



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## MODERNÍ TRENDY V ALTERNATIVNÍCH POHONECH

MODERN TRENDS IN ALTERNATIVE POWERTRAINS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FILIP KŘIVÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student: Filip Křivánek

který studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Moderní trendy v alternativních pohonech**

v anglickém jazyce:

### **Modern Trends in Alternative Powertrains**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Osvojení základních pojmů zadaného tématu. Zamyšlení nad budoucností alternativních pohonů.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Uvedení přehledu specifických vlastností a zvláštností alternativních pohonů. Zhodnocení výhod a nevýhod.

## Seznam odborné literatury

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] VLK, František. Koncepce motorových vozidel: Koncepce vozidel. Alternativní pohony. Komfortní systémy. Řízení dynamiky. Informační systémy. 1. vyd. Brno: VLK, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
- [3] GUPTA, Ram B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. Boca Raton: CRC Press, 2009. 611 s. ISBN 978-142-0045-758.
- [4] Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. dr. h. c.

Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

V této bakalářské práci je vypracován přehled moderních alternativních pohonů pro osobní automobily. Pozornost je věnována snaze o menší dopad pro naše životní prostředí. Největší část práce je tvořena hlavními výhodami a nevýhodami pohonných jednotek na alternativní paliva, jejich specifických vlastností, využití a uspořádání v osobním automobilu. Dále je zde nastíněná problematika alternativních pohonů pro naši budoucnost.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Alternativní pohon, hybridní pohon, elektromobil, LPG, CNG, LNG, vodík, biopaliva

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with an overview of modern alternative powertrains for cars. The thesis is focused on the effort to lessen the negative impact on our environment. The main part of the thesis includes key advantages and disadvantages of drive units using alternative fuels, their specific properties, utilization and arrangement in cars. The work also describes in outline further alternatives of powertrains for the future.

## **KEYWORDS**

Alternative fuel, hybrid drive, electromotive, LPG, CNG, LNG, hydrogen, biofuel



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KŘIVÁNEK. F. *Moderní trendy v alternativních pohonech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 13. května 2013

.....

Filip Křivánek



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat svým rodičům za to, že mi umožnili studovat vysokou školu. Panu Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za podporu a pomoc při vypracování mé závěrečné bakalářské práce. Za rady jak postupovat, za tipy kde, co a jakým způsobem vylepšit.



# Obsah

Úvod.....	10
<b>1. LPG – propan-butan.....</b>	<b>12</b>
1.1. Charakteristika LPG.....	12
1.1.1 Chemické vlastnosti.....	12
1.1.2 Provozní charakteristika .....	13
1.2 Přestavba a zapojení.....	13
1.3 Komponenty a jejich funkce .....	16
1.4 Označení na vozidle .....	19
1.5 Výhody a nevýhody .....	20
<b>2 CNG/LNG – zemní plyn .....</b>	<b>21</b>
2.1 Charakteristika CNG/LNG .....	21
2.1.1 Chemické vlastnosti.....	21
2.1.2 Provozní charakteristika .....	21
2.2 Přestavba a zapojení.....	22
2.3 Komponenty a jejich funkce .....	23
2.4 Označení na vozidle .....	24
2.5 Výhody a nevýhody .....	24
<b>3 Spalovací motory na biopaliva.....</b>	<b>26</b>
3.1 Bionafta.....	26
3.1.1 První generace .....	26
3.1.2 Druhé generace .....	26
3.1.3 Výhody a nevýhody.....	26
3.2 Bioetanol .....	27
3.2.1 Výhody a nevýhody.....	28
<b>4 Vodíkový pohon ve spalovacích motorech.....</b>	<b>29</b>
4.1 Vlastnosti vodíku .....	29
4.1.1 Fyzikální vlastnosti.....	29
4.1.1 Chemické a palivové vlastnosti .....	29





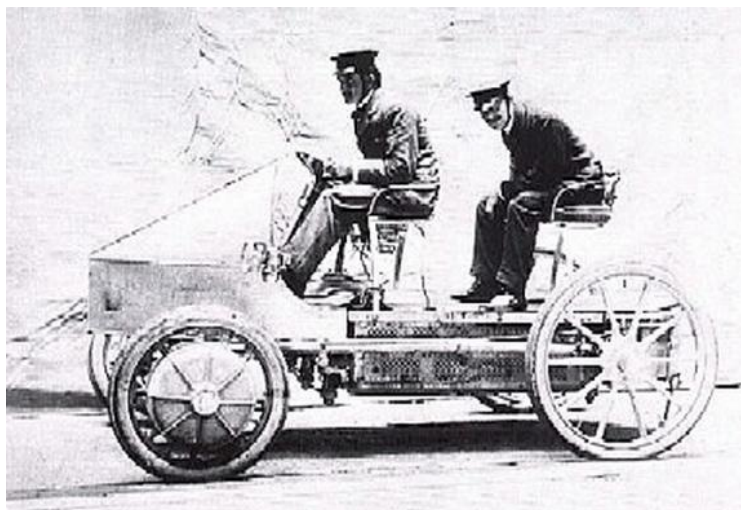
4.2	Výroba a uskladnění.....	30
4.3	Funkce ve spalovacích motorech .....	31
4.4	Výhody a nevýhody .....	32
<b>5</b>	<b>Elektrická vozidla na baterie .....</b>	<b>33</b>
5.1	Princip činnosti a uspořádání ve vozidle.....	33
5.2	Druhy elektromotorů.....	34
5.2.1	Stejnoseměrný motor s cizím buzením .....	34
5.2.2	Stejnoseměrný motor bez kartáčů .....	34
5.2.3	Asynchronní motor .....	35
5.2.4	Transversální motor .....	35
5.2.5	Řízený reluktanční motor .....	35
5.3	Druhy akumulátorů .....	35
5.3.1	Olověný akumulátor Pb .....	36
5.3.2	Baterie nikl-kadmium NiCd .....	36
5.3.3	Baterie nikl-metalhydridová Ni-MH .....	37
5.3.4	Baterie lithium-iontová Li-Ion.....	37
5.3.5	Baterie lithium-polymerová LiFePO <sub>4</sub> .....	37
5.3.6	Baterie vysokoteplotní .....	38
5.4	Výhody a nevýhody .....	38
<b>6</b>	<b>Elektrická vozidla na palivové články.....</b>	<b>40</b>
6.1	Uspořádání ve vozidle.....	40
6.2	Princip činnosti palivového článku .....	40
6.3	Druhy palivových článků .....	41
6.3.1	Články s alkalickým elektrolytem (AFC).....	41
6.3.2	Články s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC).....	41
6.3.3	Článek pro přímou reakci s metanolem (DMFC).....	42
6.3.4	Články s kyselinou fosforečnou (PAFC).....	42
6.3.5	Články s uhličitánovou taveninou (MCFC).....	42
6.3.6	Články s pevným elektrolytem (SOFC) .....	42
6.4	Reformace paliva .....	43
6.5	Výhody a nevýhody .....	43



<b>7</b>	<b>Hybridní pohony</b> .....	44
	7.1 Princip činnosti a uspořádání ve vozidle.....	44
	7.1.1 Sériové uspořádání .....	44
	7.1.2 Paralelní uspořádání .....	44
	7.1.3 Smíšené uspořádání .....	45
	7.2 Stupeň hybridizace .....	46
	7.2.1 Mikro-hybrid (Mild-hybrid) .....	46
	7.2.2 Full-hybrid .....	46
	7.2.3 Plug-in hybrid .....	46
	7.2.4 Power assist hybrid (medium-hybrid).....	46
	7.3 Zásobníky energie .....	47
	7.3.1 Akumulátor a vysokoenergetický kondenzátor (super-kondenzátor).....	47
	7.3.2 Mechanický akumulátor energie (setrvačnick) .....	47
	7.4 Výhody a nevýhody .....	48
	<b>Závěr</b> .....	49
	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	51
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	54
	<b>Seznam příloh</b> .....	55

## Úvod

Pohon automobilů na alternativní paliva vznikl už koncem 19. století. Jejím prvním zakladatelem byl Lohner-Porsche (1899), který jako první sestrojil vůz složený z více pohonů. Spalovací motor poháněl generátor vyrábějící elektrickou energii pro elektromotory umístěné v předních nábojích poháněné nápravy. Později vyrobil i verzi s pohonem 4x4 se čtyřmi elektromotory. [4]

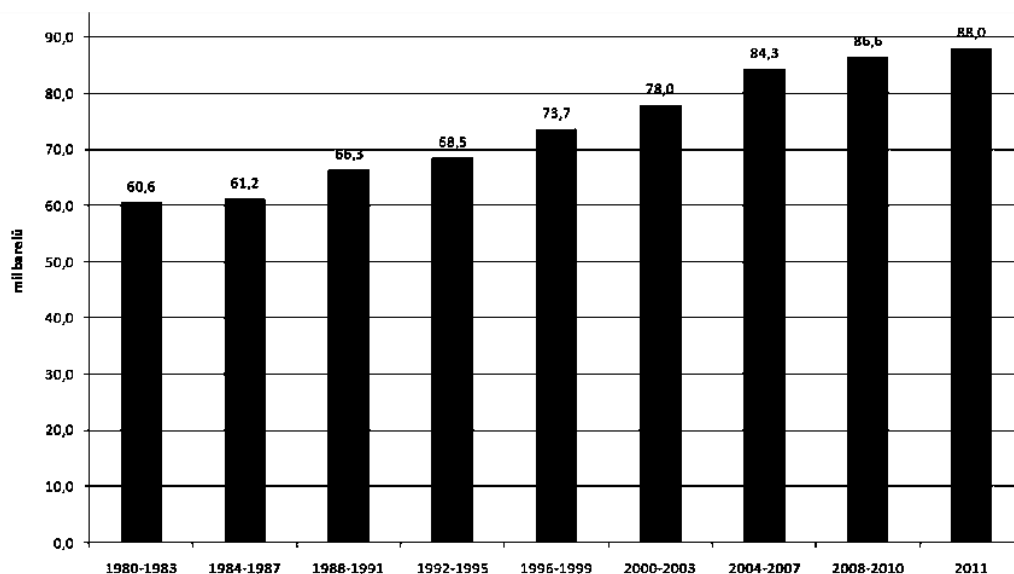


*Obr. 1: První hybridní automobil 1899 [20]*

Tento a další pokusy o nalezení alternativních pohonů pro osobní automobily ovšem neměly stejný důvod, jako je tomu dnes. Na začátku minulého století, se vynálezci snažili zjistit, jaké jsou možnosti pohonů automobilů z pohledu největší účinnosti. Elektrický pohon měl velkou účinnost. Údajně byla okolo 80 %. Ale jelikož spalovací vznětový motor byl levnější na provoz i výrobu, tak se od elektrického pohonu upustilo.

Už od posledního desetiletí 20. století se snaží velká část automobilek vymyslet způsob a zdokonalení více druhů alternativních zdrojů pro pohon nejen osobních automobilů. Největším důvodem, proč se o to snaží, je stále rostoucí znečištění životního prostředí a úbytek zdrojů ropy v závislosti na její rostoucí spotřebě. I když se nacházejí stále nová ropná naleziště, tak odborníci odhadují, že na začátku 22. století ropa začne docházet. Se stále rostoucí cenou benzínu a nafty se snaží výrobci vyrábět motory s co nejmenší spotřebou.

Přes stále se zpřísnující legislativní emisní předpisy (EURO) je roční nárůst produkovaných vozidel takový, že celková suma emisí v ovzduší se stále více zvětšuje. Automobily spalující naftu nebo benzín vypouští do ovzduší také oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), který ve velkém množství způsobuje skleníkový efekt naší planety a její globální oteplování.



Graf.1: Vývoj spotřeby ropy ve světě (mil. barelů/den) [21]

Tab. 1: Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO: **BENZÍNOVÉ MOTORY**, **NAFTOVÉ MOTORY** [22]

Rok/EURO		CO (g. km <sup>-1</sup> )		NOX (g. km <sup>-1</sup> )		HC + NOX (g. km <sup>-1</sup> )		HC (g. km <sup>-1</sup> )	PČ (g. km <sup>-1</sup> )
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70	-	0,08
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

V několika dalších desetiletích se předpokládá, že se EURO normy budou stále více zpříšňovat, až nastane doba, kdy budou lidé více nuceni (například cenou paliva nebo poplatky za znečišťování životního prostředí) k využívání alternativních pohonů osobních automobilů, které by měly mít nulové emise. Takže by byly mnohem šetrnější k životnímu prostředí.

# 1. LPG – propan-butan

## 1.1. Charakteristika LPG

### 1.1.1 Chemické vlastnosti

LPG (Liquefied Petroleum Gas) je zkapalněný ropný plyn, který je složen směsí propanu a butanu. Vzniká jako vedlejší složka při těžbě zemního plynu a ropy nebo v rafineriích při zpracování ropy. Tato směs je za normálních podmínek v plynném stavu. Ale stačí pouze malý tlak, díky kterému tyto dva plyny můžeme zkapalnit. Zkapalněním plynu získáme zmenšení objemu v poměru cca 250:1. Směs propan-butanu je bez barvy a zápachu. Typický zápach LPG vytváří přidaná látka s výraznou vůní. Ta se tam přidává proto, abychom zaregistrovali únik tohoto plynu. LPG sice není jedovatý plyn, ale je nedýchateľný s toxickými a narkotickými účinky. V kapalném skupenství je lehčí než voda a v plynném skupenství je těžší než vzduch. Proto se plyn dostává do různých podzemních prostor, které vyplňuje a tím vytváří nebezpečí nadýchání nebo vznícení.



Obr. 1-1 - Chemické složení propanu a butanu [23]

Tab. 1-1 – Vlastnosti LPG v porovnání s automobilovým benzínem Natural BA95N [1 – str. 22]

Palivo	Antidetonační odolnost – oktánové číslo OČ motorová / výzkumná metoda	Hustota $\rho_{\text{pal}}$ kapalina/plyn [kg. m <sup>3</sup> ]	Výhřevnost Hu [MJ. kg <sup>-1</sup> ]	Podmínky skladování- 10°C [bar]	Podmínky skladování 30°C [bar]
BA 95 N	85 / 95	cca 760	43,50	1,00	
Propan	97 / 111	510 1,96	46,30	3,50	11,00
i-butan	99				
n-butan	92 / 96	580 2,59	47,70	0,75	3,0
LPG (P/B=60/40)	95 / 105	540 2,21	46,06	2,50	8,3



### 1.1.2 Provozní charakteristika

Plynový pohon LPG není problém namontovat už do kteréhokoliv zážehového automobilu 21. století. LPG lze montovat také do vznětových motorů, ale tento systém se moc pro osobní automobily nevyužívá z důvodu dlouhé návratnosti a složité konstrukce. Více se plynový pohon pro vznětové motory využívá u nákladních automobilů, kde je úspora větší. Je také stále více rozšířena možnost koupení nového automobilu s pohonem na LPG přímo od výrobce.

Systém provozu automobilu na plynový pohon není složitý na ovladatelnost. Řidič vozidla se nemusí vůbec starat o to, na jaký pohon jede. Při startu motoru u moderních sekvenčních systémů je motor v provozu pouze na benzín. Při dosažení teploty cca 30-50°C a zvýšení otáček nad cca 1200 ot/min se automaticky přepne pohon z benzínového na plynový. Jakmile naopak dojde plyn, tak se automaticky přepne vstřikování na benzínové. Stav paliva je umožněno řidiči pozorovat na ukazateli stavu LPG. Tankování probíhá standardně na čerpacích stanicích, které umožňují tankování LPG. Řidič si ovšem sám nesmí tankovat LPG do svého automobilu.

