V podobě bublin odchází vodík z elektrolytu.



Obr. 16 Princip elektrolýzy vody

Zdroj: https://energy.gov/sites/prod/files/styles/large/public/pem_electrolyzer.png?itok=NeJH4Aaz

Technologie elektrolýzy může být prováděna kdekoliv a v jakékoliv míře stačí mít pouze zdroj elektřiny. To znamená, že výroba může probíhat přímo na místě, kde se nachází poptávka.

Účinnost přeměny energie neboli poměr získané energie vůči dodané, se při elektrolýze různí. Záleží na zvolené variantě elektrolýzy. Při klasické elektrolýze uvedené výše se účinnost pohybuje okolo 70 %. Pokud použijeme moderní způsoby elektrolýzy, může se účinnost vyšplhat až na 90 %.

Proces výroby žádné přímé emise. Záleží na tom, kde je vyrobena elektřina dodávaná elektrolýze. Tento způsob získávání vodíku zvyšuje svůj podíl na celkové výrobě, ale stále je stejně jako palivové články příliš drahý. Výhodou elektrolýzy je čistota vyrobeného vodíku, takto vyrobený vodík je nejvhodnějším palivem do palivového článku.

Další výhodou je vyspělost této technologie výroby a s tím spojené menší riziko výskytu závad. Poslední a nejvýznamnější výhodou elektrolýzy je, že se jedná o jediný způsob výroby paliva pouze z obnovitelných zdrojů (U.S. Department of Energy, 2017).

5.3. Distribuce a skladování vodíku

Po výrobě přichází distribuce a dopravení vodíku do místa poptávky. Transport vodíku musí zaručit zachování čistoty a minimalizovat únik vodíku.

V současnosti se k dopravě vodíku z výrobního místa používá potrubí, speciální tankery nebo cisterny. V případě, že se jedná o potrubí, může se s drobnými úpravami využít infrastruktura dopravy zemního plynu. Při dopravě velkých objemů plynného vodíku je tento způsob dopravy nejlevnější. Vodík může být skladován a přepravován ve dvou formách. Zaprvé ve formě stlačeného plynu nebo zadruhé jako zkapalněný vodík.

S vodíkem se musí zacházet velmi opatrně a všechna zařízení vodíkové infrastruktury musejí být navržena tak, aby zabránila jeho úniku do atmosféry.

5.4. Bezpečnost vodíkatých paliv

Vodík se může velmi jednoduše vznítit. Na druhou stranu to stejné se dá říci i o benzínu. Pokud se uniklý vodík nevznítí, jednoduše a rychle se rozptýlí do okolí a dále již není nebezpečný. Jestliže dojde ke vznícení, vodík hoří prudce ve formě vertikálního plamenu (viz obr. 17).



Obr. 17 Průběh vznícení vodíku (vlevo) a benzínu (vpravo)

Zdroj: http://www.cleancaroptions.com/html/hydrogen_safety.html

Vodík není toxickým palivem a nepředstavuje hrozbu pro životní prostředí. Na rozdíl od fosilních paliv, při jejichž úniku mohou být poškozeny celé ekosystémy.

Mnohé průzkumy ukazují, že lidé mají obavu z výbuchu vodíkového automobilu. Strach z používání vodíku pochází z roku 1937.

V tomto roce se v New Jersey vznítla vodíková vzducholod' Hindenburg (viz obr. 18). Tato katastrofa se přisuzuje vodíku zcela neprávem. Příčinou vznícení je uváděna jiskra statické elektřiny, která však zapříčinila vznícení pláště nikoliv vodíku uvnitř vzducholodě.



Obr. 18 Vzducholod' Hindenburg

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Hindenburg_disaster.jpg/310px-Hindenburg_disaster.jpg

Druhou věc, kterou si veřejnost při slovu vodík představí, jsou termojaderné zbraně a vodíková bomba. Odborné informace podložené výzkumem snad zbaví veřejnost obav z použití vodíku jako paliva.

6. VODÍK V AUTOMOBILOVÉ DOPRAVĚ

Vodík může být použit v motorových vozidlech dvěma způsoby. Pomocí úpravy klasického spalovacího motoru nebo s použitím palivového článku.

Oba způsoby využití vodíku jako paliva jsou velmi vyspělé a pokročilé. Použití palivového článku má však oproti spalování vodíku jednu velkou výhodu. Ta výhodou je účinnost. Palivový článek má účinnost 60 %, zatímco spalovací motor 35 %. Pro blízkou budoucnost však spalování vodíku představuje jednodušší způsob, jak přejít k vodíku, jakožto palivu pro automobilovou dopravu (Hofmann, 2012).

6.1. Spalování vodíku

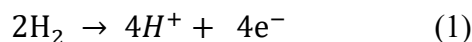
Spalování vodíku je nekomplikovaný způsob využití vodíku. Vzduch a vodík vytváří směs, která při zapálení detonuje ve válcích motoru. Jedná se tedy o podobný funkční princip, který nalezneme v benzínových zážehových motorech.

