



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

MOTORY NA ALTERNATIVNÍ PALIVA ALTERNATIVE FUEL ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL BILÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Bilík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Motory na alternativní paliva

v anglickém jazyce:

Alternative Fuel Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních znalostí zadaného tématu. Stanovení základních vývojových trendů.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení specifických vlastností a zvláštností pohonných jednotek provozovaných na alternativní paliva. Vypracování přehledu konstrukčních odlišností. Zamyšlení nad budoucností alternativních paliv.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel 1. vyd. Brno: Vlk, 2004. 250s.
[2] HOFMANN, Karel. ALTERNATIVNÍ POHONY [s.l.] [s.n.] 2003 73 s Dostupný z WWW:
<www.ite.fme.vutbr.cz/opory/Alt.pohony.pdf>.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 22.10.2009



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá přehledem alternativních paliv pro pohon silničních vozidel a jejich dopadem na ekologii. Dále popisuje specifické vlastnosti a zvláštnosti pohonných jednotek, která jsou poháněna alternativními palivy, jejich výhody, nevýhody a uvádí příklady některých vozidel.

Abstract

This thesis deals with an overview of alternative fuels for road vehicles and their effect on ecology. This work also describes the specific characteristics and peculiarities of power units which run on alternative fuels, their advantages, disadvantages and shows examples of some vehicles.

Klíčová slova

rostlinné oleje, bionafta, etanol, metanol, LPG, CNG, vodík, elektromobil, hybridní pohon

Keywords

vegetable oils, biodiesel, ethanol, methanol, LPG, CNG, hydrogen, electromobile, hybrid drive

Bibliografická citace

BILÍK, M. *Motory na alternativní paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Poděkování

Děkuji tímto především vedoucímu mé práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce, pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím uvedených zdrojů.

V Brně dne 28.5.2010

.....
Michal Bilík

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Modifikované spalovací motory a motory na biopaliva | 9 |
| 2.1 Biogenní paliva a alkoholy | 9 |
| 2.1.1 Rostlinné oleje | 9 |
| 2.1.2 Bionafta | 12 |
| 2.1.3 Paliva na bázi alkoholů | 13 |
| 2.1.3.1 Etanol | 14 |
| 2.1.3.2 Metanol | 18 |
| 2.2 Ropný a zemní plyn | 19 |
| 2.2.1 Zkapalněný ropný plyn – LPG | 19 |
| 2.2.2 Zemní plyn – CNG, LNG | 24 |
| 3 Vodíkový pohon | 31 |
| 3.1 Spalovací motory na vodík | 31 |
| 3.2 Elektromotor s palivovými články | 33 |
| 3.3 Výhody a nevýhody vodíkového pohonu | 34 |
| 3.4 Příklady vodíkových vozidel | 35 |
| 4 Elektromobily | 37 |
| 4.1 Elektromotor | 38 |
| 4.2 Bateriové systémy | 40 |
| 4.3 Příklady elektromobilů | 42 |
| 5 Hybridní pohon | 43 |
| 5.1 Hlavní části hybridního vozu | 44 |
| 5.2 Uspořádání hybridních pohonů | 47 |
| 5.3 Příklady hybridních vozidel | 48 |
| 6 Vyhlášky, předpisy, normy | 52 |
| 7 Závěr | 55 |
| 8 Seznam použitých zdrojů | 56 |
| 9 Seznam použitých zkratk | 60 |

1 Úvod

Již v minulosti, kdy se začaly vyrábět a prodávat první dopravní prostředky poháněné motory, až po současnost, si na ně lidé natolik zvykli, že život bez nich je téměř nepředstavitelný. Ani v blízké budoucnosti se neočekává, že bychom opustili od strojů využívajících ke svému pohonu motor.

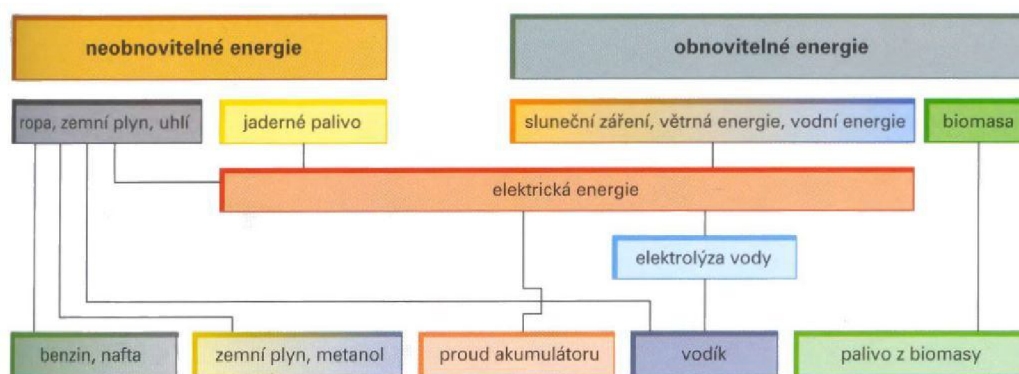
Důvodů, proč se automobiloví výrobci zabývají vývojem pohonných jednotek na alternativní paliva je několik. Mezi ty nejdůležitější patří snaha snížit škodlivé látky, které unikají při spalování do atmosféry a snížit závislost na ubývajících fosilních palivech.

V současné době je stále aktuálním tématem z oblasti kvality životního prostředí skleníkový efekt a s ním související ohřev zemské atmosféry. Plyny přispívající ke tvorbě skleníkového efektu a částice, které vznikají při spalování fosilních paliv se dnes již podařilo redukovat. Dalším problémem, který vzniká při spalování klasických paliv je narušování ozónové vrstvy vlivem emisí oxidu dusíku. Pokud je narušena ozónová vrstva, dochází k propouštění neviditelného ultrafialového záření a zvyšuje se tak riziko rakoviny kůže. Výfukové emise rovněž přispívají ke vzniku kyselých dešťů, které následně způsobují okyselování půdy a vody např. oxidem dusíku a oxidem siřičitým.

Druhým již zmíněným problémem je samotná ropa a fosilní paliva vůbec. Jelikož zásoby fosilních paliv jsou omezené a jejich zásoby klesají, dochází také ke zvyšování jejich cen. Podle hrubé prognózy se odhaduje, že k vyčerpání zásob ropy nedojde dříve jak za sto let. Hlavním problémem současnosti jsou tedy znečišťování životního prostředí a poté až zásoby ropy. Tyto problémy je potřeba v co nejkratší době vyřešit, aby v budoucnu nedošlo k zániku dopravy, ale také fauny a flóry.

Aby bylo možné plnit zpřísňující se legislativní emisní předpisy, musí být současné automobily vybaveny různými technickými vybaveními, jako jsou třicestné katalyzátory, filtry pevných částic nebo systém přímého vstřikování paliva.

Do budoucna se počítá s dalším zpřísňováním emisních norem, kterých běžný spalovací motor pravděpodobně nebude schopen dosáhnout. Je tedy zapotřebí najít vhodný alternativní zdroj energie, který poskytne palivo (**obr. 1**) šetrné k životnímu prostředí, zároveň bude plnit požadavky na komfort jízdy (dlouhý dojezd, nízká spotřeba paliva, aj) a hlavně bude mít zajištěnou dostatečnou infrastrukturu doplňování, popř. dobíjení.