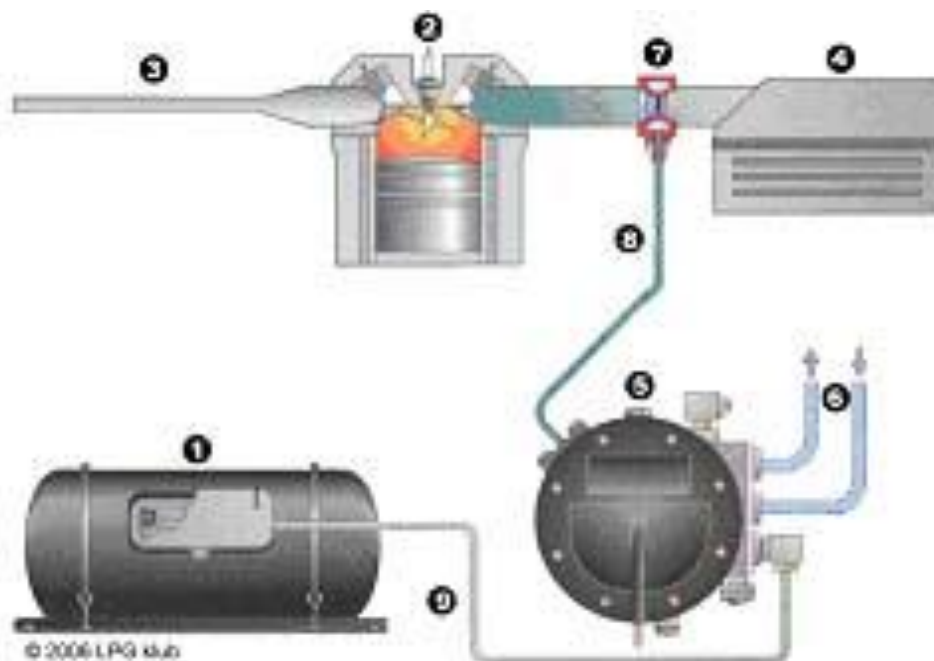
Jízdní vlastnosti automobilu se změní pouze nepatrně. Na první pohled to běžný řidič nepozná. Váha vozu trochu vzroste, takže rychlost a zrychlení jsou trochu menší. Naopak plynový pohon lépe táhne v nižších otáčkách. Jelikož LPG pohon má svoji vlastní nádrž, tak se dojezd automobilu skoro zdvojnásobí.

## 1.2 Přestavba a zapojení

V dnešní době se využívá více druhů LPG zařízení do osobních automobilů. Záleží především na způsobu vstřikování paliva a principu funkce celého motorového systému. Dělí se na podtlakové (elektronické) a sekvenční vstřikování.

Podtlakové vstřikování (viz. obr. 1-2) se využívá u starších vozidel a LPG je přivedeno do sání motoru, kde se smíchá se vzduchem. Je to jednoduché zapojení, ale způsobuje větší spotřebu paliva a snížení výkonu motoru.

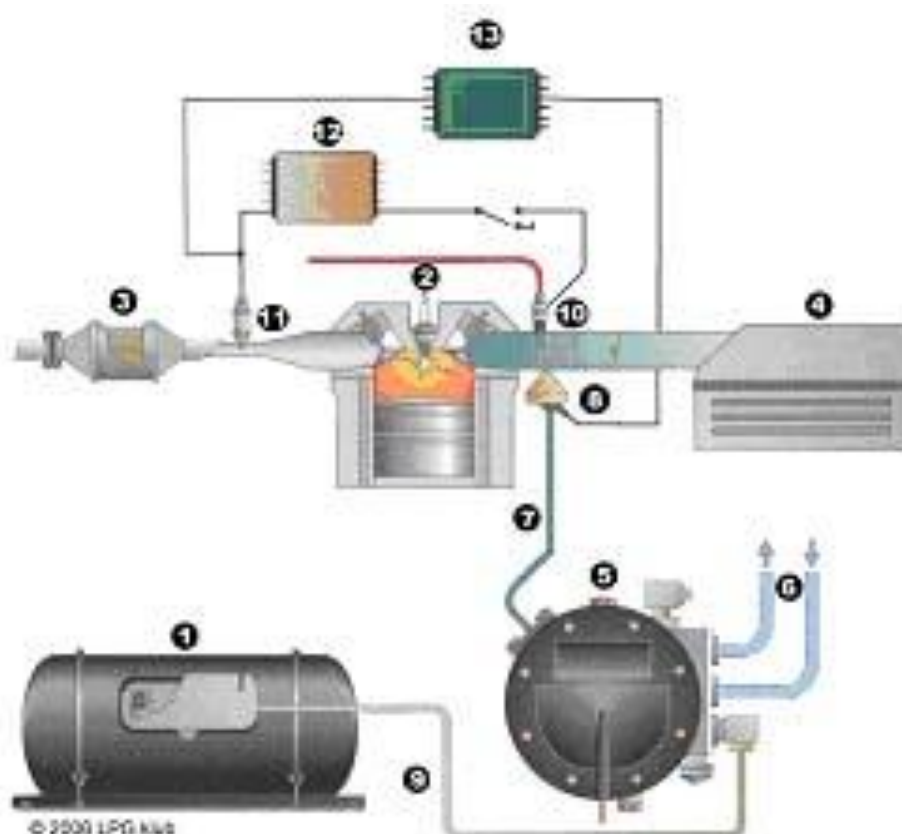
### Karburátorová vozidla a LPG



Obr.1-2 - Karburátorová auta (např. Škoda 120, Škoda Favorit) [24]: 1. tlaková nádrž, 2. spalovací prostor, 3. výfukové potrubí, 4. filtr nasávaného vzduchu, 5. regulátor tlaku, 6. horkovodní okruh, 7. směšovač – mixér, 8. hadice LPG, 9. CU potrubí

### Vozidla s jedno a vícebodovým vstřikováním LPG

LPG se u tohoto systému (stejně jako u karburátorového vozidla) dostává do motoru přes směšovač. Rozdíl mezi těmito systémy je v tom, že na odpařovacím reduktoru je umístěn elektronický ventil, který uzavírá průtok plynu LPG, pokud je v provozu motor na benzín. Je zde také zabudován elektromotorek, který dávkuje množství potřebného plynu v závislosti na signálu z lambda sondy. Startování probíhá vždy na benzín. U vícebodových vstřikovacích systémů je navíc ještě elektronika, která zabezpečuje odpojení vstřikovačů benzínu. Vyšle signál do řídicí jednotky, že jsou vstřikovače v pořádku.

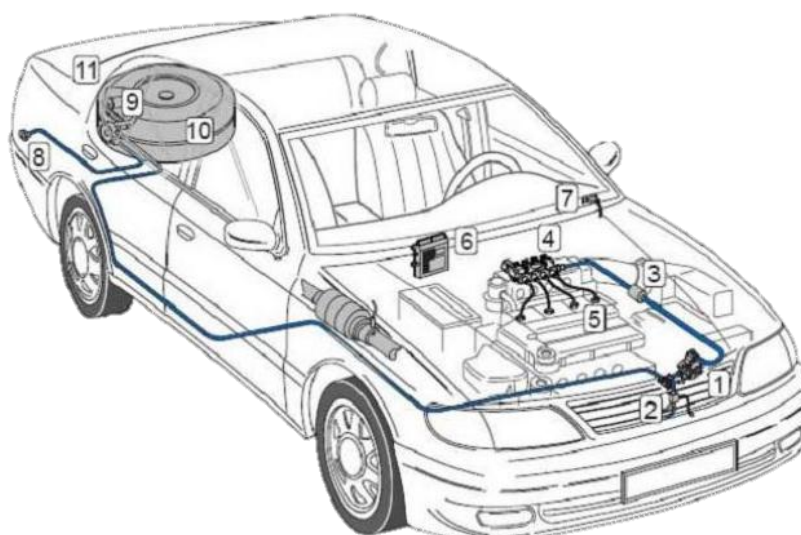


Obr 1-3 – auta se vstřikováním plynného paliva - paralelní systém [24]: 1. tlaková nádrž, 2. spalovací prostor, 3. katalyzátor, 4. filtr nasávaného vzduchu, 5. regulátor tlaku, 6. horkovodní okruh, 7. hadice LPG, 8. vstřikovač LPG, 9. CU potrubí, 10. benzínový vstřikovač, 11. lambda sonda, 12. benzínová řídicí jednotka, 13. plynová řídicí jednotka

### Vozidla se sekvenčním vstřikováním LPG

Sekvenční vstřikování (viz. obr. 1-4) má výhodu oproti elektronickému, že je vstřikování LPG řízeno pro každý válec vlastním vstřikovačem pomocí vstřikovací lišty. Vstřikování je přesné na časování motoru. Z toho plyne, že je menší spotřeba (asi o 10-15 % oproti karburátorovému vstřikování) a větší účinnost motoru (ztráta výkonu jen do 10 %). Tento systém vstřikování LPG se využívá v automobilech, které splňují emisní normu Euro 3,4,5. Systém je velmi podobný systému s benzínovým vstřikováním. K benzínovým vstřikovačům se pouze zabudují plynové vstřikovače. [5]



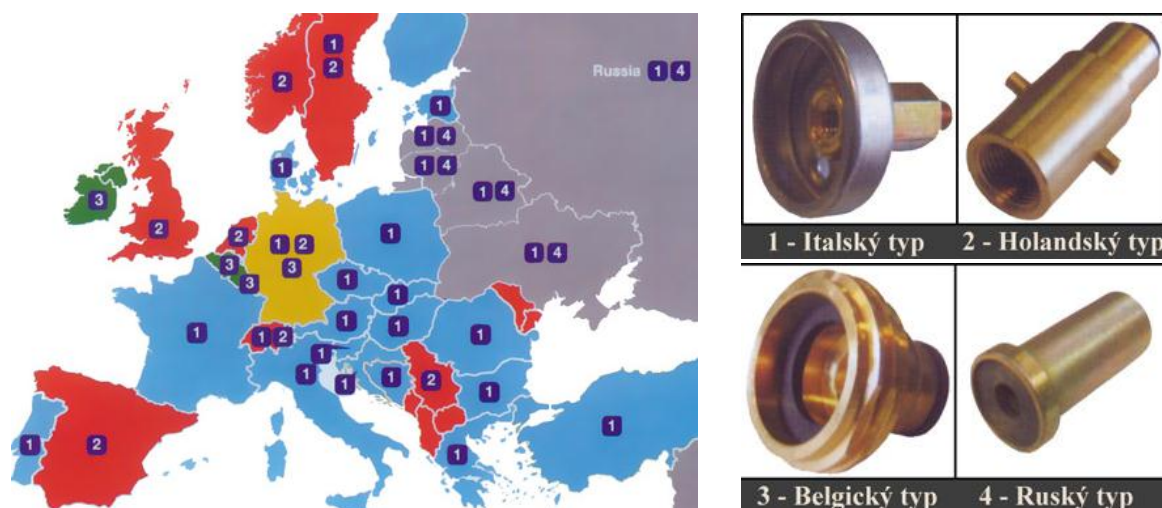


Obr 1-4 – Nový systém sekvenčního vstřikování Opel [25]: 1. Tlakový regulátor/výparník, 2. Snímač teploty chladicí kapaliny, 3. Plynový filtr, 4. Vstřikovací potrubí plynu, 5. Trysky, 6. Řídící jednotka OMEGAS, 7. Přepínač LPG/benzín, 8. Tankovací ventil, 9. Multi-ventil nádrže, 10. Nádrž

### 1.3 Komponenty a jejich funkce

#### 1. Redukce plnění

Plnění bývá skoro ve všech případech na pravé straně vozidla. Ve většině Evropy se používá redukce italského typu č. 1. Ale v některých státech je potřeba, abychom my nebo čerpací stanice byly touto redukcí, která slouží k natankování, vybaveny.



Obr 1-5 – Typy redukcí a mapa použití redukcí v Evropě [26]

## 2. Tlaková nádrž

Nádrž na LPG je umístěna v zadní části automobilu. Je vyrobena z oceli o síle plechu 3mm. Může být tvaru toroidního (viz. obr. 1-6) o objemu 22-70 litrů, kdy je nádrž umístěna místo rezervy v kufru vozidla nebo na spodku vozidla také v místě rezervy. Může být také tvaru válcového (viz. obr. 1-7) o objemu 10-230 litrů. Nádrž se nesmí vyskytovat v přímé deformační zóně vozidla.



*Obr. 1-6 – Toroidní nádrž na LPG venkovní a vnitřní [27]*



*Obr. 1-7 – Válcová nádrž na LPG [27]*



*Obr. 1-8 – Multiventil Lada Niva 1,6i [28 ]*

## 3. Multiventil nádrže

Je spojen s nádrží. Součástmi jsou stavoznak (tlakoměr), který ukazuje stav paliva v nádrži a plynotěsná schránka, která zajišťuje hermetické oddělení multiventilu a jeho přípojovacích prvků od kabiny karoserie. Zajišťuje zabránění naplnění nádrže nad 80 % - zbytek je bezpečnostní zóna. Také má za úkol zastavit tok paliva, pokud dojde k nějaké poruše a začne unikat LPG (6 litrů za minutu) a vypuštění paliva, pokud dojde k vyššímu tlaku než 2,5 MPa. [1]

#### 4. Výparník - reduktor

Slouží k regulaci tlaku při přeměně kapalné fáze LPG na plynnou. Je vyhříván chladicí kapalinou, aby byla zachována stálá teplota plynu, která se při zplynění zmenší oproti kapalné fázi. Z výparníku dále pokračuje plynné LPG do regulačního šroubu a směšovače. [1]

#### 5. Směšovač

Je součástí sacího potrubí motoru a zajišťuje nejlepší možné promíchání plynu se vzduchem. Plyn je do směšovače dodán pomocí regulačního šroubu, který nám umožní přísun nejvyššího množství plynu při plném výkonu motoru. [1]

#### 6. Přepínač LPG/benzín

Je umístěn uvnitř auta a slouží řidiči k informaci ohledně stavu paliva v nádrži LPG a také umožňuje zvolit druh pohonu motoru a informaci na jaký druh paliva momentálně jede.



*Obr. 1-9 – Přepínací modul  
Opel Vectra 2.2 [29]*



*Obr. 1-10 – filtr plynné fáze a  
vstřikovač LPG [30]*



#### 7. Vstřikovač LPG

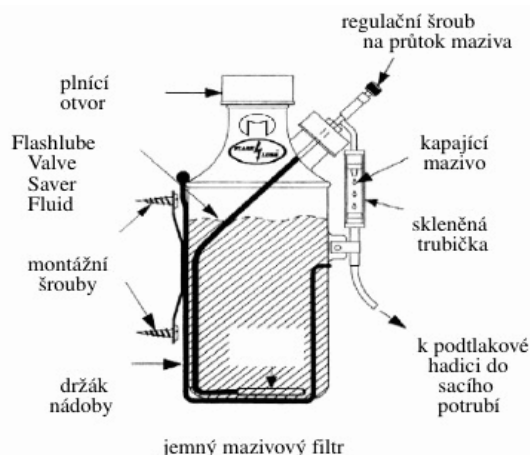
Za reduktorem a před vstřikovačem se nachází filtr plynu, který filtruje LPG v plynné fázi. Jakmile se dostane plyn ke vstřikovači LPG, je za velmi krátkou dobu (skoro stejně rychle jako u benzínového vstřikovače) dopraven do určitého válce motoru (každý válec má svůj vstřikovač).

## 8. Řídící jednotka LPG

Je to jedna z nejdůležitějších částí celého systému. Shromažďuje údaje ohledně sání, teploty a tlaku plynu, signálů z lambda sondy, požadovaného výkonu, podle kterého určuje množství a dobu vstřiku LPG do válce. Řídící jednotka je naprogramovatelná a lze ji přemístit z vozu do jiného vozu.



Obr. 1-11 – Řídící jednotka LPG [30]



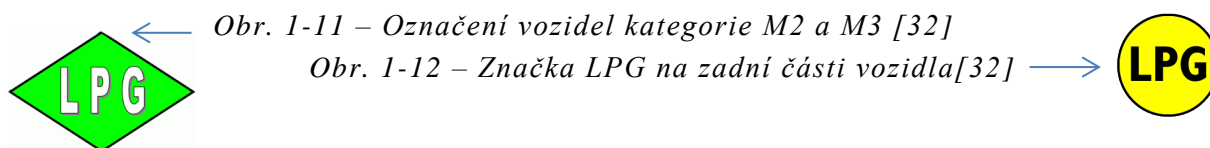
Obr. 1-12 – Souprava JLM Valve Saver Kit pro ochranu ventilů [31]

## 9. Flash lube – systém ochrany ventilů a ventilovým sedel

Tento systém se do automobilů s pohonem LPG montuje z důvodu jiného chování a jiného složení LPG při spalování. LPG se ve válci spaluje při větších teplotách a nemá žádné mazací schopnosti. Obsahuje složky, které nahrazují olovo bezolovnatým mazivem a tím sníží i vyšší teplotu. Zabrání se tak drahé opravě hlavy motoru a ventilů – zvýšená životnost motoru. Odstraňuje karbonové usazeniny a spaliny z válce. Náklady na provoz tohoto zařízení jsou minimální. Dávkování se reguluje dle výkonu motoru. Pro slabší motory (do 80 kW) do 10 kapek za minutu a pro silnější až 15 kapek za minutu. Takže 11 – cca 680 Kč aditiv vystačí na 800-1000 litrů paliva.