Chemické vlastnosti vodíku dovolují spalování v tzv. režimu ochuzeného paliva. Objem paliva ve válci na jednotku dodaného vzduchu je mnohem menší, než je tomu například u benzínu. To má pozitivní vliv na spotřebu paliva v režimu nízkých otáček. Jedinými škodlivými produkty spalování jsou oxidy dusíku. Ty se sice řadí mezi škodlivé plyny, ale jejich množství pocházející ze spalování vodíku je mnohonásobně nižší než při spalování benzínu (U.S. Department of Energy, 2001).

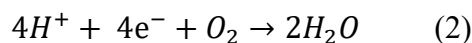
6.2. Vodíkové palivové články

Princip produkování elektřiny je založen na chemické reakci mezi vodíkem a kyslíkem. Tato reakce má za následek vznik energie a vody. Energie je produkována ve formě elektrického proudu.

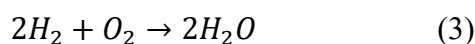
Všechny palivové články fungují na stejném principu (viz obr. 19). Pokud si vzpomeneme na způsob tvorby vodíku pomocí elektrolýzy vody, zjistíme, že palivový článek funguje podobně. V tomto případě je však na vstupní surovinou vodík a výstupní energií elektrický proud. Vodík je pumpován do oblasti anody. Proces rozdělí vodík na jeho ionty a kationty (viz rovnice 1) (Vlk, 2004).

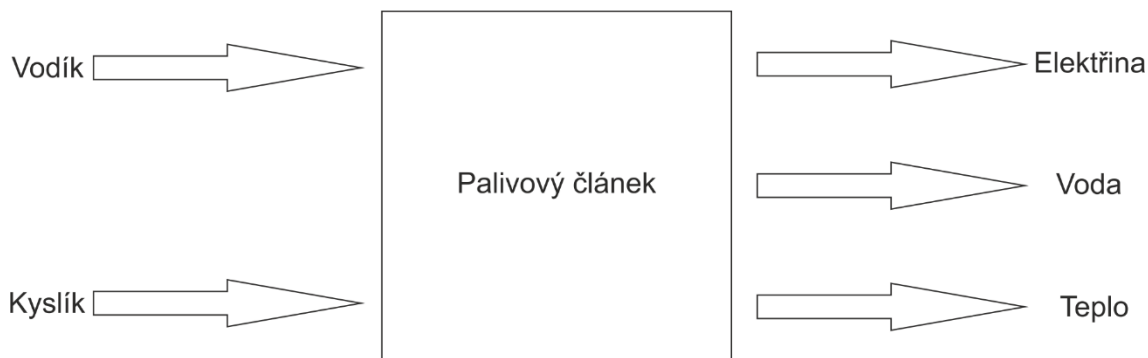


Elektrolyt povolí průchod protonům, ale zabrání toku elektronů od anody ke katodě. Elektrony se ke katodě musí dostat externím oběhem. Proudění elektronů tímto oběhem generuje elektrický proud. Poté se vzduch vžene do oblasti katody, kde se kombinuje s vodíkovými ionty a společně tvoří vodu a teplo (viz rovnice 2).



Celková reakce probíhající v palivovém článku (viz rovnice 3).





Obr. 19 Funkční princip palivového článku

Zdroj: <http://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/fuel-cells/>

Napětí palivového článku je velmi nízké. Uvádí se hodnota okolo 1V. Pro využití v praxi se musí docílit mnohem vyššího napětí. To je docíleno sériovým zapojením více článků.

6.3. Vodíkem poháněná vozidla

Prvním vozidlem využívajícím palivové články byl v roce 1959 traktor (viz obr. 20) firmy Allis – Chalmers s výkonem 20 koní. Traktor byl poháněn alkalickým palivovým článkem skládajícím se z 1008 jednotlivých článků. Palivem však nebyl naprosto čistý vodík, ale směs různých plynů především propanu (Fuel Cell Today Limited, 2017).



Obr. 20 Traktor Allis-Chalmers s palivovými články

Zdroj: <https://smediacacheak0.pinimg.com/564x/e9/f4/a8/e9f4a84c4c0dbd03292d08d0bb77bf0b.jpg>

V roce 1970 Karl Kordesh vybavil svůj vůz Austin A40 palivovými články. Tento vůz poháněný vodíkem používal tři roky v běžném provozu. Vodík byl uskladněn v šesti nádržích umístěných na střeše automobilu (viz obr. 21) (Fuel Cell Today Limited, 2017).



Obr. 21 Vozidlo K. Kordeshe využívající vodík a palivové články.

Zdroj: <http://www.jameco.com/Jameco/workshop/inthenews/inthenews-horizon-pioneers-fig1.jpg>

Za první komerční a sofistikovaný vůz s vodíkem poháněnými palivovými články se označuje prototyp elektrodávky automobilky General Motors (viz obr. 22). Dodávka používala 32 do série zapojených alkalických článků, které poháněl kyslík a vodík. Dojezd byl 240 km a zrychlení 0 – 100 km/h trvalo 30 sekund. Hmotnost vozu byla 3500 kg a celý zavazadlový prostor dodávky zabíralo pohonné ústrojí. Z bezpečnostních důvodů se vozidlo testovalo pouze na pozemku firmy GM (Fuel Cell Today Limited, 2017).