Obr. 1 Druhy paliv [34]

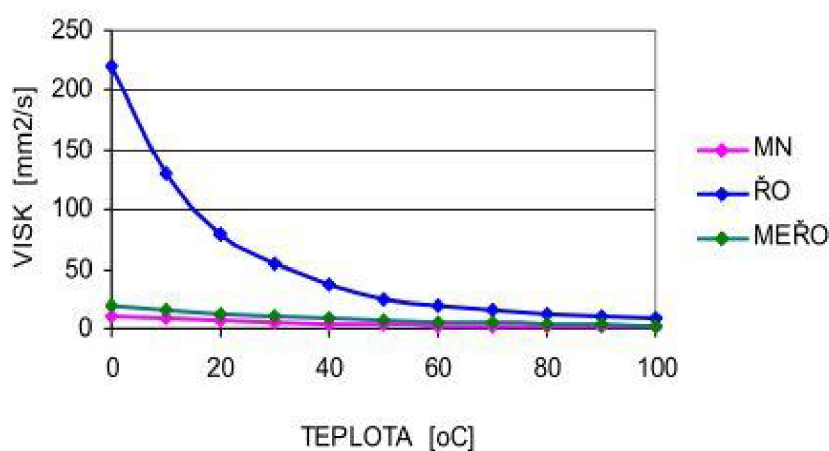
2 Modifikované spalovací motory a motory na biopaliva

2.1 Biogenní paliva a alkoholy

Biomasa představuje souhrn látek, jež mají svůj původ ve slunečním záření a fotosyntéze, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie. Nejjednodušší způsob, kterým se do budoucna můžeme stát nezávislími na fosilních zdrojích, je např. využití energie z paliv, která vznikají z dorůstajících surovin jako výsledek výrobní činnosti (cukrová řepa, cukrová třtina, brambory, olejiny, ...) nebo z energie získané z odpadů výroby (např. zemědělské, lesnické, potravinářské a to ve formě exkrementů užitkových zvířat, odpadů ze sadů, slámy, atp.). Nejdůležitějšími palivy vyráběnými z biomasy jsou: metanol, etanol, bionafta, bioplyn a dřevoplyn. Kde bioplyn a dřevoplyn (používaný nejvíce v době 2. světové války) ustupují v dnešní době spíše do pozadí. Biomasa, jako zdroj energie, byla používána ještě dříve než benzín. Již od třicátých let 20. století se užíval alkohol vyrobený z biomasy jako motorové palivo. [38]

2.1.1 Rostlinné oleje

Rostlinné oleje se získávají lisováním semen nebo plodů olejnin. V Evropě se nejvíce používá řepka olejná, dále jsou to pak slunečnice, kokosový ořech, sója, olivy a další. Vlastnosti rostlinných olejů závisí na druhu a množství mastných kyselin v nich obsažených. Oleje s větším množstvím nasycených kyselin mají dobrou oxidační stálost, ale jsou dobře tekuté až od teplot nad +20 °C. To je například problém u palmového oleje, který by byl v našich podmínkách nepoužitelný. Oleje, které známe z našich kuchyní jsou naopak dobře tekuté i při teplotách pod 0 °C, protože obsahují nenasycené mastné kyseliny. Důležitý rozdíl mezi oleji a motorovou naftou je tedy v hodnotě viskozity, viz **obr. 2**. [31]



Obr. 2 Kinematická viskozita motorové nafty (MN), řepkového oleje (ŘO) a metylesteru řepkového oleje (MEŘO) v závislosti na teplotě [23]

Jakékoli palivo s vysokou viskozitou má na spalování negativní vliv. Obecně je známo, že čím nižší je teplota, tím vyšší je viskozita, což má za následek pomalejší proudění paliva.

U motorové nafty platí, že má při jakékoli teplotě vždy nižší viskozitu než oleje a její hodnota u ní klesá mnohem pomaleji než u rostlinných olejů. Tato skutečnost je u motorů nežádoucí při každém studeném startu a hlavně v zimním období. Další srovnávací parametry s motorovou naftou lze nalézt v **tabulce 1**. [31]

Tabulka 1: Parametry nafty, řepkového a slunečnicového oleje [23]

| | Jednotka | Nafta | Řepkový | Slunečnicový |
|---------------------------|----------------------------------|-------|---------|--------------|
| Hustota (15°C) | kg.m ⁻³ | 830 | 915 | 920 |
| Výhřevnost | MJ.kg ⁻¹ | 42,5 | 36 | 36,5 |
| Kinemat. Viskozita (40°C) | mm ² .s ⁻¹ | 3 | 35 | 34 |
| Teplota vzplanutí P-M | °C | 55 | 246 | 274 |
| Cetanové číslo | | >51 | 38 | 37 |

Nevýhodu při použití olejů je vstříkávání větších kapek paliva, vlivem zvýšené viskozity a jeho zvýšená teplota odpařivosti. Dochází tak ke tvorbě karbonu, který způsobuje snížení výkonu motoru, v horším případě způsobí znehybnění pístních kroužků a tím dojde k zadření motoru. [38]

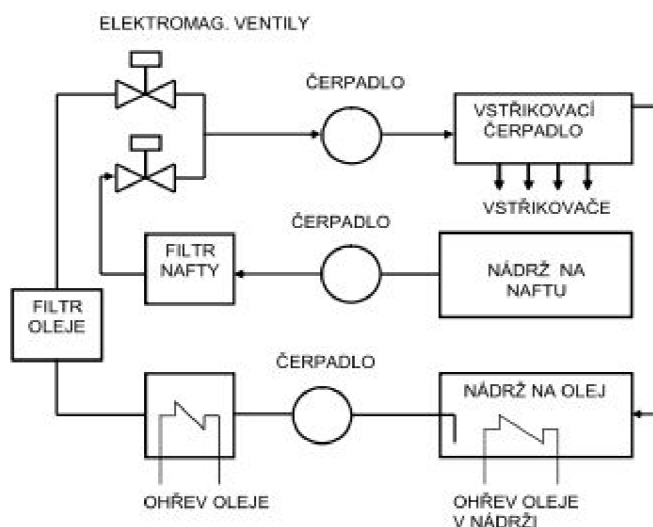
Mezi další specifické problémy patří [23]:

- tvorba shluků polotuhých látek vlivem polymerace za vyšších teplot a styku s vodou, což způsobuje ucpávání průtokových průřezů v palivovém systému, **obr. 3**
- podpora rychlejšího stárnutí motorového oleje, proto je nutné zkrátit intervaly pro jeho výměnu

Pokud bychom chtěli používat čistý rostlinný olej v běžném naftovém motoru, bylo by nutné palivo před použitím v motoru předeřhřivat a vhodně upravit poměry výstřikových otvůrků trysky. Podle [23] lze např. palivové příslušenství motoru uspořádat dle **obr. 4**, kdy se studený motor spouští na motorovou naftu a po ohřátí rostlinného oleje na provozní teplotu asi 80 °C se přejde na jeho vstříkávání.



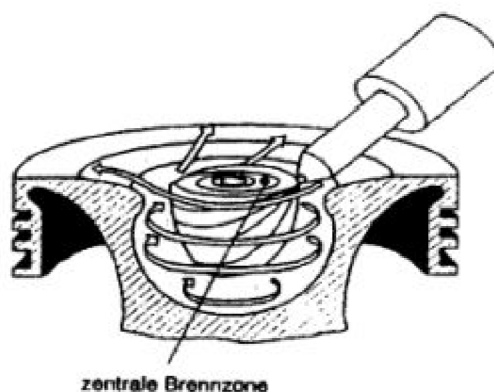
Obr. 3 Polymerací zahuštěný olej [23]



Obr. 4 Palivové příslušenství vozidlového motoru na rostlinný olej [23]

Existuje ale také motor, na kterém lze toto palivo provozovat i v čisté formě. Jedná se o duotermický Elsbethův motor s přímým vstřikem paliva. Horký střed kulového spalovacího prostoru je obklopen vrstvou relativně chladného rychle se pohybujícího vzduchu, jak je znázorněno na **obr. 5**. Vrstva chladného vzduchu zabraňuje odvodu tepla, takže se ve středu spalovacího prostoru může dosáhnout až teploty 650 °C. Tím je zajištěno potřebné odpaření kapek oleje. Pístová skupina se chladí ostříkem mazacího oleje. [23]

U motorů s nepřímým vstřikem paliva probíhá iniciace spalování zpravidla ve vířivé předkomůrce umístěné v hlavě válců a spojené s válcem tangenciálním kanálem. Pro rostlinné oleje potřebné vyšší teploty spalování jsou v tomto případě v předkomůrce, a ne ve spalovacím prostoru v pístu. Úprava naftového motoru pro provoz na rostlinné oleje je v případě nepřímého vstřiku paliva jednodušší než úprava motoru s přímým vstřikem. [23]



Obr. 5 Spalovací prostor s rotující vzduchovou náplní, vstřikovací tryskou a centrální zónou hoření [23]