## 1.4 Označení na vozidle

Automobil na LPG pohon musí být dle zákona viditelně označen na zadním okně (nebo dveřích) patřičnými symboly (viz. obr. 1-11 a 1-12). Někdy bývá nápis LPG také nad plnicím otvorem.



Obr. 1-11 – Označení vozidel kategorie M2 a M3 [32]

Obr. 1-12 – Značka LPG na zadní části vozidla [32]



## 1.5 Výhody a nevýhody

### Výhody:

- Jeden z hlavních důvodů proč si lidé pořizují do svých automobilů systém LPG je finanční úspora. Pořizovací cena tohoto systému je v rozmezí 10 000 – 40 000 Kč pro osobní automobily dle druhu a kvality systému. Tato počáteční investice se ale rychle navrátí. Automobil má nižší náklady na provoz až o cca 40 % (při dnešní ceně LPG okolo 18-19 Kč). Ale naopak musí absolvovat každoroční revize cca 600 Kč, doplňovat aditiva do přimazávání ventilů a musí jednou za 10 let vyměnit plynovou nádrž. Provozovatel - podnikatel nemusí platit silniční daň.
- Měli bychom se dívat také na ekologickou stránku LPG. I když tento systém neřeší úplnou problematiku pohonu alternativními palivy. CO je téměř nulové, CO<sub>2</sub> se zmenší mnohdy až na pětinu toho, co by spálil benzín. NO<sub>x</sub> produkuje až 20 krát méně než je tomu u dieselových automobilů. Katalyzátor není tolik zatížen a vydrží déle.
- Mnozí lidé nevěří bezpečnosti propan-butanu. Systémy mají dlouholeté prověření a např. nádrž pro LPG je vyrobena tak, aby vydržela nárazům a požáru pod automobilem. Tudíž je mnohem bezpečnější než mnohdy plastové nádrže na benzín.
- Chod motoru při spalování propan-butanu je klidnější, tišší a způsobuje menší opotřebení, protože při spalování nevznikají žádné karbonové usazeniny. Olejová nádrž není tolik znehodnocená. Ale dobu na výměny oleje, jak uvádí některé servisy (prodloužení na dvojnásob), bych určitě neprodlužoval.
- Vozidlo s LPG pohonem má větší dojezd, protože automobil obsahuje dvě nádrže.
- LPG se nemusí žádným způsobem vyrábět. Je vedlejším produktem při rafinaci ropy a těžbě zemního plynu.
- Je nejvíce rozšířeným alternativním pohonem. Důvodem je také velice dobrá síť čerpacích stanic (více jak 18000), velké množství autorizovaných i neautorizovaných servisů, které tento systém během pár dní namontují na skoro každé auto.

### Nevýhody:

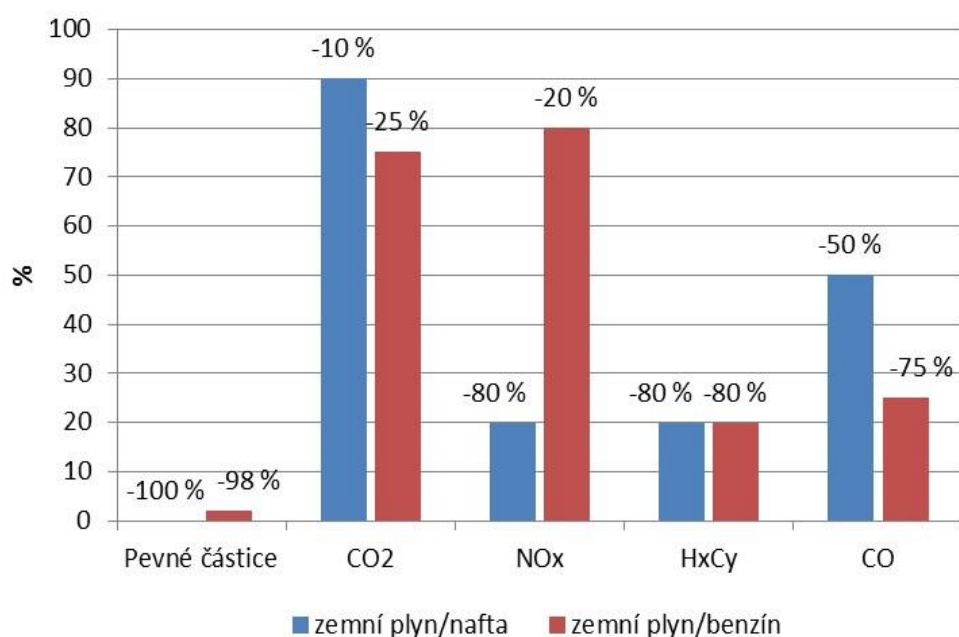
- Zmenšení zavazadlového prostoru (pokud není nádrž pod podlahou).
- Zákaz vjezdu vozidel do starších podzemních garáží nebo garáží, které nejsou vybavené odvětráváním. Plyn je totiž těžší než vzduch a ukládá se v místech pod zemí.
- Zvětšení hmotnosti vozidla, což má za následek nepatrné snížení výkonu a zvětšení spotřeby o 15-30 %.

## 2 CNG/LNG – zemní plyn

### 2.1 Charakteristika CNG/LNG

#### 2.1.1 Chemické vlastnosti

Zemní plyn – CNG/LNG je bezbarvý, sám o sobě nezapáchající, hořlavý plyn. Může se vyskytovat ve dvou formách. CNG (Compressed Natural Gas), což je stlačený zemní plyn při tlaku 200 barů a LNG (Liquefied Natural Gas), zkapalněný zemní plyn při teplotě  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , čímž se objem zmenší asi šestkrát. Skládá se převážně z methanu (více jak 85 %) a vyšších uhlovodíků s malou příměsí inertních plynů. Zemní plyn je nejedovatý, nedýchateľný a lehčí než vzduch. [6]



Graf. 2-1 –Potenciál snížení emisí jednotlivých škodlivin při používání CNG ve srovnání s benzínem a naftou (%) [33]

#### 2.1.2 Provozní charakteristika

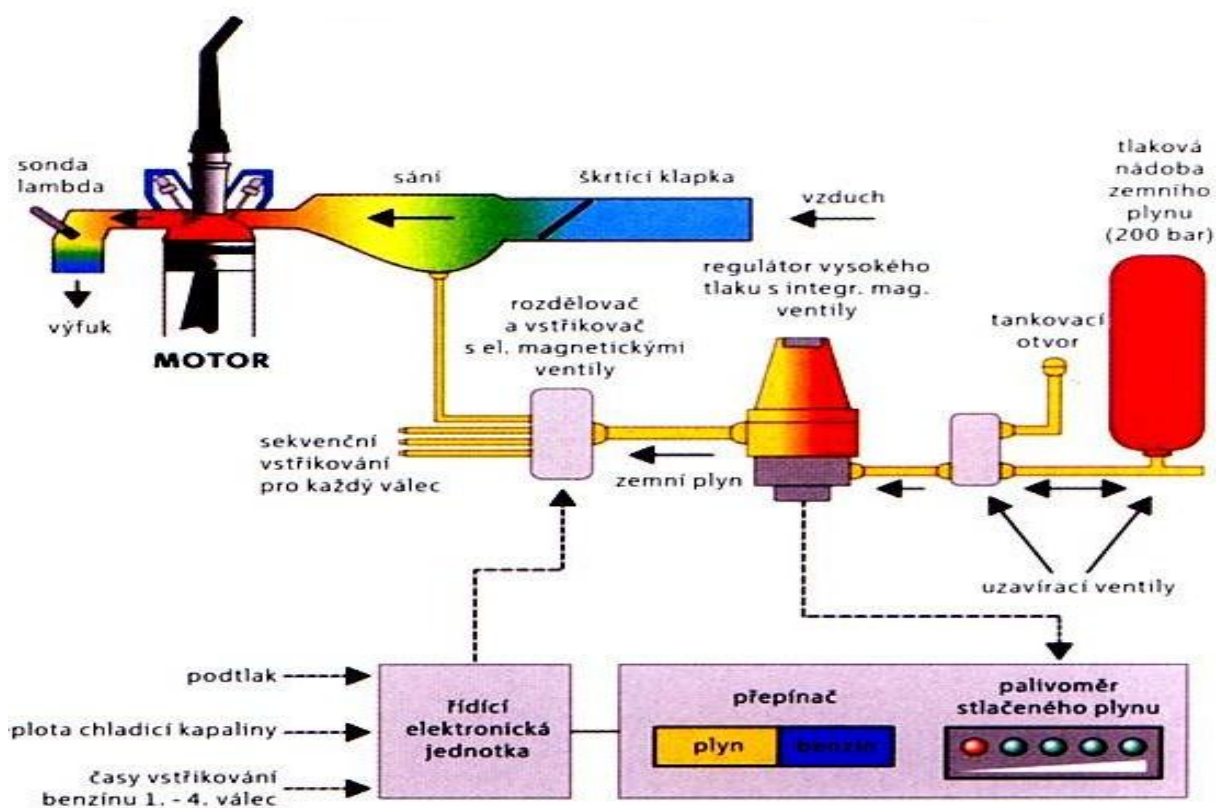
Pokud provozovatel uvažuje o alternativním palivu CNG, tak nejlepší varianta je zakoupení vozidla s přímo postaveným a zabudovaným systémem CNG. Má větší účinnost než dodělaný pohon. Plynný zemní plyn je stlačen tlakem 20 a více MPa do jedné nebo více nádrží s ventilem proti přetlakování. Je možné mít vozidlo i s pohonem na LNG, což je kapalný zemní plyn, ale tento systém je však kvůli velmi nízké teplotě složitý na tankování a konstrukční uspořádání.



Je možné si také do svého automobilu nechat tento systém CNG specializovanou firmou namontovat. Buď se přidá další nádrž na CNG do kufru auta (dvoupalivový systém) nebo se nahradí benzínová nádrž, čímž vznikne jednopalivový systém. Další změnou je jiné vstřikování. Celková cena pro zážehové motory se pohybuje dle výrobce okolo 45 000 - 80 000Kč. Pro vznětové motory se tento systém nevyužívá, protože na to motor není stavěný a musel by se celý předělat. To je velice nákladné a nevyplatí se to.

## 2.2 Přestavba a zapojení

Systém CNG je velmi podobný systému LPG. Lze jej namontovat na karburátorový systém, ale také na systém s přímým vstřikem paliva. CNG se spouští hned při startu motoru, protože má lepší charakteristiku než benzín. Vyšší oxidační číslo a lepší vlastnosti v zimním mrazivém počasí.



Obr. 2-1 – Schéma provozu motoru na zemní plyn (CNG) [34]

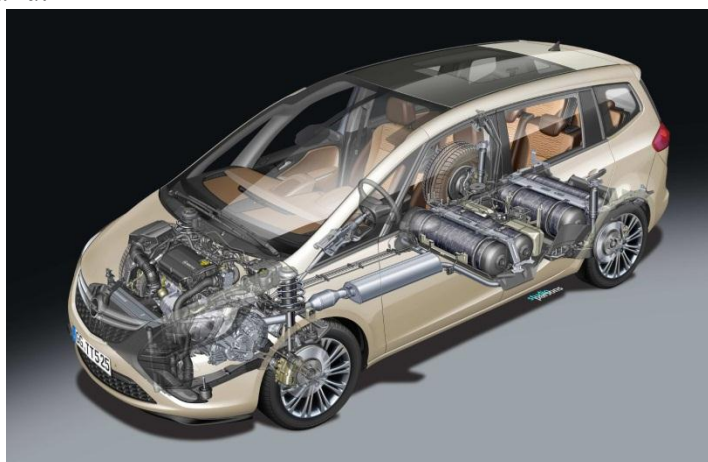
## 2.3 Komponenty a jejich funkce

### 1. Tlaková nádoba

Používají se silnostěnné tlakové nádoby pojištěné na více jak dvojnásobný tlak. Jsou vyrobené z oceli, hliníku nebo kompozitních materiálů. Převážně se používají ocelové, protože jsou levné. Stále více se ale objevují kompozitní nádrže, protože jejich hmotnost oproti ocelovým je třetinová. Nádrže se umísťují většinou u sériově vyráběných automobilů s CNG pod podlahu vozidla (viz. obr. 2-3). V automobilech s dodatečně přimontovaným pohonem na CNG se nádrž umísťuje do kufru auta. Nízkopodlažní autobusy mají kompozitní nádrže na střeše. Opět platí stejně jako u LPG nádrží, že jsou mnohem bezpečnější než tenkostěnné nádrže (mnohdy z plastu) na benzín nebo naftu. Nádrže na CNG jsou přísně testovány proti žáru, nárazu a zvýšení tlaku.



Obr 2-2 – Zkouška tlakové nádrže proti požáru [35]



Obr. 2-3 - Opel Zafira Tourer CNG [36]

### 2. Přetlakový ventil a přetlakové zařízení iniciované teplotou a tlakem

Tento ventil můžeme nazvat také odpouštěcí ventil, který zabraňuje překročení předem stanoveného nastaveného tlaku. Tím přetlakové zařízení zamezuje roztržení tlakové láhve.

### 3. Nastavovač průtoku paliva

Je umístěn za regulátorem tlaku a jeho úkolem je regulovat průtok plynu do motoru.

### 4. Rozdělovač – směšovač

Je to buď karburátor, nebo vstřikovač paliva. Slouží k zavedení plynného paliva do sacího potrubí nebo rozděluje plynné palivo k vstřikovačům pro každý válec.



#### 5. Elektronická řídicí jednotka

Řídí požadavky motoru na odběr plynu (dávkování) a ostatní parametry motoru (zatížení, stabilizace volnoběžných otáček, obohacení při zrychlení, snímá teplotu reduktoru). Pokud to vyžadují bezpečnostní důvody, iniciuje uzavření automatického ventilu. [7]

#### 6. Přepínač s palivoměrem

Ukazatel paliva s funkcí přepnutí plyn/benzín je stejný jako u LPG (viz. kap. 1.3 – 6.)

## 2.4 Označení na vozidle

Automobil na CNG pohon musí být dle zákona viditelně označen na zadním okně (nebo dveřích) patřičnými symboly (viz. obr. 1-11 a 1-12).



Obr. 2-4 – Označení vozidel kategorie M2 a M3 [32]



Obr. 2-5 – Značka CNG na zadní části vozidla [32]

## 2.5 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Zemní plyn oproti LPG nevychází z rafinací ropy, ale má svá vlastní naleziště.
- Stejně jako LPG se ani u CNG neplatí spotřební daň. Cena CNG se pohybuje okolo 25 Kč. kg<sup>-1</sup> což je stejné jako asi 17,8 Kč.m<sup>-3</sup> což je asi stejné jako 1 litr benzínů. Koupě automobilu s pohonem na CNG je sice vyšší, ale tato počáteční investice se vrátí díky levnějším pohonným hmotám.
- Na grafu 2-1. lze vidět, že emise vyprodukované motorem spalující CNG jsou poznatelně nižší než při spalování benzínu nebo nafty. Takže pro ty, co chtějí něco udělat pro naše životní prostředí, tak mají příležitost.
- Tankování do vozu je jednoduché pomocí karty, kterou si zařídí při pořízení automobilu na CNG a s ní může tankovat na samoobslužných stanicích po celé České republice.

- Existuje také možnost pořízení tankovací stanice přímo domů. Vyplatí se to při tankování pro více automobilů, takže většinou do různých firem.
- Zemní plyn má vyšší oktanové číslo než benzin. Takže motor má tišší chod, je plynulejší a v zimě lépe startuje.
- Při autonehodě se nemůže stát, že ze zemního plynu bude kontaminována půda.
- Možnost velké dojezdové vzdálenosti dle druhu a velikosti nádrže CNG a přepínání benzínu a zemního plynu.
- Můžeme tankovat a jezdit i na bioplyn.

#### Nevýhody:

- Vozidla na pohon CNG nesmí v ČR parkovat v žádných podzemních garážích. Tento problém by se měl v nejbližší době vyřešit a vjezd by se měl povolit. Ale i tak garáže musí být vybaveny detektory signalizující zemní plyn, musí mít dobré větrání a označení pro povolení vjezdu CNG.
- Vyšší pořizovací cena než u LPG 40-80 tisíc Kč.
- I když se síť čerpacích stanic stále zvětšuje (dnes okolo 40-45), tak jich stále není dostatek. Řidiči mnohdy musí dojíždět tankovat ke vzdálenějším čerpacím stanicím.