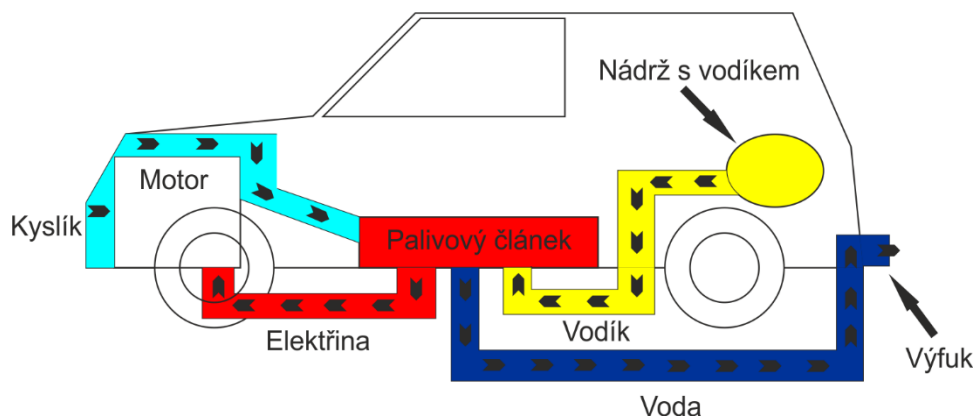


Obr. 22 GM Electrovan

Zdroj: https://www.gmheritagecenter.com/images/featured/Fuel_Cell/full/1966-Electrovan.jpg

I když je palivový článek nejdůležitějším prvkem vozu, musí automobil na vodíkový pohon obsahovat i další velmi podstatné díly, bez kterých by nebyl schopen provozu (viz obr. 23).

- Palivová nádrž: jeden nebo více speciální válců uskladňují stlačený vodík při tlaku od 30 do 70 MPa.
- Baterie: ukládá elektrickou energii a pomáhá autu z akcelerací. Energií získává z rekuperace, přeměňuje kinetickou energii při brždění nebo zpomalování na elektrickou.
- Elektromotor: motor s vysokým točivým momentem pohání buďto přední nebo zadní nápravu. Energií získává přímo z palivového článku nebo z baterie. Vyžaduje menší údržbu než spalovací motor.



Obr. 23 Schéma automobilu s palivovým článkem

Zdroj: http://www.toyotaglobal.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/images/sec3_img1.jpg

7. SROVNÁNÍ AUTOMOBILŮ S RŮZNÝMI TYPY POHONŮ

Tato kapitola je věnována srovnání automobilů využívající různé pohony, jak klasické, tak alternativní. Automobily vybrané do tohoto hodnocení jsou cenově a výkonnostně srovnatelné.

Zvolené automobily s odlišnými druhy pohonů:

- Elektrický pohon na energii vytvořenou vodíkovým palivovým článkem
 - Toyota Mirai - nejprodávanější osobní vůz poháněný vodíkem

- Elektrický pohon na energii uloženou v akumulátoru
 - Nissan Leaf - nejprodávanější vůz poháněný energií z akumulátoru

- Vznětový motor
 - Škoda Octavia - nejprodávanější vůz v ČR

- Zážehový motor využívající benzin / CNG / LPG
 - Benzin - Volkswagen Golf - nejprodávanější vůz v Evropě
 - LPG - Opel Astra – pokročilé využití LPG (OPEL jednička ve vývoji LPG vozů)
 - CNG – Škoda Octavia G-TEC – pokročilá technologie spojení CNG a spalovacího motoru

- Hybridní pohon:
 - Toyota Prius Plug-in Hybrid - nejprodávanější hybridní vůz

7.1. Toyota Mirai

První sériový automobil na vodíkový pohon představila japonská automobilka Toyota v roce 2015 na veletrhu spotřební elektroniky CES v Las Vegas. V souvislosti s uvedením Toyoty Mirai (viz tab. 9) na trh dává Toyota zdarma k dispozici téměř šest tisíc patentů, které vznikly při přípravě tohoto modelu. Cílem je podpořit rozvoj infrastruktury, která je pro skutečně masové prosazení vodíku nezbytná (Vokáč, 2015).

Dle zkušeností jezdí automobil dostatečně svižně a bez hluku, tak jako ostatní elektromobily. Zajímavostí je, že v případě nutnosti vyšších výkonů je slyšet zvuk kompresorů dodávající vzduch palivový článkům. Nejedná se však o žádný super rychlý vůz, kterým umí být například Tesla.

Zatímco design exteriéru je relativně odvážný a jeho kvalitu odhalí nejspíše další roky. Interiér ctí aktuální designový jazyk ostatních modelů Toyota, působí příjemně a zaujme kvalitou zpracování (Horčík, 2016).