2.1.2 Bionafta

Bionafta je palivo, které vzniklo za účelem použití v neupraveném naftovém motoru. Vyrábí se pomocí esterifikace na metylester (např. MEŘO – MetylEster Řepkového Oleje; v cizích zemích označováno jako RME – Repeseed Methyl Ester), což je proces, při němž se účinkem alkoholu štěpí velké molekuly oleje na menší. Tak dochází ke snížení viskozity (viz **obr. 1**) a tvorbě směsi paliva se vzduchem, která odpovídá použití motorové nafty. Rozlišujeme dva druhy této nafty: bionafta 1. generace a bionafta 2. generace. Mluvíme-li o bionaftě 1. generace, máme na mysli čistý metylester řepkového oleje, který se používá např. v Rakousku nebo v Německu. V České republice se používá jen bionafta 2. generace, též označována podle českých zákonů a norem jako směsná nafta (SMN). Směsná nafta obsahuje min. 31 % MEŘO a zbytek tvoří motorová nafta. [38]

Řepka olejná na sebe při fotosyntetické reakci naváže větší množství CO₂, než které vznikne při spalování MEŘO. Nedochozí tak k dalšímu zatěžování životního prostředí zvyšováním podílu CO₂ v atmosféře. Ve srovnání s motorovou naftou dochází při použití MEŘO k významnému snížení emisí nespálených uhlovodíků, částic a na nich navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků. Použijeme-li oxidační katalyzátor, dojde vlivem oxidace uhlovodíků k dalšímu snížení emisí částic. Taktéž dojde ke snížení obsahu aldehydů a ketonů, které se vyznačují značným zápachem. Rostlinné oleje neobsahují žádnou síru, a proto při jejich spalování nevznikají oxidy síry SO_x, které ve styku se vzdušnou vlhkostí vytváří kyseliny a jsou příčinou tzv. kyselých dešťů. V neposlední řadě se bionafta vyznačuje dobrou biologickou odbouratelností při kontaminaci půdy – výrobci garantují až 90 % během 21 dnů. [38]

Bionafta má i řadu nevhodných vlastností [38] [23]:

- poškozují pryžové součástky palivového systému (nutná náhrada např. za díly z plastických hmot), nepříznivě působí na některé barvy a laky,
- u směsných bionaft s větším než 10 % podílem MEŘO a přítomností vody dochází často ke kontaminaci paliva bakteriemi
- přítomnost glycerinu při dlouhodobém skladování má za následek vznik úsad na stěnách spalovacího prostoru a v mezikroužkových mezerách, jakož i v drážkách pro pístní kroužky, může dojít k ucpání palivového systému a hlavně palivového filtru
- zanášení a nárůst karbonu na špičce vstříkovací trysky
- vyšší spotřeba paliva (asi o 4 %) vlivem nižší výhřevnosti ve srovnání s motorovou naftou
- zvýšení kouřivosti asi o 50 % a snížení výkonu asi o 5 %
- při obsahu MEŘO nad 10 % vznikají problémy při startování za nižších teplot
- vlivem ředění motorového oleje dochází ke zhoršení jeho parametrů, což vede k častějším výměnám oleje a k používání nákladnějších kvalitnějších olejů

Příklady vozidel, která lze provozovat na bionaftu:

| | |
|---------------|---|
| Mercedes-Benz | - C 200 D, C 220 D, E 200 D, E 220 D ... MEŘO musí však odpovídat normě DIN 51606 [38] |
| Volkswagen | - od roku 1995 jsou vozidla typu Polo Classic, Sharan (1996) přizpůsobena na použití MEŘO, taktéž dle DIN 51606 U typů se vznětovými motory Golf A3, Variant A3, Vento A3, Passat B4 a částečně i Passat B3, Transporter/Caravelle TA lze úpravu dodatečně provést. [38] |
| Audi | - vozidla typu A4, A6 s motory TDL vyráběná od roku 1996 jsou přizpůsobena pro použití bionafty MEŘO dle DIN 51606 [6] |
| Mazda | - Mazda 2, 3, 5, 6 pouze SMN s 5 % obsahem MEŘO [6] |
| Peugeot | - všechny typy pouze na SMN s 5 % obsahem MEŘO [6] |
| Škoda | - Fabia, Superb, Octavia (pouze s paketem Biodiesel) [6] Schválena je SMN s obsahem 30 % - 36 % MEŘO. [38] |

Toto byly příklady vozidel, která jsou schválena přímo od výrobce. Bionaftu lze také provozovat i na spoustě jiných značek, které použití nafty schváleno nemají. V řadě případů s ní nejsou problémy, ale její použití je na vlastní riziko, protože může dojít k poškození motoru [6]. V České republice bionafta spíše ustupuje do pozadí, protože zákony EU nařizují přimíchávat do běžné motorové nafty určité množství MEŘO, tímto bionafta 2. generace postupně mizí z našeho trhu.

2.1.3 Paliva na bázi alkoholů

Mezi nejvýznamnější představitele alkoholů vhodných pro spalovací motory patří metanol (metylalkohol, karbinol, dřevný líh; CH_3OH), etanol (etylalkohol, alkohol, líh; $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) a další. Metanol lze vyrábět z fosilních paliv (ropa, zemní plyn), ale i částečně z biomasy (suchou destilací dřeva). Etanol vzniká kvašením surovin obsahující cukr, celulózu nebo škrob. Při spalování alkoholů dochází k tvorbě aldehydů a ke zvyšování obsahu CO a CH_x ve spalinách. Poklesne ale množství pevných částic, to souvisí s tím, že oproti naftě nebo benzínu mají jednodušší strukturu a lépe hoří. Vlastnosti a porovnání metanolu a etanolu s benzínem a naftou jsou v **tabulce 2**. [38]

Tabulka 2: Vlastnosti etanolu a metanolu a jejich porovnání s ropnými palivy [38]

| | Etanol | Metanol | Benzin | Nafta |
|---|--------|---------|--------|-------|
| Výhřevnost [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] | 26,9 | 21,3 | 43,7 | 42,5 |
| Bod varu [$^{\circ}\text{C}$] | 78,3 | 64,5 | 99,2 | 150 |
| Oktanové číslo VM | 106 | 105 | 79-98 | - |

U alkoholů lze zvýšit kompresní poměr zážehových motorů vlivem vyššího oktanového čísla. Velké výparné teplo způsobuje vnitřní ochlazování směsi a tím zajišťuje lepší plnění válců. I přes nižší výhřevnost oproti benzínu dokáže rychleji a dokonaleji shořet. Nevýhodou je zhoršená návaznost k vodě způsobující korozi. V případě směsi alkoholu s benzinem způsobí voda separaci frakcí benzínu a degradaci paliva. [38]

Zážehové motory nevyžadují žádné větší úpravy při přechodu na alkoholové palivo. Je potřeba, vlivem nižší výhřevnosti, zvýšit dávku paliva tak, aby odpovídala směšovacímu poměru. Vyšší hodnota oktanového čísla nám umožňuje zvětšit kompresní poměr a získat tak vyšší účinnost motoru. Dále je potřeba nahradit díly palivového systému a motoru takovými, které nepodléhají korozi. [38]

Vznětové motory je nutné přestavět na motory zážehové, nebo provést dostatečnou úpravu paliva, aby jej bylo možné na vznětovém motoru provozovat. Dále je zapotřebí vyřešit nízkou vznětlivost alkoholů (vlivem nízkého oktanového čísla) a malé mazací schopnosti ve vztahu k vstřikovacímu čerpadlu a tryskám – tyto problémy lze eliminovat vhodnými aditivami na bázi dusičnanů a dusitanů. [38]