Obr. 2-6 – Síť čerpacích stanic na území ČR [37]

- Hmotnost jedné 60 litrové prázdné nádrže je asi 70 kg, takže pokud je více nádrží v automobilu, tak se hmotnost celého auta podstatně zvýší.
- Snížení výkonu vozu o max. 10 %.
- U přidělaného pohonu CNG se nesmí používat zabudovaná nádrž místo rezervy. A pokud chceme dojezd 300-400 km, tak musíme do kufru namontovat alespoň dvě nebo tři nádrže.



## 3 Spalovací motory na biopaliva

### 3.1 Bionafta

Bionaftu je možné vyrábět z mnoha rostlinných olejů (např. řepkový, slunečnicový, palmový, sójový). Chemický způsob výroby se nazývá esterifikace - substitucí metylalkoholu za glycerin, se mění olej na metylester oleje s podobnými vlastnosti jako nafta. [1]

Používání bionafty 1. generace (v ČR se používá pouze 2. generace) ve vznětových motorech je spojeno s drobnou úpravou těchto motorů. Bionafta totiž poškozují všechny pryžové součástky, takže se musí vyměnit všechny části přívodu paliva včetně těsnění a filtru. K porušení těsnosti může docházet už do jednoho roku používání. Bionafta se používá u motorů vybavených oxidačním katalyzátorem.

#### 3.1.1 První generace

Je to 100% bionafta bez jakýchkoli přísad. Její složkou jsou pouze metylestery (MEŘO – metylester řepkového oleje, FAME – metylester mastných kyselin). Dnes se už tato bionafta přimíchává v 5 % do normální nafty – v budoucnu by to mělo být až 10 %.

#### 3.1.2 Druhé generace

Je to směsná nafta. Metylester tvoří pouze jednu třetinu obsahu paliva, ostatní části jsou ropné uhlovodíky (motorová nafta). Ropné uhlovodíky jsou složeny z alkanů, které mají výborné fyzikálně-chemické a palivové vlastnosti. Další složkou je tzv. střední bezsirný destilát, jehož úkolem je zvýšení výkonu u motoru a snížení spotřeby.

#### 3.1.3 Výhody a nevýhody

##### Výhody

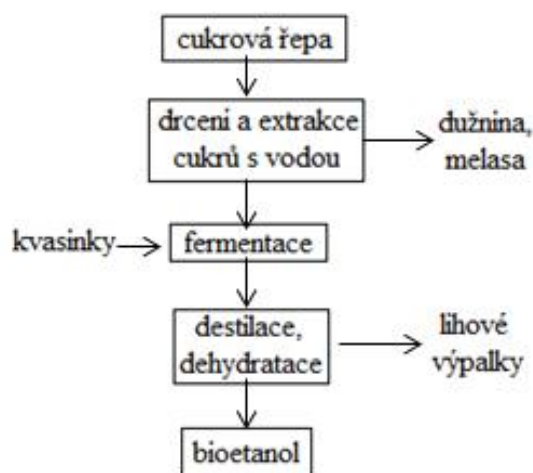
- Vyšší cetanové číslo – lepší vznětlivost.
- Lépe hoří – menší kouřivost.
- Lepší mazací schopnost než nafta.
- Obnovitelnost – pěstování plodin.
- Nižší podíl oxidu uhličitého (viz. obr. 3-2) a palivo bez obsahu síry.
- Nedochozí ke znečištění půdy. MEŘO je samo odbouratelné – lepší rozložitelnost.
- Cena směsné nafty je o 2-3 Kč menší než u motorové nafty.
- Menší spotřební daň.

## Nevýhody

- V některých případech (především bionafta 1. generace) způsobuje korozi.
- Bionafta je rozpouštědlo - rozpouští usazeniny z nafty což způsobuje ucpání filtru nebo vstřikovače.
- Bionafta ředí olej. Je nutná častější výměna.
- Kratší doba skladování bionafty
- Drahý výrobní proces.

## 3.2 Bioetanol

V dnešní době se bioetanol přidává do všech benzínů o celkovém objemu 5 %. Palivo E-85 je složeno z 85 % bioetanolem a 15 % benzínem (v zimním období se přidává více benzínu, ovšem nesmí ho být více jak 30 %). Bioetanol se vyrábí fermentací (alkoholové kvašení) biomasy - rostlin obsahující větší část škrobu. Mezi rostliny používané k výrobě bioetanolu se řadí obilí, brambory, kukuřice nebo také cukrová řepa a třtina. Motory spalující etanol musí mít některé změny oproti normálnímu spalovacímu motoru. Palivový systém (trubky, čerpadlo, filtr) musí být z materiálu odolnému korozi. Má odlišný tvar spalovacího prostoru, jiné válce a nová sedla ventilů. Namontované dodatečné předehřívání a řídicí jednotku, která určuje dobu vstřiku paliva.

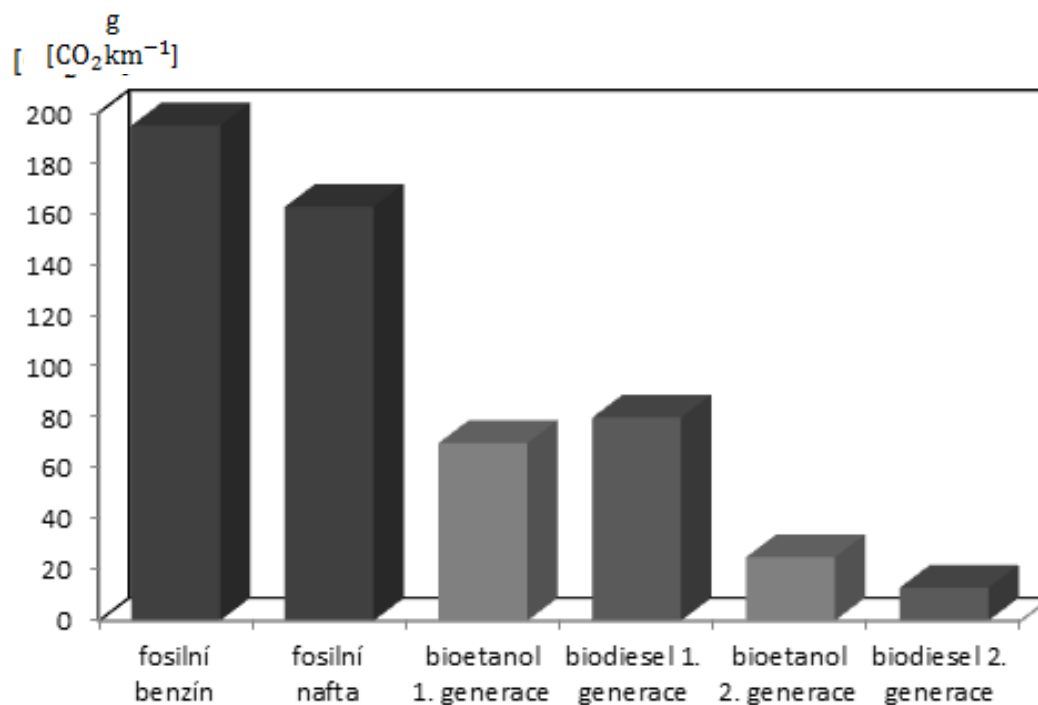


Obr. 3-1 Blokové schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry[9 – str. 135]

### 3.2.1 Výhody a nevýhody

#### Výhody

- Vyšší oktanové číslo – snižování CO<sub>2</sub>.
- Neplatí silniční daň.
- Vyšší výkon a otáčky motoru
- Obnovitelný zdroj.



Obr. 3-2 Potenciál snížení emisí CO<sub>2</sub> biopalivy první a druhé generace [9 – str. 129]

#### Nevýhody

- Nízká výhřevnost - vyšší spotřeba paliva.
- V zimě motor špatně startuje – studený start. Musí se vyměnit palivové potrubí a nová sedla ventilů, montáž dodatečného předehřívání paliva a řídicí jednotky, která určuje dobu vstříku paliva.
- Navazuje na sebe vodu – vzniká koroze.
- Pěstování plodin na výrobu bioetanolu zabírá velké množství půdy. Pro zemědělce se vyplatí více pěstovat tyto plodiny než plodiny na výrobu potravin – zvýšení cen.



## 4 Vodíkový pohon ve spalovacích motorech

### 4.1 Vlastnosti vodíku

#### 4.1.1 Fyzikální vlastnosti

Atom vodíku je nejlehčí prvek, který se skládá pouze z jednoho protonu a jednoho elektronu. Vodíkové atomy jsou menší v porovnání s většinou ostatních molekul. Vodík se nachází ve stavu bezbarvém, bez chuti a zápachu a je asi 14krát lehčí než vzduch. Šíří se rychleji než jakýkoli jiný plyn. Běžný vodík má hustotu  $0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Proto je nejlehčí známá látka se vztlakem vzduchu při  $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Pevné kovové částice vodíku mají větší elektrickou vodivost než jiné prvky v pevné fázi. Také plynný vodík má nejvyšší tepelnou kapacitu ( $14 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ). [3]

Tab.4-1 – Parametry vodíku [3]

Parametr	Hodnota
Molární hmotnost	$2,01594 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
Hustota plynné látky při $0^\circ\text{C}$ a 1 atm	$0,08987 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Hustota pevné látky při $-259^\circ\text{C}$	$858 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Hustota kapalně látky při $-253^\circ\text{C}$	$708 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Teplota tuhnutí	$-259^\circ\text{C}$
Teplota varu	$-253^\circ\text{C}$
Kritická teplota	$-240^\circ\text{C}$
Kritický tlak	12,8 atm
Kritická hustota	$31,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Teplo při $259^\circ\text{C}$	$58 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Teplo při $253^\circ\text{C}$	$447 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Tepelná kapacita plynné látky při $25^\circ\text{C}$	$14,3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Tepelná kapacity kapalně látky při $-256^\circ\text{C}$	$8,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Tepelná kapacity pevné látky při $-256^\circ\text{C}$	$2,63 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

#### 4.1.1 Chemické a palivové vlastnosti

Atom vodíku je chemicky velmi reaktivní. Proto není chemicky volný v přírodě. Ve skutečnosti jsou potřebné velmi vysoké teploty k disociaci molekul vodíku na atomu vodíku. Například i při  $5000 \text{ K}$  zůstává asi 5 % vodíku nedisociované. V přírodě je vodík většinou vázán buď na kyslíku, nebo uhlíku. Proto na získání vodíku z přírodních látek je potřeba energetický výdej.



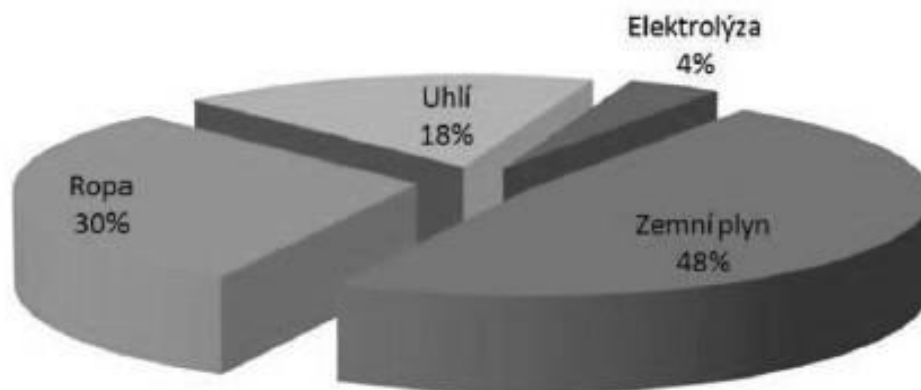
Tab.4-2 – Srovnání vodíku s jinými palivy [3]

Palivo	Metan	Propan	Metanol	Vodík	Benzín	Diesel
Výhřevnost kapalné fáze (MJ. kg <sup>-1</sup> )	50,0	45,6	18,0	119,9	44,5	42,5
Spalné teplo kapalné fáze (MJ. kg <sup>-1</sup> )	55,5	50,3	22,7	141,6	47,3	44,8
Stechiometrický poměr vzduch/palivo (kg)	17,2	15,6	6,5	34,3	14,6	14,5
Mez výbušnosti se vzduchem (%)	5-15	2,1-9,5	6,7-36	4-75	1,3-7,1	0,6-5,5
Teplota plamene (°C)	1914	1925	1870	2207	2307	2327
Min. energie vznícení (MJ)	0,30	0,30	0,14	0,017	0,29	
Teplota samovznícení (°C)	540-630	450	460	585	260-460	180-320

## 4.2 Výroba a uskladnění

Vodík lze vyrobit mnoha způsoby:

- Mezi nejčastější se řadí výroba vodíku z fosilních paliv.
  - Parní reformování zemního plynu
  - Parciální oxidace uhlovodíků
  - Zplyňování uhlí
- Další způsob výroby je pomocí elektrolýzy vody.
- Méně používaná je metoda výroby vodíku z biomasy. Je rozdělena na dva postupy:
  - Parní reformování biomasy
  - Biotechnologické procesy



Graf 4-1 – Rozložení zdrojů, z nichž se v současné době získává vodík [38]

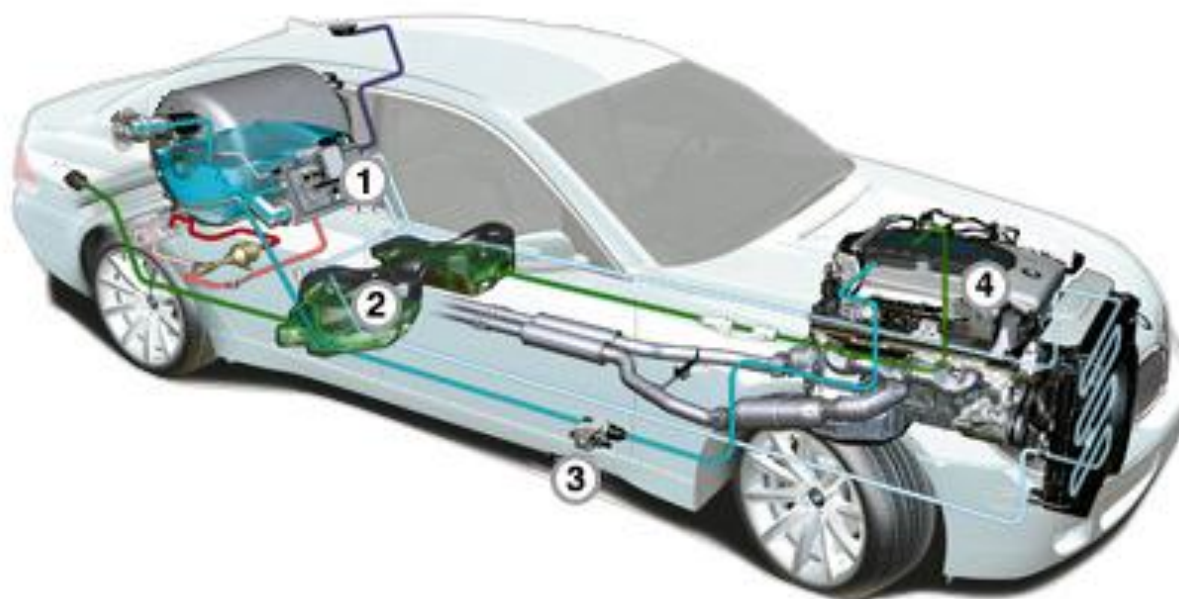
Problémy se skladováním vodíku jsou spojeny hned s několika faktory. Při skladování vodíku v kapalném stavu se dostáváme do problému s jeho uskladněním při  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Také při výrobě tekutého vodíku máme obrovské ztráty při jeho zkapalnění. Jelikož jeho energetická hustota je nižší než benzín, tak nádrže na vodík v automobilu zabírají velké množství místa. Pro porovnání bereme automobil se spotřebou  $1,2\text{ kg}$  vodíku na  $100\text{ km}$ . V plynném stavu by na dojezd  $600\text{ km}$  vážila nádrž  $130\text{ kg}$  a zabrala by  $282\text{ litrů}$ . Při vyšším tlaku  $350\text{ barů}$  by nádrž vážila až  $150\text{ kg}$  a její objem by byl  $360\text{ litrů}$ . S tekutým vodíkem by nádrž vážila  $92\text{ kg}$  a objem by měla  $181\text{ litrů}$ . [8]

V dnešní době a nejspíše i v budoucnu by se měl vodík uskláňovat v pevných látkách – konkrétně na kovy v podobě hydridů kovů. Celý objem nádrže je vyplněn porézním kovem (slnutý prášek na bázi lanthanu a niklu, titanové třísky) při tlaku  $0,5\text{ MPa}$  nabere do sebe extrémně (až  $1000$  krát) více vodíku ( $10\text{ cm}^3$  –  $160\text{ litrů}$  vodíku).