Tab. 9 Parametry Toyota Mirai

Požizovací cena	1 800 000 Kč
Infrastruktura	Nedostatečná (1 stanice v celé ČR)
Doba plnění paliva	5 min
Dojezd na plnou nádrž	750 km
Spotřeba	0,76 kg vodíku /100 km
Cena paliva	1,5 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	9,6 s
Max. rychlost	178 km/h
Emise CO ₂	0 g/km

7.2. Škoda Octavia G-TEC

Nová Škoda Octavia pro rok 2017 se nabízí i ve variantě s pohonem na CNG. Oproti klasické Octavii, jež vyniká v nižší střední třídě prostorností, se zvenku nijak zásadně neliší. Má jen o pár milimetrů větší rozchod kol zadních kol. To je z důvodu vytvoření dostatečného prostoru k umístění nádrží na CNG. Naopak zachovány zůstaly jízdní vlastnosti, které odpovídají modelu s benzínovým motorem. Dynamika vozu se zhoršila. Nádrže na CNG přidávají hmotnost a výkon motoru je o 29 kW nižší. Škoda Octavia s pohonem na zemní plyn je o 21 000 Kč dražší, než její benzínová varianta.

V porovnání s benzínovým motorem je provoz automobilu na CNG je přibližně o 1 Kč na kilometr levnější. Investice do varianty CNG se vrátí po jednom roce provozu. Další výhodou jsou nízké emise, které přispívají lepšímu životnímu prostředí (Švidrnoch, 2017).

Tab. 10 Parametry Škoda Octavia G-TEC

Pořizovací cena	496 000 Kč
Infrastruktura	Dostatečná (147 stanic v celé ČR)
Doba plnění paliva	Benzín i CNG 3 - 5 min
Dojezd na plnou nádrž	920 km na benzín + 410 km na CNG
Spotřeba	3,5 kg CNG /100 km
Cena paliva	1,14 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	10,9 s
Max. rychlost	195 km/h
Emise CO ₂	94 g/km

7.3. Toyota Prius Plug-in hybrid

Toyota v roce 2016 představila nový model Prius (viz tab. 11). Tento hybridní vůz nabízí i ve variantě plug-in hybrid. Tato koncepce se v Priusu již představila v roce 2010. Tehdy to byla novinka, ale s velkým úspěchem mezi zákazníky se nesečkala. Nová verze přichází s lepšími dojezdovými parametry a s bohatší základní výbavou vůči konkurenci. Oproti předchozímu modelu nabízí větší baterii s kapacitou 8,8 kWh. Díky ní je vůz schopen urazit až 40 km čistě na elektrický pohon. Výrobce doporučuje prodejní cenu je 700 000 Kč (Mička, 2016).

Tab. 11 Parametry Toyota Prius

Pořizovací cena	700 000 Kč
Infrastruktura	Velmi dobrá
Doba plnění paliva	Benzín 3 - 5 minut a elektřina 2,5 hodiny
Dojezd na plnou nádrž	40 km na el. + 800 na benzín
Spotřeba	2,12 l/100km
Cena paliva	1,12 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	11,5 s
Max. rychlost	181 km/h
Emise CO ₂	0 g/km

7.4. Nissan Leaf

Elektromobil Nissan Leaf v roce 2015 přesáhl hodnotu 200 000 prodaných kusů. Tím si upevnil pozici nejprodávanějšího auta na elektrický pohon. V základní verzi začíná na ceně 730 000 Kč, tím se řadí mezi nejlevnější elektromobily, které se dají v současnosti pořídit. Výrobce nabízí dvě baterie s různou kapacitou. První 24 kWh varianta se nabije ze zásuvky v domácnosti za 4 hodiny a umožní dojet vozu až do vzdálenosti. S druhou 30 kWh baterií může Leaf ujet až 200 km, dobití pak potrvá 5,5 hodiny (Nissan Motor Co., 2017). Díky rychlonabíjecím stanicím je možno, za pouhých 30 minut automobil nabít do 80 % celkové kapacity baterií. Při průměrné ceně 3,71 Kč za 1 kWh elektřiny bude doplnění baterií stát 111 Kč (Energie123, 2017).

Tab. 12 Parametry Nissan Leaf

Pořizovací cena	730 000 Kč
Infrastruktura	Dobrá (71 rychlonabíjecích stanic v ČR)
Doba plnění paliva	4 – 5 hodin nebo 30 minut do 80 %
Dojezd na plnou nádrž	150 – 200 km
Spotřeba	15 kWh/100km
Cena paliva	0,55 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	11,5 s
Max. rychlost	144 km/h
Emise CO ₂	0 g/km

7.5. Volkswagen 1.0 TSI Golf

Nejprodávanější automobil Volkswagenu přišel na začátku roku 2017 s modernizovanou nabídkou motorů. Základním zážehovým motorem se nově stává tříválcový motor o objemu 1,0 litru, jenž nahradil dosavadní čtyřválec o objemu 1,2 litru. Jakkoliv se litrový objem může zdát nedostatečný, má motor velmi dobré výkonové parametry. Maximální výkon 85 kW a točivý moment 200 Nm je zárukou, že i tento Golf bude patřit k rychlejším automobilům. Mimo to, že je motor úsporný, je také na svou tříválcovou konstrukci velmi kultivovaný. Mezi další plusy Golfu patří dostatečný vnitřní prostor, kvalita zpracování a jisté jízdní vlastnosti (ADAC e.V., 2015).