2.1.3.1 ETANOL

Jedná se o alkohol nižších skupin, v přírodě se vyskytuje jen zřídka a na rozdíl od metanolu není jeho používání v malém množství toxické pro člověka. Etanol se vyrábí kvašením, neboli fermentací, vhodných surovin (obilí, brambory, kukuřice, cukrová třtina, cukrová řepa, ovoce, ...). Po 30 hodinách vznikne asi 10 % alkoholu, který se oddělí destilací a může se použít jako palivo ve spalovacích motorech. Celý proces výroby doprovází vznik vedlejších produktů, které lze využít např. jako bílkovinná krmiva. Výhodou etanolu je, že z jednoho hektaru je možné získat více litrů paliva než v případě MERO. V případě, že by došlo k nahrazení většího množství již používaných paliv právě etanolem, tak by jeho výroba v celosvětovém měřítku představovala značnou konkurenci potravinářskému průmyslu, což na druhou stranu představuje jistou nevýhodu tohoto paliva. [38]

Zážehové motory

V palivech pro zážehové motory se může podle [24] etylalkohol uplatnit jako:

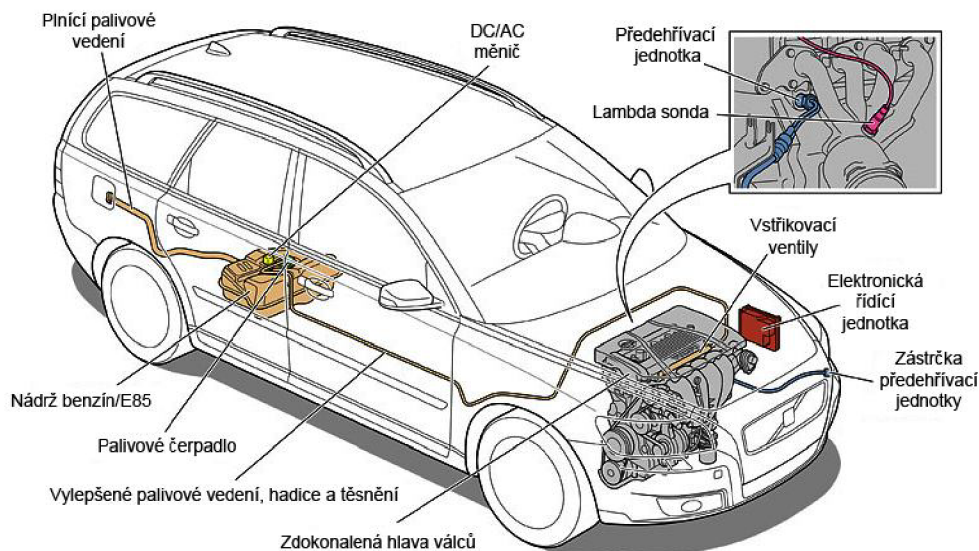
- náhrada benzínu palivem s vysokým obsahem etylalkoholu (až 90 %, 85 % v palivu E85) pro speciálně přizpůsobené motory
- paliva s různým obsahem etylalkoholu (obvykle až do 85 %) pro motory s elektronickými řídicími systémy umožňující provoz i na benzin a určené pro „Flexible Fuel Vehicles“ (dále jen FFV),
- kyslíkatá a oktanové číslo zvyšující složka benzínu – ETBE (etyltercbutyleter)

Zážehové motory na etanol – stručná charakteristika [24]

- nižší měrná spotřeba tepla než u benzínových motorů
- odolnost proti klepání – detonačnímu spalování (vlivem vyššího oktanového čísla)
- vysoká hodnota oktanového čísla rovněž umožňuje zvětšit kompresní poměr až na 15:1 a tím se následně lépe využije účinnost motoru
- vyšší naplnění válců palivovou směsí zvyšuje výkon motoru
- kvůli nízké výhřevnosti je měrná hmotnostní spotřeba etylalkoholu vyšší než spotřeba benzínu
- vysoké výparné skupenské teplo působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot, řešením je spouštět motor na benzín, případně použít zařízení pro spouštění za nízkých teplot, **obr. 5**
- po přechodu z benzínu na E85 je obsah CO ve výfukových plynech nižší nebo srovnatelný, mírně vzroste obsah HC, mnohonásobně vzroste podíl aldehydů a mírně klesne obsah NO_x

Zážehové motory pro FFV

Motory flexi-fuel (systém řízení motoru vyvinutý firmou Bosch) jsou schopny provozu na benzín, palivo E85 (85 % etanol, 15 % benzín) nebo na libovolnou kombinaci benzínu s E85. Motor může mít vysoký kompresní poměr, který vyhovuje i benzínu. Celý palivový systém je dimenzován a přizpůsoben pro provoz na etylalkoholové palivo, z důvodu rozdílných vlastností a vyšší chemické agresivité než má benzín. Řídící jednotka (**obr. 6**) získává pomocí lambda sondy informace o složení paliva (obsahu etylalkoholu) na základě obsahu kyslíku ve výfukových plynech a podle toho upraví seřizovací parametry, jako je dávkování paliva, předstih zážehu, atp. [24]



Obr. 6 Systém FFV Volvo V50 1.8F [21]

Vznětové motory

Jak již bylo zmíněno, u naftových motorů je zapotřebí vyřešit nižší mazací schopnosti, výhřevnost a vznětlivost etylalkoholu. Rozdíly v mazacích schopnostech a vznětlivosti oproti naftě lze eliminovat vhodnými přísadami, zásahy do konstrukce motoru nejsou tedy nutné. S ohledem na nižší výhřevnost je ale nutné provést úpravy týkající se palivového příslušenství, např. vstřikovacích trysek. [24]

Částečná náhrada nafty neupraveným etylalkoholem [24]:

Etylalkohol bez přísad, kterými lze zvýšit vznětlivost paliva lze použít u motorů pracujících současně se dvěma palivy – naftou a etylalkoholem.

Známé způsoby použití etylalkoholu:

- vstřikování směsi nafty s etylalkoholem do spalovacího prostoru,
- vstřikování pomocí dvou čerpadel; jedno vstřikuje naftu, druhé etylalkohol
- nasávání směsi etylalkoholu se vzduchem – palivová směs se tvoří nízkotlakým vstřikováním etylalkoholu do sání motoru.

Tyto způsoby využití etylalkoholu nebývají pro svou technickou finanční náročnost prakticky využívány.

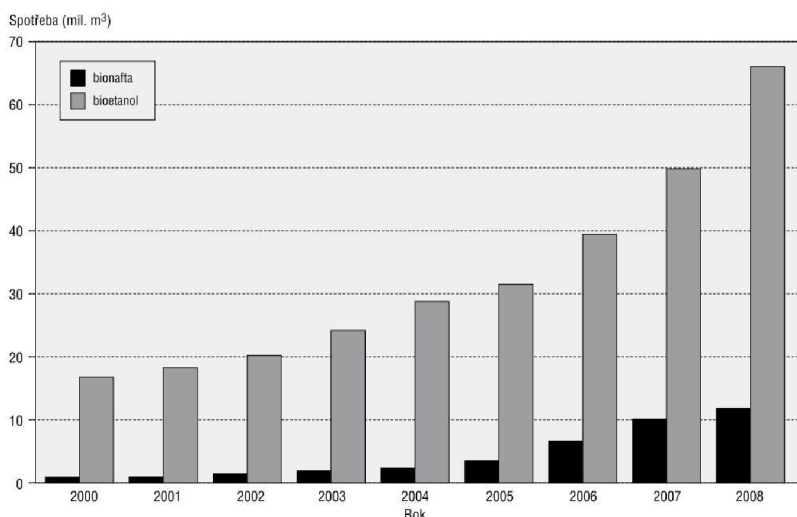
Úplná náhrada nafty etylalkoholovým palivem [24]:

Odlišnosti motoru na etylalkohol oproti motoru na naftu jsou např.:

- palivová vstřikovací soustava (vstřikovací čerpadlo a trysky) musí být přizpůsobena na 1,6 krát nižší výhřevnost
- provoz na etylalkoholové palivo vyžaduje jiný počátek vstřiku paliva než provoz na naftu
- motor musí být vybaven oxidačním katalyzátorem ke snížení obsahu CO a CH

Etanol patří mezi jedny nejstarších alternativních paliv. Jako palivo se uplatňuje mnohem lépe než bionafta, o čemž svědčí i graf spotřeby bionafty a bioetanolu na **obr. 7**. Nejvíce se používá v Brazílii a v USA. [38]

V Evropě se toto palivo používá nejvíce ve Švédsku, kde je na palivo E85 v provozu více než 16000 vozidel a počet čerpacích stanic s E85 je větší jak 250. V České republice nejsou zatím takové podmínky na provozování etanolu v dopravě jako v jiných zemích. Chybí zde rozsáhlá síť čerpacích stanic a podpora ze strany státu. První čerpací stanice v naší zemi byla otevřena 11. 6. 2009. [27]



Obr. 7 Světová spotřeba bioetanolu a bionafty v motorových vozidlech [12]

V současnosti jsou nejvíce oblíbené vozy typu FFV. Mezi největší brazilské výrobce automobilů schopných provozu na bioetanol patří Volkswagen a General Motors. V evropských zemích, a také v České republice, lze zakoupit automobily např. značek:

- Ford... Focus, C-MAX, Mondeo, S-MAX, Galaxy
- Volvo... C30, S40, S80, V50, V70
- Saab... 9-3, 9-5
- Škoda... Octavia Multifuel (tento model zatím není na prodej ČR)
- atd.