### 4.3 Funkce ve spalovacích motorech

Motor, který má spalovat místo benzínu vodík, musí být náležitě přestavěn. Také můžeme, stejně jako u LPG nebo CNG, mít kombinované spalování na benzín + vodík (viz. obr. 4-1). Tím se docílí většího dojezdu. Kapalným vodíkem se během cesty z nádrže ke vstřikovací ventilům zahřívá a vzniká plynná směs.





Obr.4-1 – BMW Hydrogen 7 [39]: 1. Nádrž na kapalný vodík, 2. Benzinová nádrž, 3. Kontrola tlaku, 4. Vstřikování vodíku

## 4.4 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Možnost spalování velmi chudých směsí (podmínka přeplňování).
- Vodík má velkou výhřevnost ve spalovacím prostoru po smíchání se vzduchem a jeho hoření je stabilní.
- Snížení spotřeby paliva.
- Při spalování vodíku vzniká voda.
- Neobsahuje oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) – jedinou škodlivou složkou ve výfukových plynech je oxid dusíku ( $\text{NO}_x$ ) při maximálním zatížení v množství stejném jako u benzínu.

Nevýhody:

- Náklady na výrobu energie.
- Směs vodíku a vzduchu tvoří silně výbušnou směs.
- Rychlé hoření směsi – může zapříčinit klepání motoru.

## 5 Elektrická vozidla na baterie

Elektrická vozidla se začala vyrábět už na konci 19. století, kdy byla velmi oblíbená hlavně jejich jednoduchostí ovládání, spolehlivostí, tichostí a lehkým startováním bez kliky. Rychlost elektromobilů byla v té době mnohem větší než automobilů se spalovacím motorem. Jejich počet zásadně převyšoval používání automobilů se spalovacím motorem až do doby, kdy Henry Ford začal se sériovou výrobou velmi oblíbeného modelu „T“. Také bylo vynalezeno elektrické startování, v Texasu se začala těžit ropa – menší cena benzínu a byl větší požadavek na delší dojezd vozidla. Tím se vývoj elektromobilů pozastavil a znovu začal až s prvními známkami ropné krize v roce 1965.

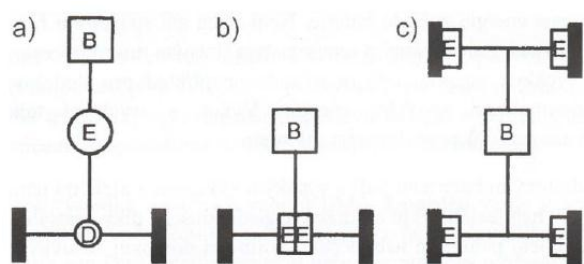


*Obr. 5-1 – První elektromobil, který překonal rychlost 100 km/hod (dosáhl dokonce rychlosti až 170 km/hod) Belgičana Camilla Jenatzyho z roku 1899 – Torpédo KID[11]*

### 5.1 Princip činnosti a uspořádání ve vozidle

Elektromobil je automobil, kde místo spalovacího motoru je umístěn elektromotor, kterému je dodávána elektrická energie z akumulátorů přes usměrňovač, který řídí tento motor dle požadavků a také umožňuje zpětné napájení brzděné energie do baterie.

Uspořádání pohonných jednotek ve vozidle se dělí na 3 druhy (viz. obr. 5-2). Nejvíce používaný způsob je s předním nebo zadním pohonem (a), což je velice podobné automobilům se spalovacím motorem. Další variantou je tandemový pohon (b) se dvěma elektromotory nebo systém pohonu, kde jsou umístěny elektromotory ve hnacích kolech (viz. obr. 5-3). Tím odpadají starosti převodu mechanické energie z elektromotoru na nápravu (c).



Obr. 5-2 – Uspořádání hnacího ústrojí: [1-str. 122]  
 a) přední nebo zadní pohon,  
 b) tandemový pohon,  
 c) pohon v nábojích kol



Obr. 5-3 – Schéma motoru v kole [41]

## 5.2 Druhy elektromotorů

Na elektromotor jsou kladeny mnohé požadavky. Musí mít výhodnou cenu s přijatelnými provozními náklady, požadované velikosti a hmotnosti s vysokou účinností, krátkodobou přetížitelností a nízkou hladinou zvuku. U trakčních motorů nás tolik nezajímá jak velký má elektromotor výkon, ale především velikost jeho momentu. [9] [1]

### 5.2.1 Stejnoseměrný motor s cizím buzením

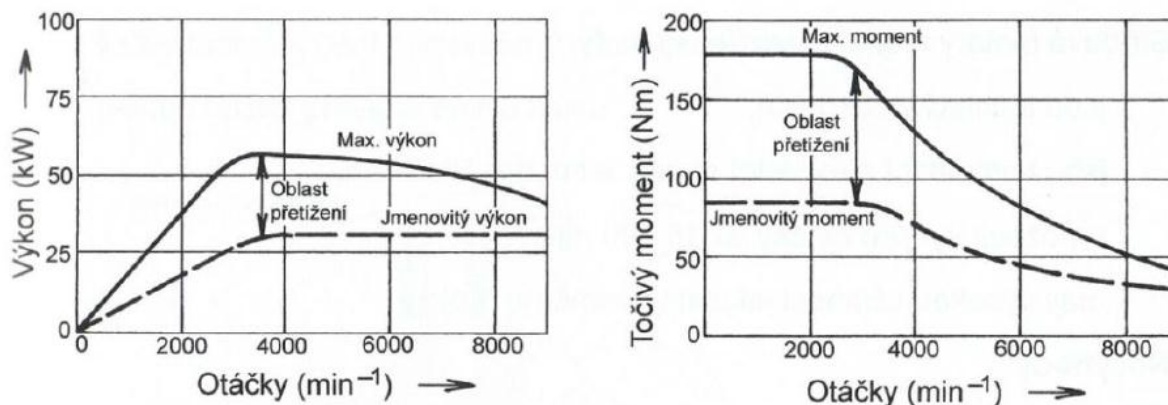
Jsou již dlouhou dobu využívány jako motory v elektromobilech, protože mohou být napájeny přímo z akumulátoru. Jejich výhodou je snadné řešení rekuperace energie a plynulý přechod změny smyslu otáčení. Jsou velmi technicky vyspělé s cenovou výhodou, ale účinnost a výkon mají menší než střídavé motory. A obvodová rychlost je omezená na  $7000 \text{ min}^{-1}$ . Další jejich nevýhodou je komutátor a kartáče, přes které je převáděn proud na otáčející se rotor. Stejnoseměrné motory s cizím buzením můžeme rozlišit podle druhu zapojení kotvy a budícího vinutí na: sériové elektromotory, paralelní elektromotory nebo kombinaci těchto zapojení – kompaundní (série-paralelní) elektromotor.

### 5.2.2 Stejnoseměrný motor bez kartáčů

Napájení vinutí statoru stejnosměrným proudem zajišťuje komutátor. Motor není složen z žádných rotujících částí. Jeho cena je trochu větší než u stejnosměrného motoru s cizím buzením. Má avšak výbornou účinnost. Je menší a až 4 krát lehčí než konvenční provedení

### 5.2.3 Asynchronní motor

V dnešní době, a nejspíš i v budoucnu, budou v elektromobilech stále více používány střídavé motory hlavně díky tomu, že odpadá vinutí kotvy a kolektoru a tím tedy může dosáhnout otáček až  $20\,000\text{ min}^{-1}$ . Lze jej silně přetížit, má jednodušší, avšak robustní konstrukci. Celý motor je podstatně lehčí a menší s výkonovou hmotností  $1\text{ kg}\cdot\text{kW}^{-1}$ .



Graf 5-1 – Výkonová a momentová charakteristika asynchronního motoru [9 – str. 49]

### 5.2.4 Transversální motor

Změnou přivedeného stejnosměrného proudu dosahujeme velké změny konstantního maximálního výkonu. I když jsou technicky velmi dokonalé, tak celkově mají náročnější řízení, což způsobuje vyšší cenu. Za to mohou pracovat v rozsahu až  $15000\text{ min}^{-1}$  s vysokou účinností. Robustní stavba motoru je spojena s mizivou údržbou elektromotoru.

### 5.2.5 Řízený reluktanční motor

Je to druh střídavého motoru, který se zatím moc nevyužíval kvůli jeho nerovnoměrnosti točivého momentu. Reluktanční krokový motor pracuje s vysokým momentem i při nízkých otáčkách. Má vysokou účinnost, přetížitelnost a robustní stavbu. Je bezúdržbový, ale může být poněkud hlučnější než ostatní druhy elektromotorů.

## 5.3 Druhy akumulátorů

V elektromobilech máme dva druhy akumulátorů. Startovací baterie a trakční baterie, které jsou navrženy pro hluboké vybití, což pomáhá menšímu opotřebování elektrod.

Trakční akumulátor je jednou z nejvíce řešených a nejdůležitějších částí elektromobilu. Důležitá je cena celého akumulátoru při požadovaných parametrech, které mohou být například kapacita, hmotnost, rozměry, rychlost dobíjení a počet cyklů plného dobíjení. V dnešní době jsou požadavky na životnost až 10 let nebo až  $150\,000\text{ km}$ . Energetická hustota by měla dosahovat až  $200\text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$  s výkonovou hustotou okolo  $200\text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [9] [11]



Tab. 5-1 – Přehled údajů jednotlivých baterií [9 – str. 53]

Typ baterie	Hustota energie		Výkonová hustota		Životnost		cena
	Wh . kg <sup>-1</sup>	Wh . l <sup>-1</sup>	W . kg <sup>-1</sup>	W . l <sup>-1</sup>	Cyklů	Let	Euro. kW <sup>-1</sup>
Olovo	30-50	70-120	150-400	350-1000	50-1000	3-5	100-150
Nikl-kadmium	40-60	80-130	80-175	180-350	>2000	3-10	225-350
Nikl-metalhydrid	60-80	150-200	200-300	400-500	500-1000	5-10	225-300
Sodík-niklchlorid	85-100	150-175	155	255	800-1000	5-10	225-300
Lithium-iontová	90-120	160-200	300	300	1000	5-10	275
Lithium-polymer	150	220	300	450	>1000	-	<225
Zinek-vzduch	110-220	120-150	100	120	-	-	60
Cílové hodnoty	80-200	135-300	75-200	250-600	600-1000	5-10	90-135

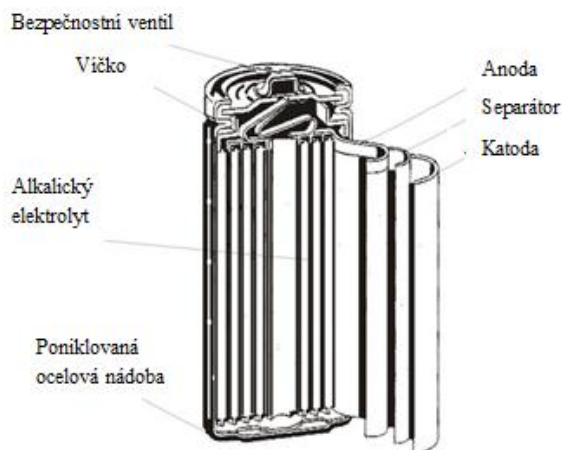
### 5.3.1 Olověný akumulátor Pb

Záporná elektroda (katoda) je z olova a kladná (anoda) z oxidu olovičitého. Mezi nimi je elektrolyt, který je složen asi z 35 % kyseliny sírové s vodou. Výhodou tohoto akumulátoru je cena a schopnost dávat velké proudy. A naopak má krátkou životnost a vznikají nevratné změny při jeho delším setrvávání při částečně nebo úplně vybitém stavu (sulfatace na elektrodách), takže je nevhodný pro zdroj elektrické energie pro elektromobily. Používá se u spalovacích automobilů, kde je pomocí alternátoru udržován stále v plně nabitém stavu. Jeho dalším problémem je, že jsou velmi toxické, takže (spolu také s NiCd akumulátory) ani z ekologického hlediska nepříliš vhodné.

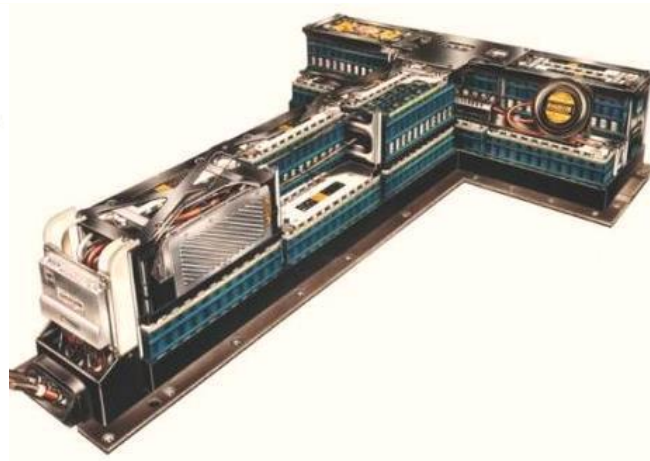
### 5.3.2 Baterie nikl-kadmium NiCd

Je to druh galvanického článku, který oproti olověnému akumulátoru nabízí až o 50 % větší dojezd při stejné hmotnosti. Tyto akumulátory lze ponechat i ve vybitém stavu a mají velmi dobré vlastnosti při rychlém nabíjení a životnost více dobíjecích cyklů.

Hlavní nevýhoda tohoto akumulátoru je v tom, že jedna z elektrod je vyrobena z těžce jedovatého kovu kadmia a vysoká cena celého akumulátoru. Elektrolyt je umístěn v malém plynotěsném uzavřeném knoflíkovém článku a je složen z roztoku hydroxidu draselného, který se podílí, stejně jako olověný akumulátor, na transportu iontů mezi elektrodami.



Obr5-4 Nikl-kadmiový akumulátor [19]

Obr. 5-5 – GM EV1 sada 26 kusů  
baterií Ni-MH OVONIC každá 13,2V [18]

### 5.3.3 Baterie nikel-metalhydridová Ni-MH

Je to druh galvanického článku, který patří mezi nejvíce používané druhy akumulátorů v elektromobilech, zejména kvůli velmi vysoké kapacitě, možnosti přiváděného vysokého proudu a garantovaného napětí až do úplného vybití. Vlastnostmi patří mezi ekologické a levnější akumulátory, kde je životnost cyklů dobíjení 1000.

Anoda je ze sloučenin niklu a katoda ze slitiny pohlcující vodík. Elektrolytem je zředěný roztok hydroxidu.

### 5.3.4 Baterie lithium-iontová Li-Ion

Jedná se o nejoblíbenější typ akumulátoru využívaný ve spotřební elektronice, který se vyznačuje vynikajícím poměrem energie/hmotnost, vysokou hustotou energie a nominálního napětí, dobrou dobíjecí účinností a pomalým samovybitím. V automobilismu se však nevyužívá kvůli rychlému stárnutí a snížení kapacity stářím nebo také možností exploze při špatném zacházení. Katoda je složena z  $\text{Li}_2\text{MnO}_2$  nebo  $\text{LiCoO}_2$  a nebo z  $\text{LiNiO}_2$  a anoda je z uhlíkové matrice. Elektrolyt se skládá z vodíkové soli a rozpouštědla.

### 5.3.5 Baterie lithium-polymerová $\text{LiFePO}_4$

Akumulátor je nazván podle toho, že katoda je vytvořena z lithium železo fosfátu. Anoda je jako u jiných Li-ion baterií vyrobena z uhlíku. Hlavní výhoda oproti lithium-iontové baterie je v tom, že v extrémních podmínkách nemohou explodovat, ale přitom dodávají vyšší proud a jsou levnější. Patří mezi absolutně netoxické baterie s vysokým počtem dobíjecích cyklů (až 3000) a vysokou hustotou energie. Podstatnou nevýhodou u těchto akumulátorů je životnost, která se snižuje rychlým dobíjením.



### 5.3.6 Baterie vysokoteplotní

Mohou být dva druhy baterií: sodík-síra a sodík-niklchlorid. Oba dva druhy ale pracují o vysoké teplotě 250 až 330 °C, která musí být stále udržována a u obou není katoda pevná elektroda, ale tekutý sodík. Anoda je dle názvu buď ze síry nebo z pevného niklchloridu. Tyto akumulátory jsou zcela bezúdržbové s nulovými emisemi, mají větší zásobu energie oproti oloveným akumulátorům a nevykazují žádné chemické samovybíjení. Životnost těchto akumulátorů je malá.