Tab. 13 Parametry Volkswagen Golf TSI

Pořizovací cena	411 900 Kč
Infrastruktura	Výborná
Doba plnění paliva	3 - 5 minut
Dojezd na plnou nádrž	1 100 km
Spotřeba	4,8 l/100km
Cena paliva	1,4 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	9,9 s
Max. rychlost	195 km/h
Emise CO ₂	104 g/km

7.6. Opel Astra 1.4 LPG ecoFlex

Opel Astra v rámci nižší střední třídy je automobilem, který přesvědčí kvalitou zpracování, dobrými jízdními vlastnostmi a vysokou úrovní pasivní i aktivní bezpečnosti. Především se jedná o inovativní bezpečnostní systémy jako čtení dopravní značek, asistent jízdy v pružích či adaptativní systém osvětlení, které Opel již více než pět let k tomuto modelu nabízí. Pohon obstarává turbo motor s objemem 1,4 litru a maximálním výkonem 103 kW spřažený s šestirychlostní dobře odstupňovanou převodovou. To zajišťuje Opelu dostatečnou dynamiku i přes vyšší hmotnost způsobenou robustní stavbou karoserie. Robustní stavba se však negativně odráží na spotřebě a to buď benzínu nebo LPG. Další nevýhodou konkrétně modelu na LPG je zmenšení kufru, jehož dno leží kvůli nádrži, která zaujala místo rezervy, výrazně výše než u standardního modelu. K tomu vzniká při sklopení zadní sedadel na ložné ploše nepraktický schod (ADAC e.V., 2012).

Tab. 14 Parametry Opel Astra LPG

Pořizovací cena	400 900 Kč
Infrastruktura	Velmi dobrá (877 čerpacích stanic v ČR)
Doba plnění paliva	Benzín i LPG 3 – 5 minut
Dojezd na plnou nádrž	493 km (LPG) + 965 km (benzín)
Spotřeba	7,6 l/100km
Cena paliva	1,29 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	10,8 s
Max. rychlost	200 km/h
Emise CO ₂	97 g/km

7.7. Škoda Octavia 1.6 TDI

Pohonná jednotka s objemem 1,6 litru představuje mezi dieselovými motory Škody Octavia (viz tab. 15) základní motorizaci. Jedná se o tichý a úsporný motor. Pouze pětistupňová převodovka má však kvůli spotřebě dlouhé převody, což se ve spojení točivým momentem 250 Nm a výkonem 81 kW dosahovaným až při 4150 ot./min. negativně odráží na dynamice a menšímu komfortu při jízdách ve městě (Svět motorů, 2016).

Tab. 15 Parametry Škoda Octavia TDI

Pořizovací cena	471 900 CZK
Infrastruktura	Výborná
Doba plnění paliva	3 - 5 minut
Dojezd na plnou nádrž	1 200 km
Spotřeba	4,1 l/100km
Cena paliva	1,27 Kč/km
Zrychlení z 0 na 100 km	10,9 s
Max. rychlost	194 km/h
Emise CO ₂	106 g/km

7.8. Výsledek srovnání

Pro srovnání automobilů je vytvořena tabulka (viz tab. 16), která pomocí jednoduchého principu bodování hodnotí jednotlivé charakteristiky automobilů. V jednotlivých parametrech vozidla obdrží body od 1 do 7. Vůz, který dosáhne nejlepšího výsledku v daném parametru je ohodnocen 7 body, nejhorší výsledek je hodnocen 1 bodem. Součet získaných bodů určuje pořadí automobilů.

Tab. 16 Srovnání automobilů

	Pořizovací cena	Produkce emisí	Dojezd	Doplnění paliva	Cena paliva	Infra- struktura	Jízdní dynamika	Σ
Opel Astra LPG	7	3	7	4	4	5	7	37
VW Golf 1.0 TSI	6	2	4	7	2	7	7	35
Škoda Octavia 1.6 TDI	5	1	5	7	3	7	5	33
Škoda Octavia G-TEC	4	4	6	4	5	3	5	31
Toyota Prius	3	5	3	4	6	4	3	28
Nissan Leaf	2	7	1	1	7	2	1	21
Toyota Mirai	1	7	2	5	1	1	2	19

V celkovém hodnocení zvítězil vůz Opel Astra s kombinovaným pohonem na LPG a benzín. Ve srovnání porazil ostatními automobily díky nízkým nákladům na palivo, jízdní dynamice a dlouhému dojezdu.

Na druhém a třetím místě se umístily Volkswagen Golf TSI a Škoda Octavia TDI spalující pouze konvenční fosilní paliva. Bodují hlavně zavedenou infrastrukturou čerpacích stanic a také rychlostí doplnění paliva. Zatímco produkce emisí a cena paliva jim v celkovém hodnocení body ubírá.

Další v pořadí je Škoda Octavia s pohonem na stlačený zemní plyn. K lepšímu umístění ve srovnání jí brání slabé pokrytí plnicích stanic CNG. Počet plnicích stanic se však postupně navyšuje a tím bude docházet ke zlepšení konkurenceschopnosti toho typu pohonu.