Bioetanol našel uplatnění také v autobusové dopravě např. u firmy Scania, která se vývoji motorů na toto palivo věnuje již více než 20 let. Motory jsou založeny na dieselovém spalování a poskytují o 40 % vyšší účinnost než motory Otto. Do městského a příměstského provozu Scania nabízí nízkopodlažní autobus OmniCity (**obr. 8**) poháněný směsí etanolu E95. [32]



Obr. 8 Scania OmniCity na bioethanol [32]

2.1.3.2 METANOL

V minulosti vznikal metanol při výrobě dřevěného uhlí a pouze jako vedlejší produkt. Nyní se vyrábí jako hlavní produkt k pohonu motorových vozidel. Metanol je čistá kapalina bez zápachu, která se v přírodě vyskytuje jen ojediněle a pro člověka je to jedovatá látka. Nejvíce se produkuje v zemích Brazílie, USA a Švédsko. Lze jej vyrobit nejen z biomasy, ale také z fosilních paliv (zemní plyn, uhlí, ...). Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je to, že jeho cena je oproti výrobě ze zemního plynu asi dvojnásobná. Metanol lze převést na vysoce oktanové palivo, které neobsahuje síru a při jeho spalování dochází jen k malému znečištění ovzduší. Metanol vyrobený ze dřeva a použitý jako náhrada za benzín produkuje nižší množství škodlivin, v průměru 20-70 %. Nahradíme-li jím naftu, dojde ke značnému snížení emisí i tuhých částic, viz **tabulka 3** [38]

Vozidla, která ke svému pohonu používají metanol se výkonově a z hlediska jiných charakteristik, jako je např. dojezd, příliš neliší od vozidel spalujících benzín. Jelikož metanol má nízké cetanové číslo, je potřeba vznětové motory vybavit pomocným zapalovacím systémem. Tyto motory mohou také spalovat směs metanolu s naftou a již při malém obsahu nafty není nutné používat zapalovací svíčky. Toto palivo lze použít jednak v čisté formě (M100 používaný především pro dodávky a nákladní vozidla), ale také jako směs pro lehčí vozidla (např. M85 – 85 % metanolu a 15 % benzínu). [38]

Tabulka 3: Snížení emisí při použití metanolu místo nafty u nákladního vozu [38]

| | Snížení emisí |
|-----------------|---------------|
| NO _x | -65% |
| CO | -95% |
| HC | -95% |
| Tuhé částice PT | -100% |

Výhody použití metanolu [38]:

- jeho výroba je odzkoušená, spolehlivá, široce využívaná a ve srovnání s výrobou etanolu je levnější a existuje pro ni širší spektrum vstupních veličin
- metanol má vyšší oktanové číslo, které nám umožní vyšší kompresi a tím lépe využít účinnost motoru
- nižší teplota hoření
- produkuje méně škodlivin
- snadnější manipulace než s benzinem – rozpustný ve vodě, méně prchavý, bezpečnější při dopravních nehodách a požár lze uhasit i vodou

Nevýhody použití metanolu [38]:

- toxicita – při vdechnutí nebo při působení na kůži, což může být problém při tankování paliva
- formaldehydový zápach při studeném startu a zahřívání motoru

- neviditelný plamen
- urychluje korozi kovových materiálů, negativně působí i na plastové materiály
- odstraňuje olej z míst, kde je zapotřebí – detergentní účinek
- u benzínových motorů způsobuje problémy při startování za nízkých teplot
- má asi poloviční energetickou hustotu než nafta, a proto je ke stejnému dojezdu zapotřebí zhruba dvakrát tolik paliva
- výroba je dražší než výroba benzínu

2.2 Ropný a zemní plyn

2.2.1 Zkapalněný ropný plyn - LPG

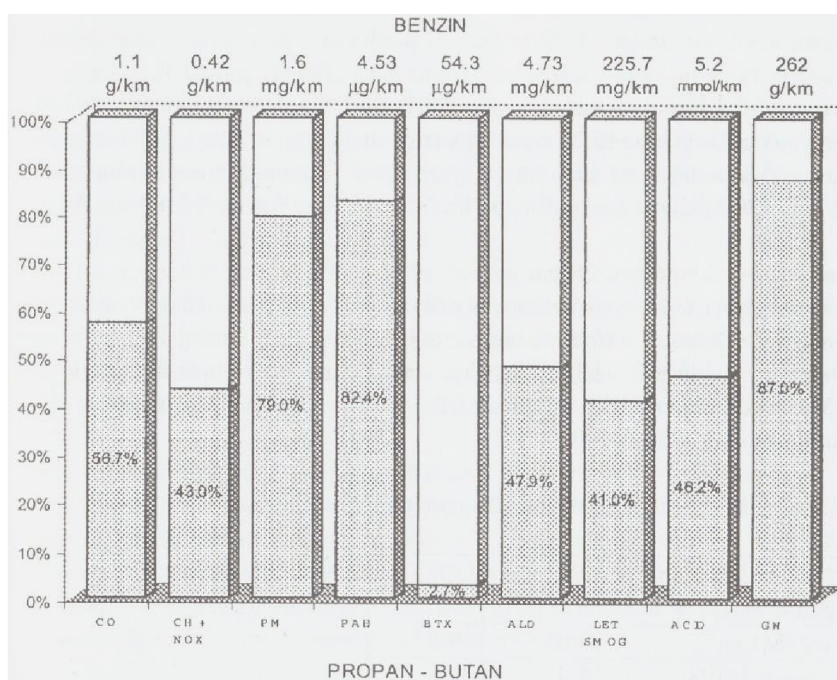
Zkapalněný ropný plyn, neboli LPG - Liquefied Petroleum Gas, vzniká při zpracování ropy a někdy se získává i ze zemního plynu. Je to především směs propanu a butanu, jejichž poměr závisí na teplotě použití. Směsi pro zimní použití obsahují více propanu. Používá se jako palivo pro vytápění nebo k pohonu motorových vozidel. [29]

Jako palivo pro motorová vozidla umožňuje dosažení velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce. Obsahuje vedle propanu a butanu ještě malé množství síry, žádné olovo ani benzenové uhlovodíky. LPG produkuje vlivem menšího obsahu uhlíku méně škodlivin než motory na klasická paliva. Tato skutečnost vede k nižší produkci CO. Proti vozidlům na naftové palivo mají plynofikovaná vozidla nižší obsah NO_x, CO, částic, aldehydů a polycyklických uhlovodíků. Ve srovnání s benzínovými motory se LPG vyznačuje výrazným poklesem, asi o 40 %, výfukových emisí při studených startech a při nízkých teplotách okolí. [38]

Vozy na plynový pohon jsou vybaveny třicestným katalyzátorem, který mění uhlovodíky (HC), kysličník uhelnatý (CO) a oxid dusíku (NO_x) na kysličník uhličitý (CO₂), dusík (N₂) a vodu (H₂O). Velké riziko pro tyto katalyzátory představuje přítomnost síry v palivu, proto se klade důraz na jeho čistotu a kvalitu. Srovnání množství škodlivin benzínu a LPG znázorňuje **obr. 9**. [39]