## 5.4 Výhody a nevýhody

Výhody:

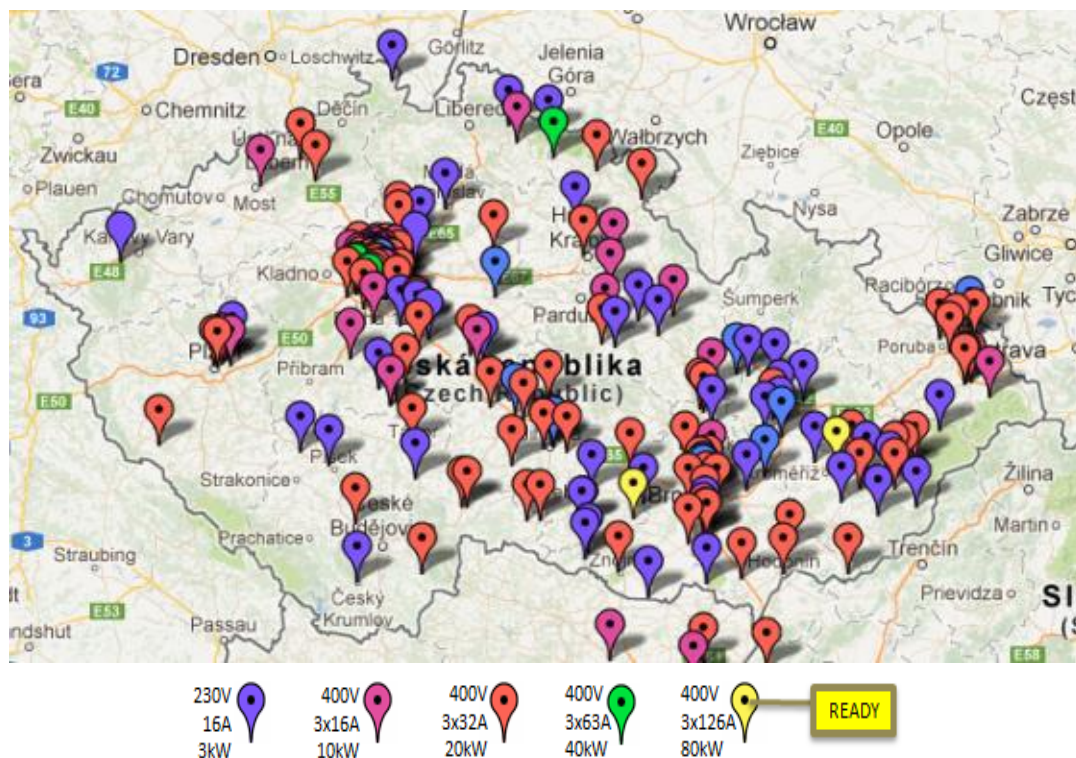
- Levnější provoz a dobíjení z domova Na 100km elektromobil spotřebuje asi 15kWh elektrické energie. A při ceně asi v rozmezí 5 Kč za kWh je to 75 Kč (někde je dvou tarifní provoz energie, což je asi 2 Kč.kWh<sup>-1</sup>). Elektromobily můžeme zdarma dobít na některých veřejných dobíjecích stanicích (Galerie Vaňkovka – Brno).
- Povinné ručení je bráno dle nejnižší možné sazby – do 1000 ccm. Dále se k pojištění elektromobilů vztahují různé další výhody, které ovlivní konečnou cenu pojištění.
- Elektromotor je tichý, téměř bezúdržbový, jednodušší (méně součástí) s delší životností a více jak dvojnásobnou účinností.
- Nulové emise elektromobilu.
- Osvobození od silniční daně pro podnikatele.
- Rekuperace energie – například jízdou z kopce nebo při brzdění. V kolonách, ve městech na semaforech nespotřebovává zbytečně energii.
- Lze využívat obnovitelné zdroje (i z domova) – solární nebo větrná energie.

Nevýhody:

- Vyšší pořizovací cena automobilu.
- Baterie je těžká a prostorná. Velmi krátký dojezd vozidla s dlouhým dobíjecím procesem na 100 % až 6 hodin - nevhodné na dlouhé cesty (záleží na druhu akumulátoru).
- Nejdražší část automobilu - baterie má určitou životnost (10 let nebo podle počtů cyklu nabíjení). Ale je zde pořád velký pokrok a můžeme očekávat čím dál větší zlepšování.



- Tichý provoz (obzvláště v pomalých rychlostech téměř bezhlučný) může způsobit lehké přehlednutí a riziko ohrožení pro ostatní účastníky provozu – chodci, cyklisté atd. Zařízení pro vytvoření umělého zvuku je vyvinuto, ale zatím se využívá jen málo.
- Malá síť dobíjecích stanic. S přibývajícím počtem elektromobilů bude počet stanic větší.



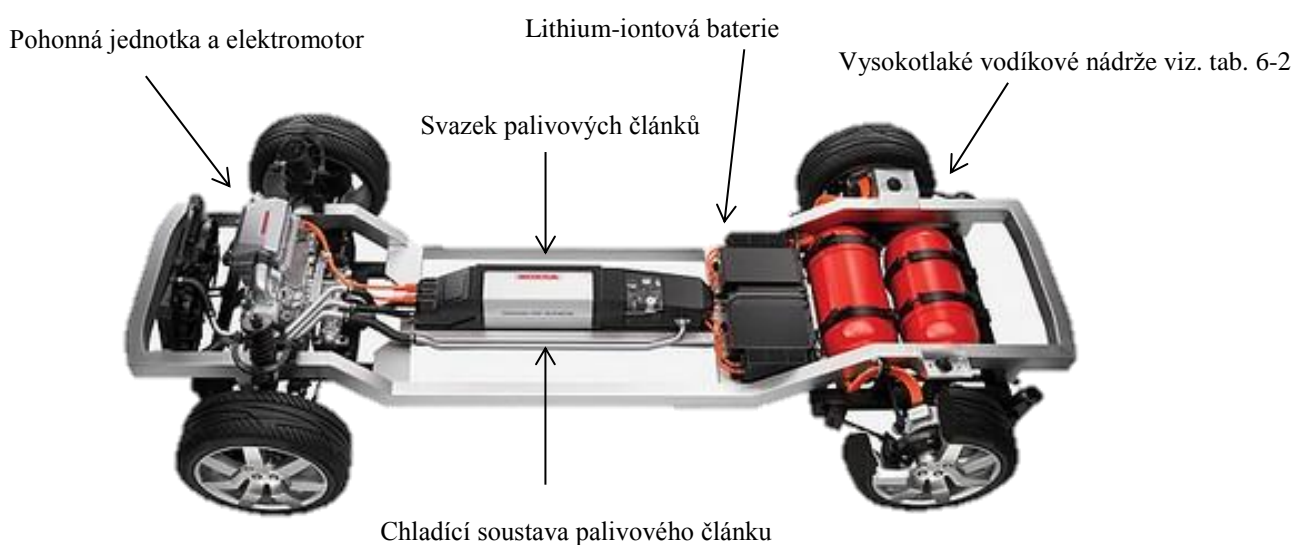
Obr. 5-6 – Mapa dobíjecích stanic v ČR [17]



## 6 Elektrická vozidla na palivové články

### 6.1 Uspořádání ve vozidle

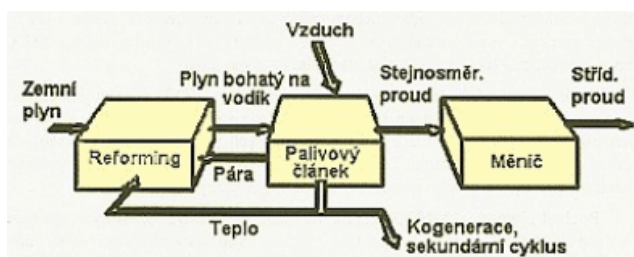
Elektromobily jsou vozidla obsahující jako zdroj mechanické energie elektromotor, který je poháněn elektrickou energií, v tomto případě, z palivových článků, které vytváří energii z dodávaného paliva. Na obr. 6-1 je znázorněno uspořádání elektromobilu na palivové články. Palivo (vodík) je umístěn v zadní části většinou pod podlahou vozidla. V blízkosti těchto nádrží je také akumulátor. Tyto dva komponenty jsou spojeny s palivovým článkem, který dodává elektrickou energii řídicí elektronice a elektromotoru.



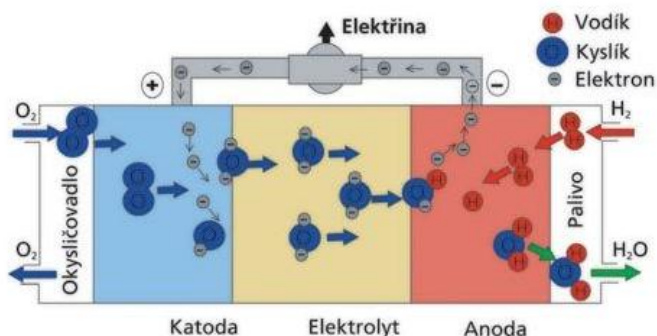
Obr. 6-1 – Honda plans production version of FCX fuel cell concept [40]

### 6.2 Princip činnosti palivového článku

Palivový článek je elektromagnetické zařízení, které slouží k výrobě elektrické a tepelné energie chemickou reakcí paliva s kyslíkem ze vzduchu. Jako nejčastější palivo se využívá čistý vodík, který v palivovém článku přímo reaguje. Ale s vodíkem jsou spojeny mnohé problémy, takže se používají i jiná nepřímá paliva jakými jsou například zemní plyn, metan, metanol, etanol nebo také současné pohonné hmoty do spalovacích motorů automobilů. [9]



Obr. 6-2 – Proces výroby elektrického proudu [16]



Obr. 6-3 Princip činnosti palivového článku [9 – str. 86]

Palivový článek je složen ze dvou elektrod (anoda-záporná a katoda-kladná) a elektrolytem (např. ze speciální polymerové fólie v kyselém nebo alkalickém roztoku), který se nachází mezi těmito elektrodami (viz. obr. 6-3). Na tomto obrázku také můžete vidět, že na katodu je přivedeno okysličovadlo (vzniká redukce okysličovadla – kyslíku zvenčí) a na anodu palivo (dochází k elektrochemické oxidaci).

## 6.3 Druhy palivových článků

Jednotlivé druhy palivových článků se liší pouze materiálem elektrod, použitým elektrolytem, pracovní teplotou a chemickými reakcemi na elektrodách. [1],[9],[10]

Tab. 6-1 - Parametry palivových článků [15] – viz. příloha č. 1

### 6.3.1 Články s alkalickým elektrolytem (AFC)

Patří mezi nejstarší a nejvíce používané palivové články. Jeho nevýhodou je, že jako palivo musí být použit pouze čistý vodík a jako redukční prostředek pouze čistý kyslík – dražší provoz. Patří mezi články s vysokým výkonem. Jsou používány hlavně pro kosmické lety. Použití v automobilech je zatím nejasné.

### 6.3.2 Články s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC)

Jsou významné pevnou polymerní membránou (nahrazuje elektrolyt), která zajišťuje těsnění v chemickém procesu a snižuje nebezpečí koroze a dalších vlivů, které jsou spojeny s obvyklým kapalným elektrolytem. Tyto články jsou jednoduché na výrobu, neprodukují příliš velké teplo a mají velmi vysoké výkony oproti ostatním palivovým článkům (krom PAFC) s životností až 6000 hodin ve vozidle.



### 6.3.3 Článek pro přímou reakci s metanolem (DMFC)

Název tohoto článku vznikl kvůli možnému přímému dodání metanolu do palivového článku. Na anodu může být přiveden také přímý vodík z nádrže nebo z reformingu metanolu či jiných klasických kapalných paliv.

Metanol je oproti vodíku lépe dostupný, technicky jednodušší, bezpečnější a dobře skladovatelný ve vozidle. Má vysokou energetickou hustotu.

### 6.3.4 Články s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Je dosud jediným komerčně využívaným palivovým článkem. Elektrolytem je vysoko koncentrovaná kyselina fosforečná, která je vázaná s karbidem křemíku s přísadou teflonu. Tyto články patří mezi středně teplé, protože pracují při teplotách okolo 200 °C, takže musí být chlazeny buď kapalinou (lépe odvádí teplo) nebo plynem (většinou vzduchem), což je jednoduché (chladicími kanálky), spolehlivé a levné. Elektrolyt nereaguje s oxidem uhličitým z paliva nebo vzduchu, takže je možné využívat i jiných zdrojů vodíku jako např. zemní plyn nebo metanol. Pracují s elektrickou účinností asi 40 % při termické účinnosti cca 45 %. Využívají se většinou pro blokové elektrárny.

### 6.3.5 Články s uhličitánovou taveninou (MCFC)

Elektrolyt v těchto člancích je směs roztavených uhličitánů v pórovité chemicky inertní keramické matici směsi lithia a hliníku. Složení elektrolytu se může měnit, ale většinou obsahuje uhličitán litný a uhličitán draselný. Tento typ článku patří také do kategorie teplých, protože pracuje s teplotou okolo 650 °C – zajišťuje dostatečnou vodivost uhličitánového elektrolytu, vniká vnitřní reforming paliva, což zjednodušuje celý palivový systém a dodává větší účinnost. MCFC mohou využívat zemní a uhelný plyn a využívají se většinou pro průmyslové a vojenské aplikace také jako blokové elektrárny.

### 6.3.6 Články s pevným elektrolytem (SOFC)

Patří také mezi vysokoteplotní palivové články pracující s teplotou více jak 800 °C. Má pevný elektrolyt (směs oxidů yttria a zirkonu) – odpadají problémy s korozí a také díky pevnému elektrolytu je velkou výhodou neomezený geometrický tvar palivového článku. Od počátku vývoje jsou dva základní tvary – deskové a tabulární články. Díky vysoké teplotě vzniká reforming paliva a rychlejší proces elektrochemické reakce oproti ostatním typům – nejvyšší účinnost ze všech článků až 65 %. Patří mezi ty články, které se zkouší využívat ve vozidlech.



## 6.4 Reformace paliva

Reformování paliva (nebo také reforming) je systém, který umožňuje palivovému článku pracovat i s běžnými palivy (metanol, benzínová a naftová paliva nebo také zemní plyn a propan). Reformace tedy znamená přeměna výchozí látky (s obsahem vodíku) přímo na složku s co největším možným obsahem vodíku dodaného do palivového článku. Reformace se dělí na dva druhy – parciální oxidace a parní reformace.

## 6.5 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Účinnost systému s palivovým článkem je u některých až dvojnásobně větší oproti účinnosti spalovacího motoru.
- Palivové články mohou být v provozu neomezenou dobu. Jejich životnost záleží pouze na životnosti elektrod – velmi nízké opotřebení.
- Ekologičtější způsob dopravy. Oxid dusíku  $\text{NO}_x$  a oxid uhelnatý  $\text{CO}$  jsou zcela nulové. Oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  je snížen dle závislosti na uhlovodíkových palivech.
- Tichý chod – neobsahuje pohyblivé části.
- Oproti elektromobilům se zdrojem energie z akumulátorů mají podstatně vyšší dojezd a nejenže palivový článek vydrží déle, ale také vyřazený článek nezatěžuje tolik životní prostředí jako akumulátory z elektromobilů.

Nevýhody:

- Zásobníky paliva jsou v porovnání s benzínovými větší a těžší.
- Udržování vhodné teploty a tlaku médií pro různé druhy článků.
- Uvedení do provozu může trvat několik minut (vlastním ohřátím nebo z vnějšího zdroje).
- Nutnost přítomnosti nákladných katalyzátorů u nízkoteplotních článků.
- Náročná a složitá technologie výroby – dražší než akumulátory.
- Zatím není vytvořena síť čerpacích stanic vodíku.