Za Škodou Octavia s pohonem CNG se zařadil hybridní vůz Toyota Prius Plug-in hybrid. Ten je v porovnání s předchozími vozy dražší a nevykazuje dobrou jízdní dynamiku. V čem ale vyniká, je ekonomika provozu.

Na posledních dvou místech se srovnatelným počtem bodů se umístil Nissan Leaf a Toyota Mirai. V případě Toyoty je důvodem velmi špatná infrastruktura vodíkových tankovacích stanic spojená s vysokou cenou vlastního plynu. Nissan Leaf ztrácí kvůli rychlosti dobíjení baterií, celkovému dojezdu a také pořizovacím nákladům.

8. SWOT ANALÝZA

Přehledné shrnutí poznatků, které byly získány studiem jednotlivých druhů pohonů, jsou uvedeny ve SWOT analýze (viz tab. 17).

Tab. 17 SWOT analýza pohonů

	Silné stránky	Slabé stránky	Příležitosti	Hrozby
LPG	- jízdní náklady - dojezd	- parkování - fosilní palivo	- spolehlivost	- zdražení LPG
Benzín	- infrastruktura - jízdní dynamika	- vysoké emise - fosilní palivo	- snížení spotřeby - zlevnění paliva	- zdokonalení alt.pohonů - emisní limity
Nafta	- infrastruktura - plnění paliva	- vysoké emise - fosilní palivo	- snížení emisí - zlevnění paliva	- zdokonalení alt. pohonů - emisní limity
CNG	- nízké emise - cena paliva	- infrastruktura	- více čerpacích stanic	- zdražení CNG
Hybrid	- spotřeba paliva - nízké emise	- cena vozidla - jízdní dynam.	- městský provoz	- nakládání s bateriemi - zdražení paliva
Elektrína	- nulové emise - jízdní náklady	- cena vozidla - dobíjecí čas	- vývoj baterií	- nakládání s bateriemi
Vodík	- nulové emise - čistota paliva - dojezd	- cena vozidla - cena paliva	- zlevnění vodíku - více čerpacích stanic	- obavy veřejnosti

9. ZÁVĚR

Není otázkou, jestli přejde automobilová doprava k jiným způsobům pohonu, než jakým je spalování fosilních paliv v motorech s vnitřním spalováním, ale je otázkou, kdy se tak stane. V současné době, kdy kvůli velké síle médií neustále slyšíme o emisních skandálech rozvířených takzvanou kauzou „Diesel Gate“, za níž stojí koncern Volkswagen, se může zdát, že to bude během několika málo let. Není to jen tato kauza, která téma alternativních pohonů, zejména na akumulovanou elektrickou energii, dostává do popředí. Je jím také fenomenální, pro mnohé až nepochopitelný, úspěch automobilky Tesla, která je i přes problémy s dodávkami i kvalitou dle burzy nejhodnotnější automobilkou ve Spojených státech.

Při realistickém pohledu na současnou infrastrukturu, technická omezení elektromobilů, jakými jsou rychlost nabíjení a dojezd, ale i ekonomickou stránku, bude trvat dle mého názoru nejméně dvě dekády, než zastoupení takových automobilů v provozu přesáhne 20%, a to jen v Evropě, Severní Americe a vyspělých částech Asie. Pro dnešního zájemce o nový automobil je stále zkrátka výhodnější volit konvenční spalovací motor, který je např. dovybaven možností spalovat LPG, popř. hybridní vůz kombinující výhody obou systémů.

Podíváme-li se přímo na pohon vodíkovými palivovými články, tak jeho výhody jsou nesporné. Je to rychlost plnění, dlouhý dojezd, malá ekologická zátěž, neboť takové automobily nepotřebují velké akumulátory, či možnost výroby vodíku z obnovitelných zdrojů energie. Současnému rozšíření brání naprosto nedostatečná infrastruktura spojená s vysokou cenou vodíku (v ČR je jediná tankovací stanice v Neratovicích, jejíž tlak ani není schopen naplnit nádrž prvního sériově vyráběného vodíkového automobilu na světě, Toyota Mirai). Pokud však vodík nedosáhne většího rozšíření v osobních automobilech, tak se jistě uplatní v prostředcích hromadné dopravy, nákladních automobilech nebo stavebních a zemědělských strojích, kde jeho silné stránky mohou plně vyniknout.