Nízké obsahy emisí jsou hlavním důvodem zavádění tohoto paliva v městské hromadné dopravě, u užitkových vozidel pro městský provoz, do oblastí se zhoršenými rozptylovými podmínkami a do míst s vysokým soustředěním lidí. Vozidla s tímto pohonem si udržují své jízdní vlastnosti a díky moderním technologiím i téměř stejný výkon, při nízkých otáčkách je motor dokonce pružnější. V současné době dochází k nárůstu prodeje nebo přestaveb na plynové pohony, protože obavy z případného nebezpečí při havárii takto upraveného vozu klesají. Nebezpečí úniku plynu v provozu a při havárii s následnou možností výbuchu nebo požáru jsou minimální. Dalším důležitým aspektem je cena LPG. I přes vyšší spotřebu, asi o 20 %, se vlivem téměř poloviční ceny oproti benzínu provoz na LPG stále vyplatí a náklady spojené na jeho přestavbu se v závislosti na typu vozidla vrátí asi do 40 tis. km. [38]

V České republice se ke dni 31.12.2009 nacházelo celkem 6499 čerpacích stanic, z toho lze u 796 zakoupit palivo LPG. Oproti roku 2008 došlo k nárůstu o 88 LPG stanic, z čehož je patrný zvyšující se zájem o toto palivo. [13]



Obr. 9 Porovnání emisních vlastností osobního automobilu, provozovaného na benzin, resp. na LPG [38]

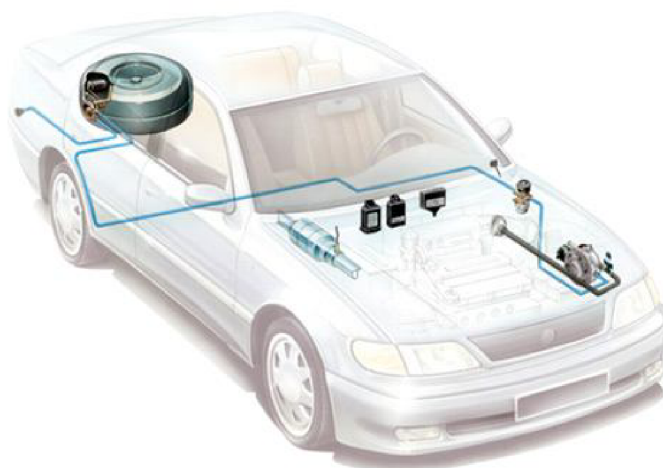
V současné době existují čtyři druhy systémů LPG. Jejich technická řešení jsou si velmi podobná, liší se jen v použití pro určitý palivový systém: [2] [33]

1) systém s centrálním směšovačem

Vhodný pro starší vozidla (Škoda 120, Škoda Favorit) s karburátorem, jednobodovým a vícebodovým vstřikováním bez katalyzátoru. Plyn se v plynné fázi přivádí do směšovače, kde se mísí se vzduchem a poté je výsledná směs nasáta do spalovacího prostoru. Bohatost směsi se nastavuje škrťicím šroubem a není možné v různých provozních režimech motoru (např. obohacení směsi plynu se vzduchem při zrychlování a při startech za studena) zajistit optimální dávku paliva.

2) systém s centrálním směšovačem řízeným lambda sondou

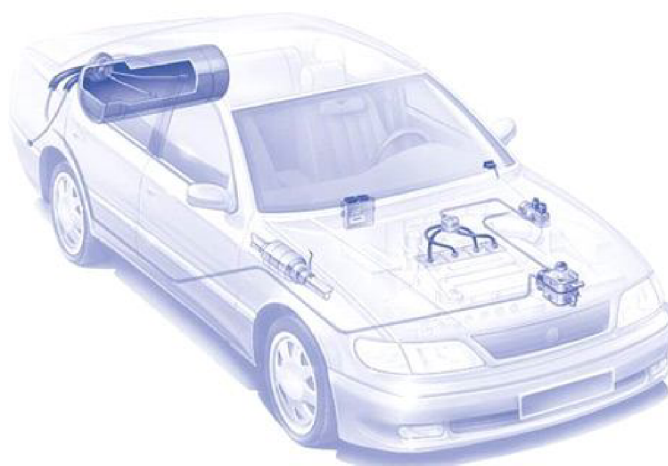
Pro vozidla s jednobodovým či vícebodovým vstřikováním vybavená katalyzátorem (např. Škoda Felicia). Pracuje na principu 1), s tím rozdílem, že optimální dávku plynu určuje servomotor ovládaný samostatnou řídicí jednotkou LPG. Ta vyhodnocuje teplotu chladicí kapaliny, polohu škrťicí klapky, otáčky, údaje z lambda sondy a upravuje složení směsi plynu se vzduchem. **Obr. 10**



Obr. 10 Systém s centrálním směšovačem řízeným lambda sondou [2]

3) systém kontinuálního vstřikování

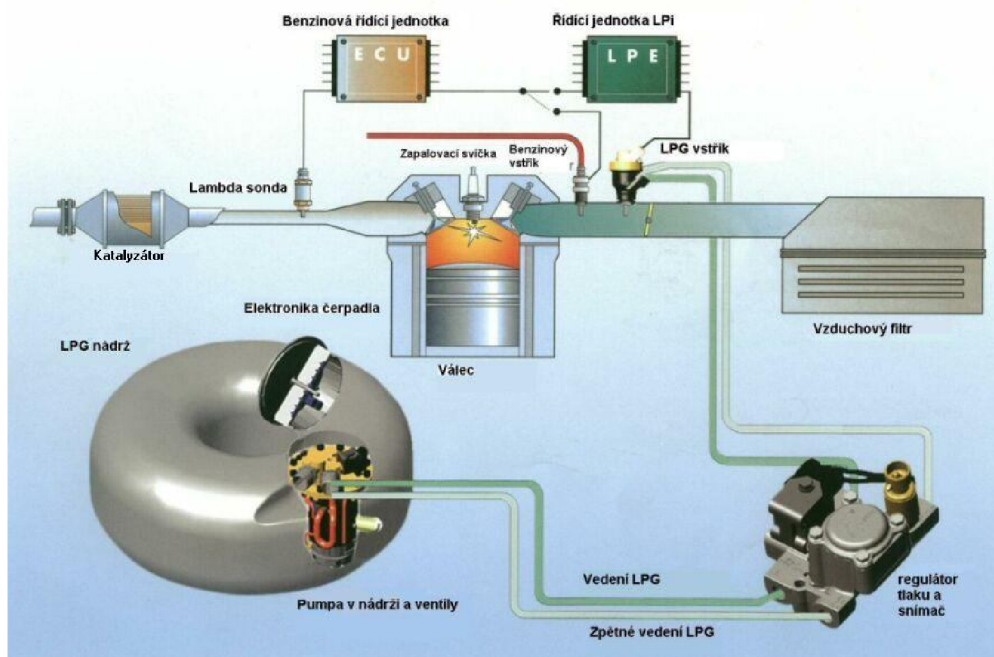
Přísun paliva je zajištěn pro každý válec zvlášť. Benzinová palivová soustava je odstavena a její funkci přebírá soustava plynová řízena řídicí jednotkou LPG, **obr. 11**.