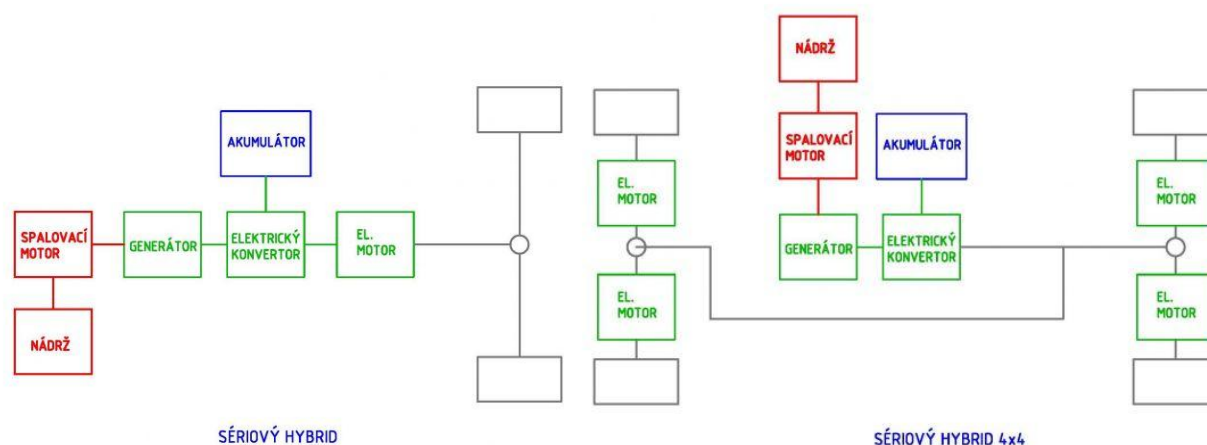
## 7 Hybridní pohony

Hybridní pohon využívá více zdrojů energie. U osobních automobilů je to kombinace spalovacího motoru, elektromotoru a akumulátoru (do budoucna palivového článku). Vyvinuly se především proto, aby se eliminovaly nedostatky elektromobilů, a to především krátký dojezd s dlouhým dobíjecím cyklem a těžkými akumulátory a nedostatky spalovacích motorů, které jsou spjaty s vysokou spotřebou – nevhodné emise a malou účinností.

### 7.1 Princip činnosti a uspořádání ve vozidle

#### 7.1.1 Sériové uspořádání

Tento způsob uspořádání pracuje podobně jako elektromobil s tím rozdílem, že energie dodávaná trakčnímu motoru je dodávaná spalovacím motorem přes generátor. Sériový hybrid tedy vždy pohání elektromotor nebo více elektromotorů pro každé kolo.



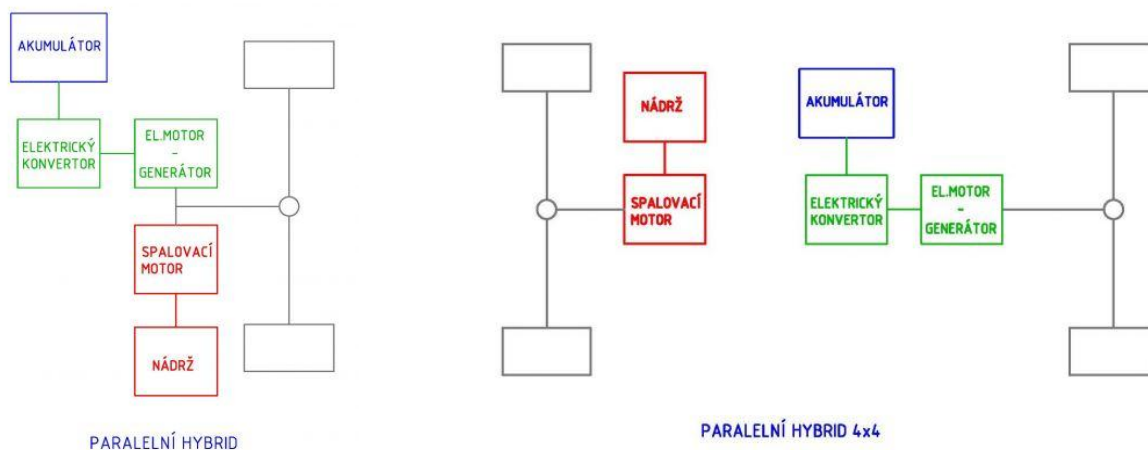
Obr. 7-1 – Sériové hybrid [12]

Výhoda sériového uspořádání je v tom, že spalovací motor je nastaven na optimální režim provozu – konstantní otáčky, vysoká účinnost, malá spotřeba a přijatelné emise. Také akumulátor nemusí mít velké rozměry. Není potřeba převodovka.

Nevýhoda je ve vícenásobné přeměně energie z chemické na mechanickou dále na elektrickou a znovu na mechanickou. Účinnost se pohybuje okolo 55 %.

#### 7.1.2 Paralelní uspořádání

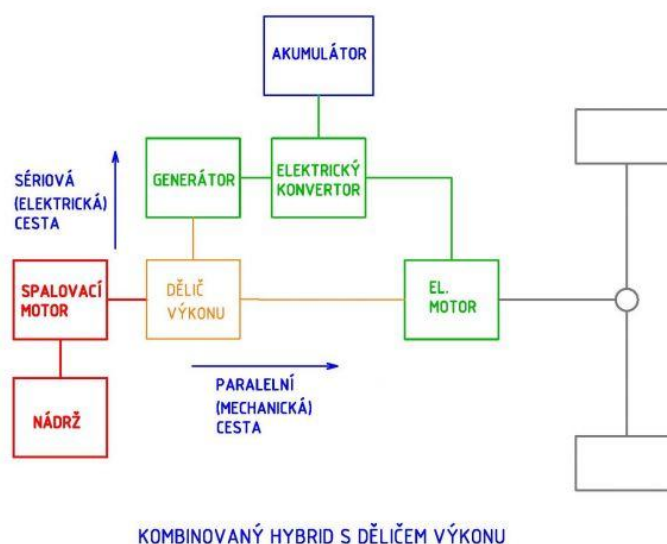
Tento systém se využívá dnes u většiny hybridních automobilů, kde výstupní moment je součtem momentů z výstupní hřídele elektromotoru a spalovacího motoru. Elektromotor pracuje většinou jenom při akceleraci nebo rozjezdu vozidla - slouží jako pomocný agregát. Tento hybrid musí být vybaven akumulátorem s větším napětím oproti běžným automobilům. Výhodou tohoto uspořádání je rekuperace energie generátorem (elektromotorem) umístěným mezi převodovkou a spalovacím motorem. Systém má vyšší účinnost než u sériového hybridu.



Obr. 7-2 – Paralelní hybrid [12]

### 7.1.3 Smíšené uspořádání

Smíšené uspořádání hybridního pohonu využívá sériové nebo paralelní zapojení dle momentálního způsobu požadované činnosti. U kombinovaného hybridu může pracovat při malých rychlostech (např. ve městech) pouze elektromotor, kterému je dodávána energie z baterie. Pokud dojde energie z baterie, tak se spustí spalovací motor (také při rychlé stálé jízdě) a elektromotor se přemění na generátor a dobíjí baterii. Pokud potřebuji akcelarovat (při předjíždění nebo při rychlé jízdě do kopce) mechanická energie je dodávána jak ze spalovacího motoru, tak z elektromotoru. Spalovací motor je vypnut tehdy, pokud jede vozidlo z kopce nebo brzdí a energie je generátorem dodávána do akumulátoru nebo tehdy, pokud vozidlo stojí. V tuto dobu je vypnut i elektromotor.



Obr. 7-3 – Kombinovaný hybrid s děličem výkonu [12]



Motor lze ovládat více způsoby. U přepínatelného uspořádání spojkami. V tomto systému jsou dvě spojky: první je mezi spalovacím motorem a elektromotorem a druhá mezi elektromotorem a převodovkou. Další způsob je děličem výkonu, který může být zajištěn buď: planetovou převodovkou (dodává mechanickou energii buď přímo na pohon automobilu, nebo na generátor, který dobíjí akumulátor nebo dodává elektrickou energii trakčnímu motoru) nebo pomocí elektronického děliče, kde je místo planetové převodovky umístěn elektrický stroj. Rotor je připojen na výstupní hřídel spalovacího motoru a pomocí elektromagnetických sil otáčí se státorem, který dodává energii přes generátor trakčnímu motoru.

## 7.2 Stupeň hybridizace

### 7.2.1 Mikro-hybrid (Mild-hybrid)

Má v sobě elektromotor pouze o malém výkonu. Slouží jako startér/generátor v start-stop systému, který má za úkol vypnout a následně nastartovat motor ve městech na křižovatkách. Díky tomu je spotřeba paliva menší cca o 10 %. Mild-hybrid také umožní rekuperovat energii při jízdě z kopce a při brždění.

### 7.2.2 Full-hybrid

Full hybrid je složen ze spalovacího motoru i výkonného elektromotoru pomocí kombinovaného zapojení s děličem výkonu, což umožňuje funkci obou motorů také samostatně. Je vybaven akumulátorem s kapacitou pouze na menší počet čistě elektrických kilometrů než u čistého elektromobilu.

### 7.2.3 Plug-in hybrid

Je vylepšený stupeň hybridizace full-hybridu, kde je tento systém doplněn o zásuvku na dobíjení baterií. Je umožněno větší využívání pouze elektromotoru na kratší vzdálenosti – nižší emise a levnější provoz.

### 7.2.4 Power assist hybrid (medium-hybrid)

Jako hlavní pohonná jednotka slouží spalovací motor. Výkon elektromotoru není dostatečný na samostatnou elektrickou jízdu. Slouží jen ke zvýšení výkonu např. při akceleraci a jízdě do kopce. Akumulátory jsou o menší kapacitě, velikosti a váze. Energie je pro ně dodávána při funkci elektromotoru jako generátoru při brždění a jízdě z kopce.



## 7.3 Zásobníky energie

Pro spalovací motor je energie získávána z benzínu nebo nafty umístěným standardním způsobem v nádrži automobilu. Elektrická energie je uchovávána dle způsobu rekuperace energie a způsobu použití.

### 7.3.1 Akumulátor a vysokoenergetický kondenzátor (super-kondenzátor)

V procesu rekuperace pracuje elektromotor jako generátor a dodává energii do akumulátorů nebo do vysokoenergetických kondenzátorů (kapacitorů).

Baterie u hybridních automobilů se využívají stejně jako u elektromobilů. Jaký akumulátor bude použit, je dáno parametry hybridního automobilu. Pokud je požadována vysoká hustota výkonu, tak se volí nikl-kadmiové baterie nebo nikl-metalhydridové baterie. Pro vyšší dojezd jsou vhodnější baterie vysoké energetické hustoty – vysokoteplotní baterie ZEBRA (Zero-Emission Battery). [9]

Vysokoenergetický kondenzátor je malého rozměru, který umožňuje umístění na různá místa v automobilu, což ušetří nákladový prostor. Oproti akumulátoru se vyznačuje tím, že akumuluje energii přímo v elektrické formě. Slouží ke krátkodobému uložení a následně rychlému čerpání energie v plném výkonu a oproti baterii má podstatně rychlejší dobíjení. Další výhody super-kondenzátorů jsou v jejich velké účinnosti a podstatně větší životnosti. Nevýhodou je jeho malá měrná energie a vysoká cena.

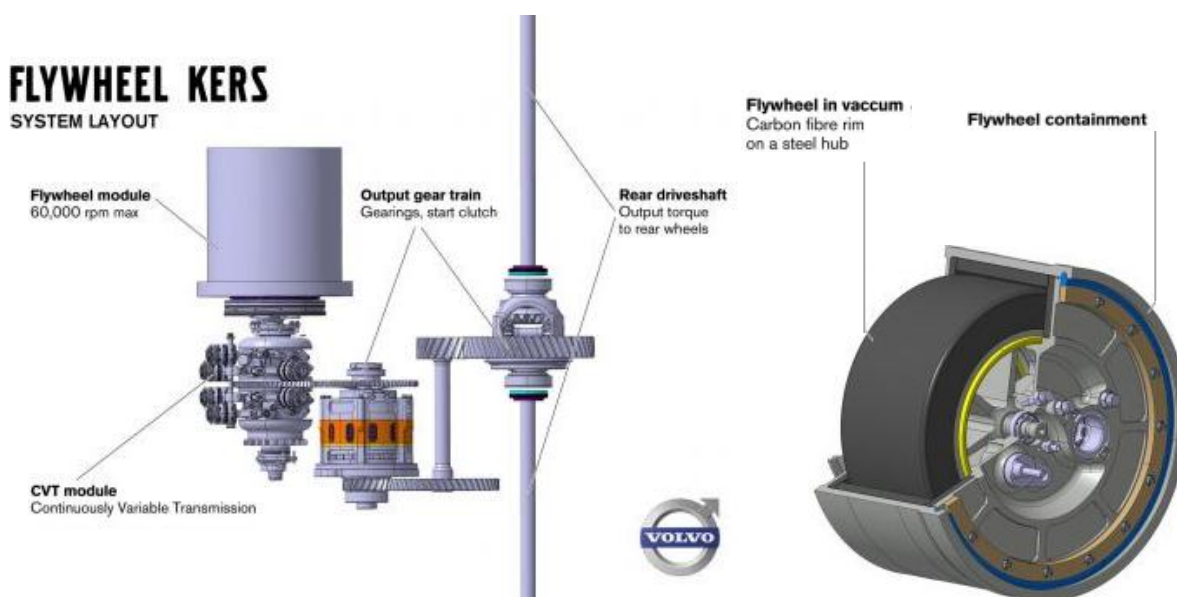
Tab. 7-1 – Porovnání výkonových parametrů olovené baterie, super-kondenzátoru a běžného kondenzátoru [9 – str. 77]

	Olovená baterie	Super-kondenzátor	Běžný kondenzátor
Nabíjecí doba	1 – 5 hod	0,3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
Vybíjecí doba	0,3 – 3 hod	0,3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
Měrná energie [W/kg]	10 -100	1 - 10	<0,1
Měrný výkon [W/kg]	< 1000	< 10 000	< 100 000
Životnost [cyklů]	1000	> 500 000	> 500 000
Účinnost nabíjení a vybíjení [%]	70 - 85	85 – 98	> 95

### 7.3.2 Mechanický akumulátor energie (setrvačnick)

Setrvačnick slouží ke krátkodobému uložení kinetické energie ve vozidlech. Jeho velikost je dána hmotností, velikostí a rychlostí otáčení setrvačnicku. Dle rychlosti otáčení jsou rotory vyrobeny buď z plastů vyztužených vlákny, které vydrží i více jak 100 000 otáček za minutu (vysokootáčivé) anebo z oceli s rychlostí 10 000 otáček za minutu (nízkootáčivé). Energie setrvačnicku je dodávána přes proměnný převod od hnací hřídele.





Obr. 7-4 – Volvo FKERS - systém setrvačnicku [13]

Jakmile dojíždíme ke křižovatce (na semaforu je červená) tak začneme brzdit. V tu chvíli začne setrvačnick rekuperovat kinetickou energii. Při dosažení maximálních dovolených otáček ( $60\,000\text{ min}^{-1}$ ), motor odpojí systém start-stop. Jakmile se na semaforu objeví zelená, tak sešlápneme plynový pedál, ale spalovací motor se rovnou nespustí a mechanická energie je dodávána ze setrvačnicku na hnací kola. Díky tomu se rozjede automobil na potřebnou rychlost, při které opět naskočí motor. Motor v této době spotřebuje na rozjezd nejvíce paliva, které je tím pádem ušetří. [13]

## 7.4 Výhody a nevýhody

Výhody:

- Nižší spotřeba paliva cca 30% – menší množství produkovaných emisí.
- Kombinovaný pohon umožňuje neomezený dojezd díky síti čerpacích stanic.
- Využívá rekuperační brzdění – úspora energie.
- Lepší dynamické vlastnosti při rozjezdu a zrychlení.
- Lepší možnosti rozmístění pohonných komponentů.

Nevýhody:

- Není to trvalé řešení proti ropné krizi.
- Více komponentů je spojeno s vyšší hmotností automobilu a vyšší poruchovostí.
- Vyšší pořizovací cena – návratnost za delší dobu 5-10 let dle počtu ujetých kilometrů.



## Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo zhodnotit, porovnat a popsat hlavní výhody a nevýhody moderních alternativních pohonů. Pro lepší porovnání všech mnou popsáných alternativních pohonů jsem vytvořil jednoduché tabulkové hodnocení, které je umístěno v přílohách mé bakalářské práce.

Toto hodnocení samozřejmě nemůže být nikdy přesné, protože každý má jiná hodnotící kritéria. Někdo nepotřebuje automobil s velkým dojezdem. Záleží na druhu používání, na výběru vybavenosti automobilu a dalších aspektech, které se k tomuto vztahují. Je to ovšem dobrý návod, jak porovnat a najít si vhodné a nejlepší řešení pro budoucího majitele automobilu.