10. POUŽITÁ LITERATURA

- ADAC e.V. (2012). *Opel Astra 1.4 LPG ecoFlex Innovation Autogasbetrieb*. Načteno z Adac.de:
https://www.adac.de/_ext/itr/tests/Autotest/AT4765_Opel_Astra_1_4_LPG_ecoFlex_Innovation_Autogasbetrieb/Opel_Astra_1_4_LPG_ecoFlex_Innovation_Autogasbetrieb.pdf
- ADAC e.V. (2015). *VW Golf 1.0 TSI BlueMotion*. Načteno z Adac.de:
https://www.adac.de/_ext/itr/tests/Autotest/AT5331_VW_Golf_1_0_TSI_BlueMotion_Comfortline/VW_Golf_1_0_TSI_BlueMotion_Comfortline.pdf
- Baborský, J. (2014). *Test spotřeby: Opel Astra Sports Tourer LPG vs. Škoda Octavia Combi G-Tec*. Načteno z Auto.cz: <http://www.auto.cz/test-spotreby-opel-astra-sports-tourer-lpg-vs-skoda-octavia-combi-g-tec-82546>
- Baracudaj. (2008). *Hybridní automobily 2*. Načteno z Auto.cz:
<http://blog.auto.cz/baracudaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- Budín, J. (2015). *Zpracování ropy – 1. část – základní zpracování ropy*. Načteno z Oenergetice.cz: <http://oenergetice.cz/technologie/ropa-prumysl/zpracovani-ropy-1-cast-zakladni-zpracovani-ropy/>
- Budín, J. (2015). *Zpracování ropy – 2. část – výroba pohonných hmot*. Načteno z Oenergetice.cz: <http://oenergetice.cz/technologie/ropa-prumysl/zpracovani-ropy-2-cast-vyroba-pohonnych-hmot/>
- Energie123. (2017). *Cena 1 kWh a srovnání energií v roce 2017*. Načteno z Energie123.cz:
<http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- Enzler, S. (2017). *Fossil fuels*. Načteno z Lenntech.com:
<http://www.lenntech.com/greenhouse-effect/fossil-fuels.htm>
- Frybert, J. (2015). *Alternativní pohony*. Brno: ISBN 978-80-260-7548-6.
- Fuel Cell Today Limited. (2017). *Fuel cell history*. Načteno z Fuelcelltoday.com:
<http://www.fuelcelltoday.com/history>
- Hofmann, P. a. (2012). *Tomorrow's energy: hydrogen, fuel cells, and the prospects for a cleaner planet. Rev. and expanded ed.* ISBN: 978-0-26-251695-2.
- Horčík, J. (2016). *PRVNÍ DOJMY: vyzkoušeli jsme vodíkové auto Toyota Mirai*. Načteno z Hybrid.cz: <http://www.hybrid.cz/prvni-dojmy-vyzkouseli-jsme-vodikove-auto-toyota-mirai>

- Hromádko, J. (2011). *Speciální spalovací motory*. Praha: ISBN 978-80-213-2168-7.
- International Energy Agency. (2014). *IEA Sankey Diagram*. Načteno z Iea.org:
<http://www.iea.org/Sankey/>
- Kinkor, O. (2005). *Jak ušetřit tisíce? Jezdit na plyn*. Načteno z Idnes.cz:
http://auto.idnes.cz/jak-usetrit-tisice-jezdit-na-plyn-dl0-automoto.aspx?c=A051109_134731_automoto_fdv
- Ližbetin, J. O. (2016). *Dopravní prostředky: vysokoškolská učebnice*. České Budějovice: ISBN 978-80-7468-101-1.
- Mička, J. (2016). *Toyota Prius Prime: Plug-in hybrid s udávanou spotřebou 1,4 l/100 km*. Načteno z Auto.cz: <http://www.auto.cz/toyota-prius-prime-plug-in-hybrid-udavanou-spotrebou-1-4-l-100-km-93936>
- Mička, J. (2017). *Modernizovaný VW Golf má technická data. Jaká je spotřeba litrového TSI? A co dynamika?* Načteno z Auto.cz: <http://www.auto.cz/modernizovany-vw-golf-ma-technicka-data-jaka-je-spotreba-litroveho-tsi-a-co-dynamika-102876>
- NGK Spark Plug Europe. (2017). *EURO standards*. Načteno z Ngk.de:
<https://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/euro-standards/>
- NGK Spark Plug Europe. (2017). *EURO standards*. Načteno z ngk.de:
<https://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/euro-standards/>
- Nissan Motor Co. (2017). *Nissan Leaf elektromobil hatchback*. Načteno z Nissan.cz:
<https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>
- Petroleum.cz. (2017). *Hydrogenační rafinace*. Načteno z Petroleum.cz:
<http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-19.aspx>
- Petroleum.cz. (2017). *Výroba vodíku parním reformováním*. Načteno z Petroleum.cz:
<http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- Pražák, V. (2004). *Motorová paliva - historie a současnost*. Načteno z Ceskarafinerska.cz:
http://www.ceskarafinerska.cz/data/publications/motorova_paliva_historie_soucasnost.pdf
- Prokopec, P. (2016). *Prodeje elektromobilů a hybridů v Evropě rostou, v České republice klesají*. Načteno z Autoforum.cz: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/prodeje-elektromobilu-a-hybridu-v-evrope-rostou-v-ceske-republice-klesaji/>
- Prvky.com. (2016). *Vodík chemický prvek popis a vlastnosti*. Načteno z Prvky.com:
<http://www.prvky.com/1.html>