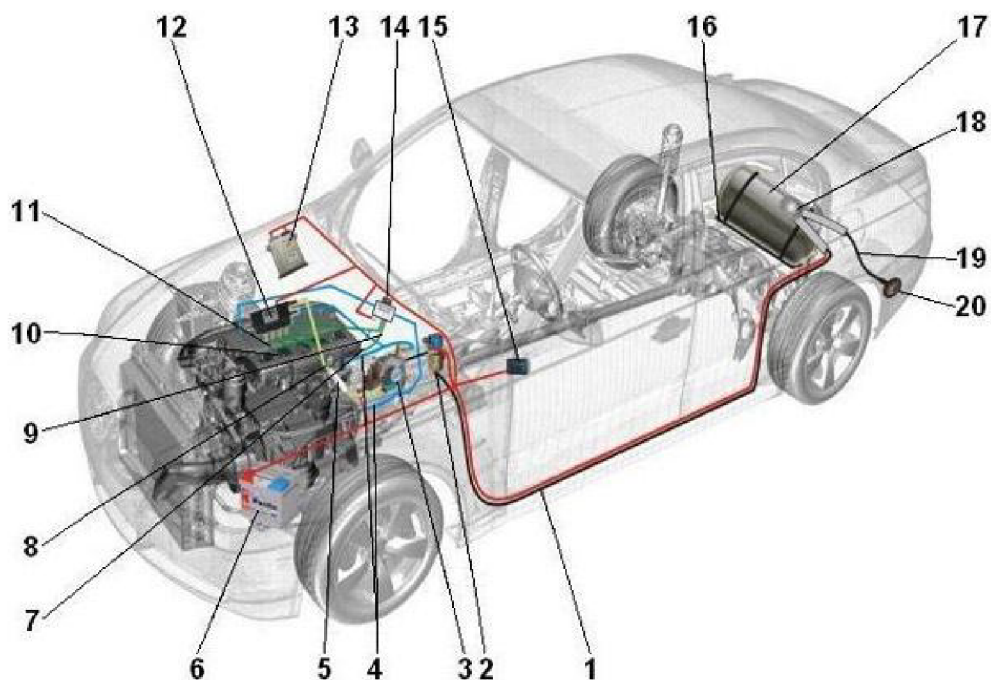
Obr. 11 Systém kontinuálního vstřikování [2]

4) systém sekvenčního vstřikování plynu

Tento systém dávkuje palivo pro každý válec zvlášť. Dávkování je řízeno benzinovou řídicí jednotkou, která předává řídicí jednotce LPG údaje o délce vstřiku paliva. Zároveň je vhodné nechat benzinovou řídicí jednotku nadále pracovat a řídit (např. délku předstihu atp.). Není zde potřeba lambda sondy, **obr. 12**.



Obr. 12 Systém sekvenčního vstříkovaní plynu [2]



Obr. 13 Součásti soustavy se sekvenčním vstříkovaním [3]

LPG zařízení se skládá z několika součástí, které jsou znázorněny na **obr. 13.** [3]

1. přívodní potrubí
2. elektromagnetický ventil s filtrem – uzavírá plynový systém při provozu na benzín a při vypnutém zapalování; je-li ventil pod napětím, je otevřený a umožňuje průchod plynu
3. reduktor (výparník) – zařízení, v němž dochází ke změně kapalně fáze LPG na plynou a k regulaci tlaku
4. chladicí systém – zajišťuje dokonalé odpařování paliva
5. filtr LPG fáze
6. akumulátor
7. hadice MAP – spojení MAP snímače a sacího potrubí
8. tryska snímače tlaku LPG
9. hadice snímače tlaku LPG
10. tryska vstřikovaného tlaku LPG
11. hadice LPG – speciální hadice spojující nízkotlakou větev
12. vstřikovač – dávkuje přesné množství paliva do sacího potrubí
13. řídicí jednotka plynu
14. snímač MAP – vypočítává údaje ze sacího potrubí potřebné pro výpočet doby vstřiku paliva
15. přepínač paliva benzín/plyn
16. držák nádrže
17. tlaková nádrž – zásobník kapalného LPG, může mít válcový tvar nebo speciální tvar např. tvar náhradního kola; je osazena armaturami a multiventilem; po namontování je zkoušena na přetlak 3 MPa a upevnění musí zaručit bezpečné uložení i při zrychlení až 20 g [38]
18. plynotěsná schránka s multiventilem – plynotěsná schránka hermeticky odděluje multiventil a jeho přípojovací prvky od kabiny karoserie; multiventil plní funkci bezpečnostní (zastavení toku paliva při úniku nad 6 l/min, vypouštění plynu při přetlaku vyšším než 2,5 MPa,...) a funkci provozní (plnění nádrže pouze do 80 % jejího objemu, ukazatel stavu paliva v nádrži,...)
19. plnicí potrubí
20. plnicí koncovka – umožňuje čerpání paliva LPG do nádrže

Přestavba na pohon LPG je dnes již možná na většinu značek automobilů nebo je možné si takový automobil pořídit přímo od výrobce. Za zmínku stojí např. Škoda Octavia 1,6 LPG, Alfa Romeo MiTo, vozy Subaru, atd.

Výhody a nevýhody LPG:**Výhody** pohonu na LPG u **zážehových** motorů [38]:

- vysoká výhřevnost a antidetonační odolnost
- možnost dosažení lepší homogenity směsi paliva se vzduchem, která je dobře rozdělitelná mezi válce
- menší množství výfukových emisí
- o 5-10 % vyšší oktanové číslo než má benzín umožňuje vyšší kompresi a tím lze získat vyšší účinnost motoru
- nižší hlučnost a klidnější chod motoru
- možnost přepnutí zpět na benzinový pohon

Výhody pohonu na LPG u **vznětových** motorů [38]

- lepší průběh točivého momentu
- klidnější, měkčí a výrazně tišší chod motoru
- spolehlivé startování v zimě
- „čisté“ výfukové plyny bez pevných částic a dráždivých látek
- prodloužení životnosti motoru, menší opotřebení částí motoru (včetně pístních kroužků – plyn nenarušuje olejový film na stěnách válců)

Nevýhody pohonu na LPG [38]:

- přestavba vznětového motoru na LPG spočívá v jeho předělání na zážehový motor - nelze tedy zpět přepnout na naftový pohon, tato úprava je poměrně ekonomicky i technicky náročnější (úprava pístů, hlavy válců,...)
- může dojít ke snížení výkonu motoru
- zvětšení celkové hmotnosti automobilu a zmenšení zavazadlového nebo užitkového prostoru vlivem tlakové nádrže
- dodržování určitých bezpečnostních opatření při opravách
- LPG je těžší než vzduch a tak se usazuje při podlaze, z toho důvodu mají tyto automobily zakázaný vjezd do mnoha podzemních garáží
- pravidelné kontrolní prohlídky

2.2.2 Zemní plyn – CNG, LNG

Zemní plyn je látka, jejíž hlavní složkou je metan CH_4 (85 %), dále propan, butan, vyšší uhlovodíky (5 %), sirovodík H_2S , dusík N_2 a oxid uhličitý CO_2 (10 %) a další plyny. CNG je zkratka pro stlačený zemní plyn (Compressed Natural Gas). Ve vozidle bývá uložen v zásobníku pod tlakem až 200 bar. Naopak zkratkou LNG rozumíme zkapalněný zemní plyn (Liquified Natural Gas). Tento plyn je zchlazen pod teplotu $-160\text{ }^\circ\text{C}$. Z obou forem této látky se nejvíce požívá CNG, protože LNG je díky své teplotě obtížnější s náročnější skladovat [22]. V dalších částech článku se tedy spíše zaměřím na stlačený zemní plyn CNG.

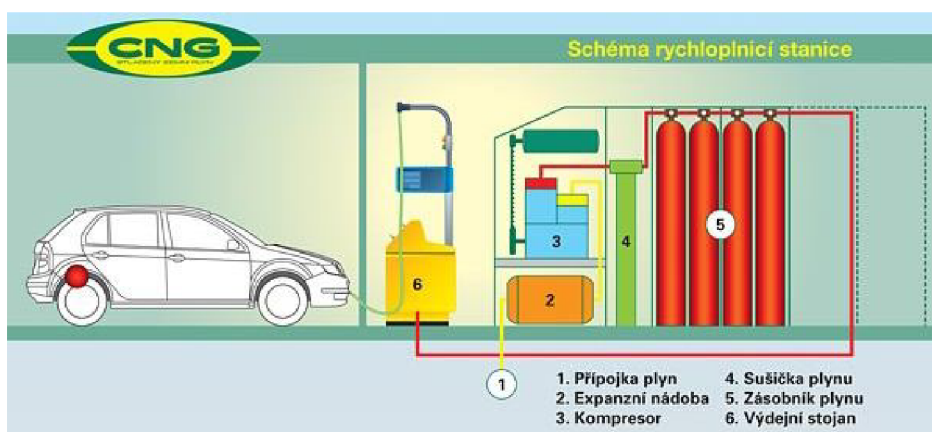
I přes to, že zemní plyn je také fosilním palivem, vzniká při jeho spalování díky převažujícímu obsahu metanu mnohem méně škodlivých látek, než u benzínu a nafty. Malý obsah uhlíku vede ke snížení produkce CO_2 až o 25 %. Ostatní škodlivé látky, jako je např. CO, HC, NO_x , jsou nižší o 80 % než při spalování benzínu nebo nafty a saze, oxid siřičitý a zdraví škodlivý benzol nevznikají vůbec. Např. množství vzniklého NO_x u osobního automobilu na zemní plyn je čtyřikrát nižší, než povolené množství emisí normou EURO V. Dalšího snížení emisí je možné docílit použitím třicestného katalyzátoru. Proto patří zemní plyn mezi jedny z nejekologičtějších paliv na světě. [22]