Volba vhodné varianty – viz. přílohy 2, 3 a 4:

*Tab. Z -1 - Hodnotící kritéria*

*Tab. Z -2 - Hodnocení jednotlivých variant (benzín/nafta, LPG, CNG, biopaliva)*

*Tab. Z -3 - Hodnocení jednotlivých variant (vodík, palivové články, hybrid, elektromobil)*

Toho hodnocení je vztahováno na rok 2013. Ale pokud se podíváme na výhled do dalších let, tak tato tabulka bude výrazně změněna. Výrazné změny nastanou v ceně čistě alternativních pohonů, jako jsou vodíkové automobily, elektromobily na palivové články nebo elektromobily na baterie. Předpokládá se, že cena těchto automobilů klesne do 10 let na polovinu. Dojezd na čistě alternativní paliva bude delší. Také je vypracován plán na výstavbu čerpacích stanic na CNG, kde se mluví o číslech až 20 000 (každých 150 km) v Evropě (momentálně je jich cca 1000). V dnešní době jezdí v Evropě asi 1 milion automobilů na CNG, což je asi 0,5 % všech automobilů. Toto číslo by mělo do roku 2020 vzrůst až na desetinásobek. Momentálně je na tom nejvýhodněji stále benzínový a diesellový motor. Velmi se k nim přibližují automobily spalující LPG a následně CNG (až se dostaví více čerpacích stanic). Cena ropy půjde stále nahoru, takže provoz benzínových a naftových automobilů bude čím dál nákladnější. A to bude mít za následek velký nástup pořád dokonalejších ostatních vodíkových a elektrických automobilů.

Evropská unie plánuje extrémní výstavbu dobíjecích stanic po celé Evropě. Výjimkou není ani Česká republika, kde by podle odhadů mělo být do roku 2020 až 13000 dobíjecích míst se stejnou koncovkou pro dobíjení. To přispěje k výraznému nárůstu elektromobilů a hybridních automobilů, které se stanou standardním vybavením rodin, jako je tomu dnes s automobily spalujícími naftu nebo benzín. Cílem je, aby bylo čistější ovzduší a menší závislost na ropě.



Některé státy podporují prodej automobilů na alternativní paliva, což umožňuje lidem koupit například elektromobil za srovnatelnou cenu jako dieselový nebo benzínový automobil. V této tabulce můžete vidět, které státy podporují prodej ekologických automobilů a také jakou finanční hodnotou.

Tab. Z -4 - Finanční dotace občanům na elektromobily [15]

Dotace	Část	Max. Kč
Belgie	30%	237 102
Rakousko		20 640
Česká republika	Nic	
Dánsko		366 325
Francie	30%	180 600
Německo	Podpora výzkumu	
Irsko		129 000
Itálie	70 % z daní	
Lucembursko		77 400
Monako		232 200
Nizozemí	Sleva daně	136 740
Norsko	Sleva poplatků	283 800
Portugalsko	Prvních 5000	129 000
Rumunsko	25%	129 000
Španělsko	25%	154 800
Švédsko	40 % z daní	
Anglie		156 780
Indie	20%	34 065
Japonsko	Šrotovné	54 270



## Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] VLK, František. Koncepce motorových vozidel : Koncepce vozidel. Alternativní pohony. Komfortní systémy. Řízení dynamiky. Informační systémy. 1. vyd. Brno: VLK, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
- [3] GUPTA, Ram B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. Boca Raton: CRC Press, 2009. 611 s. ISBN 978-142-0045-758.
- [4] Hybridní automobily - Historie [online]. [cit. 2008-03-08]. [on-line 3.2.2013] Dostupné z www: <http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [5] AGC – autogas centrum spol. s r.o. , Strakonice - Typy LPG zařízení. [on-line 3.2.2013] Dostupné z www: <http://www.lpg-autogascentrum.cz/typy-lpg-zarizeni/>
- [6] GAS s.r.o.-Zemní plyn, Praha – Co je to zemní plyn, [on-line 5.2.2013] Dostupné z www: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>
- [7] Český plynárenský svaz. podmínky provozu, oprav, údržby a kontroly motorových vozidel s pohonným systémem CNG, GAS s.r.o. 2009 16s. ISBN 978-80-7328-143-4,
- [8] Nazeleno – Vodíkový pohon: Perspektivní alternativa ropy nebo utopie?, Článek vyšel v časopise - Alternativní energie 6/2009, [on-line 20.2.2013] Dostupné z www: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/vodikovy-pohon-perspektivni-alternativa-ropy-nebo-utopie.aspx>
- [9] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s. 2012. 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1
- [10] KAMEŠ, Josef. Alternativní pohon automobilů. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura 2004. 232 s. ISBN 80-7300-127-6
- [11] Elektromobily – informace. Dostupné z www. <http://elektromobil.vseznamu.cz/>
- [12] Auto.cz – Hybridní automobil - 5. 8. 2008, Ringier Axel Springer CZ a.s. [on-line 19.3.2013]. Dostupné z www: <http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [13] MARKOVIČ, Jan. Volvo chystá auto na setrvačnick - 31.5.2011, life.ihned.cz [on-line 26.3.2013]. Dostupné z [http://m.ihned.cz/?article%5Bgallery%5D%5Bdetail\\_id%5D=1488310&article%5Bgallery%5D%5Bfrom%5D=0&article%5Bgallery%5D%5Bid%5D=1141370&article%5Bid%5D=51975420&p=700000\\_d](http://m.ihned.cz/?article%5Bgallery%5D%5Bdetail_id%5D=1488310&article%5Bgallery%5D%5Bfrom%5D=0&article%5Bgallery%5D%5Bid%5D=1141370&article%5Bid%5D=51975420&p=700000_d)



- [14] CHARVÁT, Jan. Plán EU: Stovky tisíc dobíjecích míst pro elektromobily – 30.1.2013 [on-line 4.5.2013]. Dostupné z <http://www.ceskapozice.cz/domov/ekologie/plan-eu-stovky-tisic-dobijecich-mist-pro-elektromobily>
- [15] MARUŠINEC, Jaromír. Prezentace BVV-Autosalon: Elektromobilita u nás a ve světě 2013, ASEP Asociace elektromobilového průmyslu [on-line 5.5.2013] Dostupné z <https://drive.google.com/folderview?id=0B77-Kx7vQ3PeWnVvekhHbzV6WFE&usp=sharing&tid=0B77-Kx7vQ3PeeGxWOXd5T0FSLS1BSEpBaXhvT003QQ>

**Obrázky, tabulky a grafy:**

- [16] [http://www.enviros.cz/palivove\\_clanky/1\\_palivove\\_clanky.html](http://www.enviros.cz/palivove_clanky/1_palivove_clanky.html)
- [17] <http://kcc-hho.webnode.cz/elektromobil/>
- [18] <http://www.electroauto.cz/gm.html>
- [19] <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/niklkadmiovy-akumulator-nicd.htm>
- [20] <http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [21] [http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=tezba\\_a\\_spotreba\\_ropy&site=doprava](http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=tezba_a_spotreba_ropy&site=doprava)
- [22] <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [23] <http://www.kadatec.cz/cz/o-spolecnosti/co-je-lpg/>
- [24] [http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy\\_popis.php](http://www.lpg.cz/lpgsystemy/lpgsystemy_popis.php)
- [25] <http://opel.dobrovolny.cz/cs/alternativni-paliva/lpg>
- [26] <http://www.autolpg.cz/typy-redukci-plneni-29.html>
- [27] <http://www.autolpg.cz/velikost-nadrzi-lpg-30.html>
- [28] <http://www.autoplyn.sk/lada-niva-1-6.htm>
- [29] <http://www.neptun-harfa.cz/Vectra/3611.html>
- [30] <http://www.elpege.cz/lpg-prestavby/>
- [31] <http://www.auto-plyn-lpg.cz/flashlube>
- [32] <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/povinne-oznaceni-vozidel-s-pohonem-lpg-cng-plyn.htm>
- [33] [http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=zemni\\_plyn\\_\(cng,\\_lng\)&site=doprava](http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=zemni_plyn_(cng,_lng)&site=doprava)
- [34] <http://auta5p.eu/clanky/cng/cng.php>



- [35] <http://www.elpigas.cz/komponenty-a-sluzby/komponenty-pro-cng-prestavby/cng-nadrze>
- [36] <http://www.veciautomobilove.cz/cz/clanek/novy-opel-zafira-tourer-cng-507/>
- [37] <http://www.eon.cz/cs/domacnosti/produkty-a-ceny-zemniho-plynu/cng-silny-konkurent-benzinu-a-nafty.shtml>
- [38] <http://biom.cz/cz/obrazek/rozlozeni-zdroju-z-nichz-se-v-soucasne-dobe-ziskava-vodik>
- [39] <http://www.carmotor.cz/magazin/pages/BMW-Hydrogen-7,719.html>
- [40] <http://www.autoblog.com/2006/01/10/honda-plans-production-version-of-fcx-fuel-cell-concept/>
- [41] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx>
- [42] [http://www.enviros.cz/palivove\\_clanky/2\\_typy\\_palivovych\\_clanku.html](http://www.enviros.cz/palivove_clanky/2_typy_palivovych_clanku.html)



## Seznam použitých zkratek a symbolů

○ $H_xC_y$	$[g \cdot km^{-1}]$	Reaktivní uhlovodíky
○ $CO_2$	$[g \cdot km^{-1}]$	Oxid uhličitý
○ $H_2$	[-]	Vodík
○ $NO_x$	$[g \cdot km^{-1}]$	Oxid dusíku
○ $\rho_{pal}$	$[kg \cdot m^3]$	Hustota paliva
○ AFC	[-]	Alkaline Fuel Cells – Články s alkalickým elektrolytem
○ CNG	[-]	Stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas)
○ CO	$[g \cdot km^{-1}]$	Oxid uhelnatý
○ DMFC	[-]	Direct Methanol F. C. - Č. s přímou reakcí s metanolem
○ HC	$[g \cdot km^{-1}]$	Nespálené uhlovodíky
○ Hu	$[MJ \cdot kg^{-1}]$	Výhřevnost
○ LNG	[-]	Zkapalněný zemní plyn (Liquefied Natural Gas)
○ LPG	[-]	Zkapalněný propan-butan (Liquefied Petroleum Gas)
○ MCFC	[-]	Molten Carbonate F. C. – Č. s uhličitánovou taveninou
○ OČ	[-]	Oktanové číslo
○ PAFC	[-]	Phosphoric Acid Fuel Cells - Články s kys.fosforečnou
○ PČ	$[g \cdot km^{-1}]$	Pevné částice
○ PEMFC	[-]	Proton Exchange Membrane Fuel Cells - Články s polymerní iontoměničovou membránou
○ SOFC	[-]	Solid Oxide F. C. - Články s pevným elektrolytem



## Seznam příloh

- *Příloha 1 = Tabulka 6-1 - parametry palivových článků [15]*
- *Příloha 2 = Tabulka Z -1 - Hodnotící kritéria*
- *Příloha 3 = Tabulka Z -2 - Hodnocení jednotlivých variant (benzín/nafta, LPG, CNG, biopaliva)*
- *Příloha 4 = Tabulka Z -3 - Hodnocení jednotlivých variant (vodík, palivové články, hybrid, elektromobil)*



Tab. 6-1 - parametry palivových článků [42]

Druh	Nízkoteplotní			Středněteplotní	Vysokoteplotní	
	Alkalické AFC	Membránové PEMFC	Přímé metanolové DMFC	S kyselinou fosforečnou PAFC	S uhličitánovou taveninou MCFC	S pevným elektrolytem SOFC
Elektrolyt	Hydroxid draselný	Iontoměničná membrána	Iontoměničná membrána	Kyselina fosforečná	Tavené karbonáty lithia, vodíku, draslíku	Oxid zirkoničitý s příměsí yttria
Pracovní teplota (°C)	60 – 100	20 – 80	20 – 130	170 – 250	600 – 650	800 – 1000
Pohyblivý iont	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>
Elektrodové reakce	<b>A</b> $H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$  <b>K</b> $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$ $\sum H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	<b>A</b> $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$  <b>K</b> $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ $\sum H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	<b>A</b> CH <sub>3</sub> OH + H <sub>2</sub> O → CO <sub>2</sub> + 6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup>  <b>K</b> 3/2O <sub>2</sub> + 6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup> → 3H <sub>2</sub> O CH <sub>3</sub> OH + 3/2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	<b>A</b> $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$  <b>K</b> $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ $\sum H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	<b>A</b> $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$  <b>K</b> 1/2O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> $\sum H_2 + \frac{1}{2}O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$	<b>A</b> $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$  <b>K</b> 1/2O <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → O <sup>2-</sup> $\sum H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$
Účinnost (%)	45 – 60	40 – 60	40	38 – 45	45 – 60	50 – 65
Výkon (kW)	Do 20	Do 250	Do 10	50 – stovky kW	Do několika MW	Do několika MW
Používané palivo	Vodík	Vodík Reformovaná paliva	Metanol (Etanol)	Vodík Reformovaná paliva	Vodík Nepřímá paliva	Všechny druhy bez reformování
Možné aplikace	Kosmické lodě, lodě, ponorky	Univerzální	Přenosné články	Výroba energie	Výroba energie	Výroba energie



Tab. Z -1 - Hodnotící kritéria

Váha kritéria	Kritérium	Hodnocení			
		4 body	3 body	2 body	1 bod
		Výborně	Velmi dobré	Dostačující	Slabé
<b>9</b>	Požizovací cena	0 – 200 000Kč	200 000 – 400 000 Kč	400 000 – 600 000 Kč	600 000 a více Kč
<b>8</b>	Provozní náklady na 100km	0 – 100 Kč	100 – 150 Kč	150 – 200 Kč	200 a více Kč
<b>7</b>	Dojezd	Více jak 700 km	700 – 500 km	500 – 300 km	300 a méně
<b>6</b>	Dostupnost čerpacích stanic	0 - 10 km	10 - 20 km	20 - 30 km	Více jak 30 km
<b>5</b>	Ekologie	Nulové emise	Téměř nulové	Střední	Vysoké
<b>4</b>	Doba čerpání	0 – 5 min.	5 – 15 min.	15 – 30 min.	30 a více
<b>3</b>	Budoucnost	Perspektivní	Pravděpodobná	Stálá	Zanikající
<b>2</b>	Náhradní díly a servis	Každý	Specializovaný	Servis na objednání	Vzdálený servis
Maximální počet bodů 176 = nejlepší možná varianta					



Tab. Z -2 - Hodnocení jednotlivých variant (benzín/nafta, LPG, CNG, biopaliva)

Kritérium	Váha kritéria	Benzín / nafta		LPG		CNG		Biopaliva	
		Hodnocení	Součin	Hod.	Součin	Hod.	Součin	Hod.	Součin
Požizovací cena	9	4	36	4	36	3	27	4	36
Provozní náklady na 100km	8	1	8	2	16	3	24	1	8
Dojezd	7	4	28	3	21	3	21	3	21
Dostupnost čerpacích stanic	6	4	24	3	18	2	12	2	12
Ekologie	5	1	5	3	15	2	10	2	10
Doba čerpání	4	4	16	3	12	3	12	4	16
Budoucnost	3	1	3	2	6	2	6	2	6
Náhradní díly a servis	2	4	8	3	6	3	6	3	6
		<b>74,4% = 131 bodů</b>		<b>73,9% = 130 b.</b>		<b>67% = 118 b.</b>		<b>65,3% = 115 b.</b>	



Tab. Z -3 - Hodnocení jednotlivých variant (vodík, palivové články, hybrid, elektromobil)

Kritérium	Váha kritéria	Vodík		Palivový článek		Hybrid		Elektromobil	
		Hodnocení	Součin	Hod.	Součin	Hod.	Součin	Hod.	Součin
Pořizovací cena	9	1	9	1	9	2	18	2	18
Provozní náklady na 100km	8	2	16	3	24	3	24	4	32
Dojezd	7	4	28	4	28	4	28	1	7
Dostupnost čerpacích stanic	6	1	6	1	6	2	12	3	18
Ekologie	5	3	15	4	20	2	10	4	20
Doba čerpání	4	4	16	4	16	2	8	1	4
Budoucnost	3	4	12	4	12	3	9	4	12
Náhradní díly a servis	2	1	2	1	2	3	6	3	6
		<b>59,1% = 104 bodů</b>		<b>66,5% = 117 b.</b>		<b>65,3% = 115 b.</b>		<b>66,5% = 117 b.</b>	