- Rinkesh. (2009). *Pros and Cons of Fossil Fuels*. Načteno z Conserve-energy-future.com:
<http://www.conserve-energy-future.com/pros-and-cons-of-fossil-fuels.php>
- Sayigh, A. (2012). *Comprehensive Renewable Energy*. ISBN: 978-0-08-087873-7.
- Schauhuberová, M. V. (2014). *LNG vs CNG*. Načteno z Cngplus.cz:
<http://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>
- Svět motorů. (2016). *Test Škoda Octavia - Pokrok na všech na všech frontách?* Načteno z Auto.cz: <http://www.auto.cz/skoda-octavia-i-1-9-tdi-vs-skoda-octavia-iii-1-6-tdi-pokrok-na-vsech-na-vsech-frontach-98655>
- Škoda Auto a.s. (2017). *Škoda Octavia*. Načteno z Skoda-auto.cz: <http://www.skoda-auto.cz/models/octavia/octavia/>
- Štěrbá, P. (2013). *Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel : [příručka majitele vozu]*. Brno: ISBN 978-80-264-0148-3.
- Švidrnoch, R. (2017). *Dobrá alternativa za TDI. Octavia na zemní plyn*. Načteno z Idnes.cz: http://auto.idnes.cz/skoda-octavia-zemni-plyn-g-tec-cng-d11-/auto_testy.aspx?c=A170413_114137_auto_testy_fdv
- The Automobile Association. (2015). *EURO emission standards*. Načteno z Theaa.com: <https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>
- Toyota Motor Sales, U. I. (2017). *2017 Toyota Prius Prime Plug-In Hybrid*. Načteno z Toyota.com: <https://www.toyota.com/priusprime/>
- U.S. Department of Energy. (2001). *Module 3: Hydrogen Use In Internal Combustion Engines*. Načteno z Energy.gov: https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm03r0.pdf
- U.S. Department of Energy. (2017). *Hydrogen production: Electrolysis*. Načteno z Energy.gov: <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
- U.S. Department of Energy. (2017). *Hydrogen storage*. Načteno z Energy.gov: <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- UJEP. (2017). *Výroba a použití vodíku*. Načteno z Chemistry.ujep.cz: http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/VODIK_vyroba_a_pouziti.pdf
- Vlk, F. (2004). *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: ISBN 80-239-1602-5.
- Vokáč, L. (2015). *Vodíková Toyota Mirai míří do prodeje*. Načteno z Idnes.cz: http://auto.idnes.cz/vodikova-toyota-mirai-prvni-dojmy-d5a-/automoto.aspx?c=A150114_172458_automoto_vok

Wichterle, K. (2014). *Technologie a analýza paliv: Studijní opora*. Ostrava: ISBN 978-80-248-3574-7.

World Economic Forum. (2013). *WEF Energy Vision Report*. Načteno z Energy transition: Past and Future:

http://www3.weforum.org/docs/WEF_EN_EnergyVision_Report_2013.pdf

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Světová spotřeba energie.....	10
Obr. 2 Podíl paliv na celkové dopravě v roce 2014.....	11
Obr. 3 Proces zpracování ropy	13
Obr. 4 Schéma hydrogenační rafinace.....	14
Obr. 5 Moderní uložení LPG nádrže ve vozidle (místo rezervního kola)	18
Obr. 6 Automobil s pohonem na CNG	20
Obr. 7 Tahač s pohonem na LNG.....	21
Obr. 8 Plnicí stanice CNG	21
Obr. 9 Zpracování biomasy v Brazílii	23
Obr. 10 Elektromobil Tesla	25
Obr. 11 Paralelní uspořádání hybridního pohonu.....	27
Obr. 12 Sériové uspořádání hybridního pohonu.....	28
Obr. 13 Motor hybridního vozidla Toyota Prius	28
Obr. 14 Graf znázorňující obsah vodíku v jednotlivých typech paliva	30
Obr. 15 Schéma parního reformování zemního plynu;	32
Obr. 16 Princip elektrolýzy vody	33
Obr. 17 Průběh vznícení vodíku (vlevo) a benzínu (vpravo)	34
Obr. 18 Vzducholod' Hindenburg.....	35
Obr. 19 Funkční princip palivového článku	37
Obr. 20 Traktor Allis-Chalmers s palivovými články	37
Obr. 21 Vozidlo K. Kordeshe využívající vodík a palivové články.....	38
Obr. 22 GM Electrovan	38
Obr. 23 Schéma automobilu s palivovým článkem.....	39

12. SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Emisní normy EURO (NGK Spark Plug Europe, 2017).....	16
Tab. 2 Výhody a nevýhody LPG.....	19
Tab. 3 Výhody a nevýhody CNG.....	22
Tab. 4 Výhody a nevýhody biopaliv	24
Tab. 5 Výhody a nevýhody elektromobilů.....	26
Tab. 6 Výhody a nevýhody hybridních pohonů	29
Tab. 7 Chemické vlastnosti vodíku	29
Tab. 8 Výhřevnost a hustota paliv.....	31
Tab. 9 Parametry Toyota Mirai	41
Tab. 10 Parametry Škoda Octavia G-TEC	42
Tab. 11 Parametry Toyota Prius.....	42
Tab. 12 Parametry Nissan Leaf.....	43
Tab. 13 Parametry Volkswagen Golf TSI	44
Tab. 14 Parametry Opel Astra LPG	44
Tab. 15 Parametry Škoda Octavia TDI	45
Tab. 16 Srovnání automobilů	46
Tab. 17 SWOT analýza pohonů	48