Na začátku roku 2010 bylo v provozu v 79 světových zemích více než 11 miliónů vozidel poháněných zemním plynem a 16 300 plnicích stanic. Na prvním místě, co do počtu automobilů a plnicích stanic, jsou země Pákistán (2 250 000 vozidel a 3 000 stanic), Argentina, Irán, Brazílie, Indie, Itálie a další. V České republice v současné době využívá zemní plyn jako pohonnou hmotu asi 1 800 vozidel (1 500 osobních a dodávkových automobilů, 270 autobusů, aj). Počet čerpacích stanic dosáhl počtu 25 a do konce roku 2010 se plánuje otevřít dalších 7. Aktuální rozmístění těchto plnicích stanic v České republice znázorňuje mapa na **obr. 14**. [11]

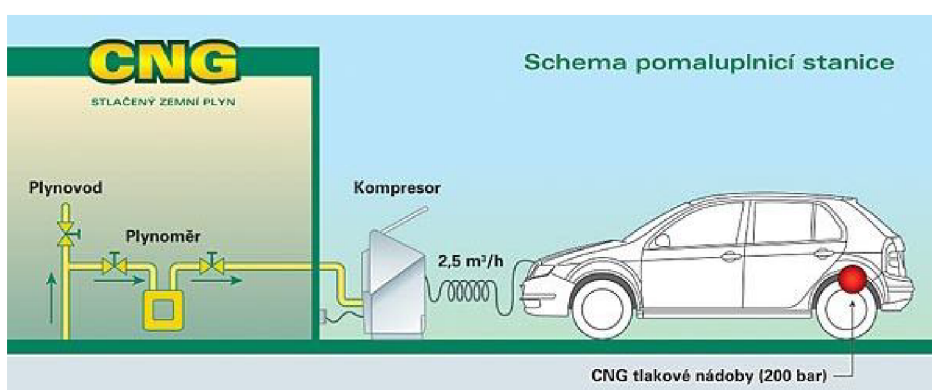
Protože tlak v plynové nádrži je jiný, než tlak v běžném plynovém potrubí, je k jejich načerpání potřeba speciálních kompresních stanic. Ty mohou být dvojího druhu. Jedná se o stanice pro rychlé plnění, u kterých načerpání nádrže trvá jen několik minut a doba plnění je tedy srovnatelná s čerpáním kapalných paliv (3-5 min), viz **obr. 15**. Druhý způsob plnění je pomocí stanice pro pomalé plnění, neboli tzv. „domácí plnička plynu“. U této stanice probíhá plnění delší dobu a to až několik hodin. Plnění probíhá přímo pomocí kompresoru a lze tankovat několik vozidel současně. Výhodou této stanice je nezávislost na veřejných čerpacích stanicích a nevýhodou vyšší pořizovací cena. Schéma tohoto typu stanice znázorňuje **obr. 16**. [8]



Obr. 14 CNG stanice v ČR [8]



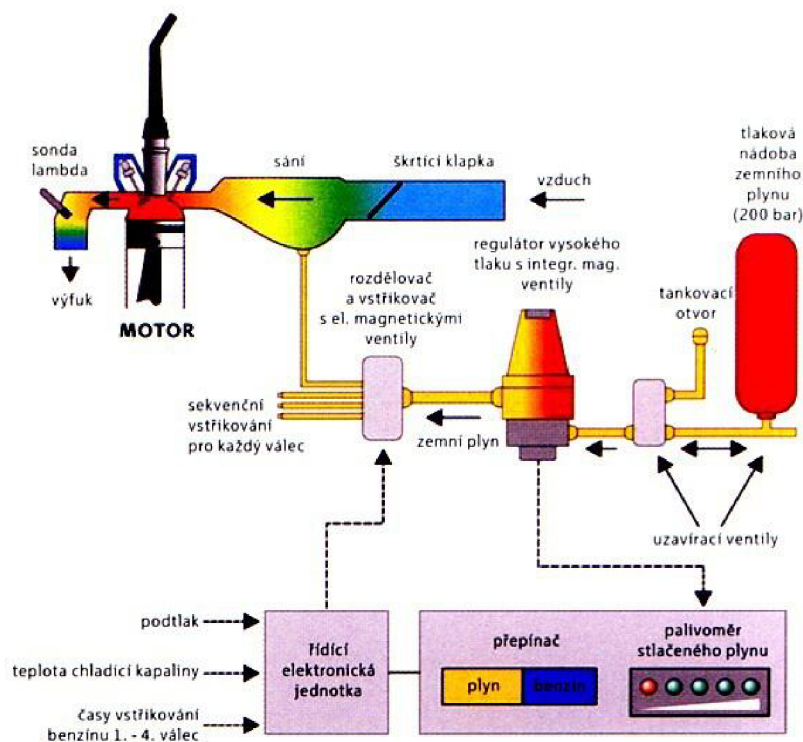
Obr. 15 Stanice pro rychlé plnění [8]



Obr. 16 Stanice pro pomalé plnění [8]

Vozidla využívající ke svému pohonu pouze zemní plyn jsou označována jako monovalentní. Vzhledem k nízkému počtu čerpacích stanic jsou vozy nabízeny i v provedení bivalentním (Bi-Fuel), u kterých lze pomocí elektroniky vybrat způsob pohonu CNG nebo benzín. Současné vozy lze na systém CNG přestavět, mnoho odborníků však tvrdí, že i přes všechny výhody tohoto systému se přestavba nevyplácí a je lepší automobil zakoupit již přímo od výrobce přizpůsobený na pohon zemním plynem. Technologie plynových motorů je rozdílná pro osobní a lehká užitková vozidla a pro těžké nákladní automobily a autobusy [22]:

- a) U první skupiny s běžným zážehovým motorem, třicestným katalyzátorem a lambda sondou se plyn do válců přivádí centrálně nebo sekvenčně (**obr. 18**). Centrální systém využívá elektronicky řízený ventil za škrťací klapkou k rozvodu plynu do společného sacího potrubí pro všechny válce. Pro dosažení lepší účinnosti a ke snížení emisí se používá systém sekvenční. Plyn se podle bodu zážehu v každém okamžiku přivádí v určitém množství přímo před sací ventily jednotlivých válců, **obr. 17**. [22]



Obr. 17 Sekvenční systém provozu zemního plynu [1]

- b) Nákladní vozidla a autobusy využívají většinou dvoupalivové motory a pracují také na zážehovém principu. Směs plynu se vzduchem je zapalována vstříknutím asi 30 % nafty do válce, která se kompresním teplem vznítí. Tyto motory mohou pracovat jak na naftu, tak na plyn. Mají vyšší spotřebu, ale mnohem nižší emise než naftové motory. Spalování u tohoto typu vozidel je rovněž dvojího druhu. První systém se používá pro motory s ideálním směšovací poměrem ($\lambda=1$). Do soustavy je přivedeno jen tolik paliva, kolik je ho potřeba k dokonalému spálení. V kombinaci s katalyzátorem lze výfukové emise snížit až o 90 %. Druhý způsob se využívá u motorů na chudnou směs. Do spalovacího prostoru se přivede více vzduchu než je potřeba ke spálení paliva. Výsledkem je nižší spotřeba, ale vlivem vysoké teploty spalování také nárůst NO_x ve výfukových plynech, které nemohou být současnými katalyzátory redukovány. [22]

Základní komponenty CNG systému se sekvenčním vstříkáváním jsou [38] [9]:

1. plnicí ventil

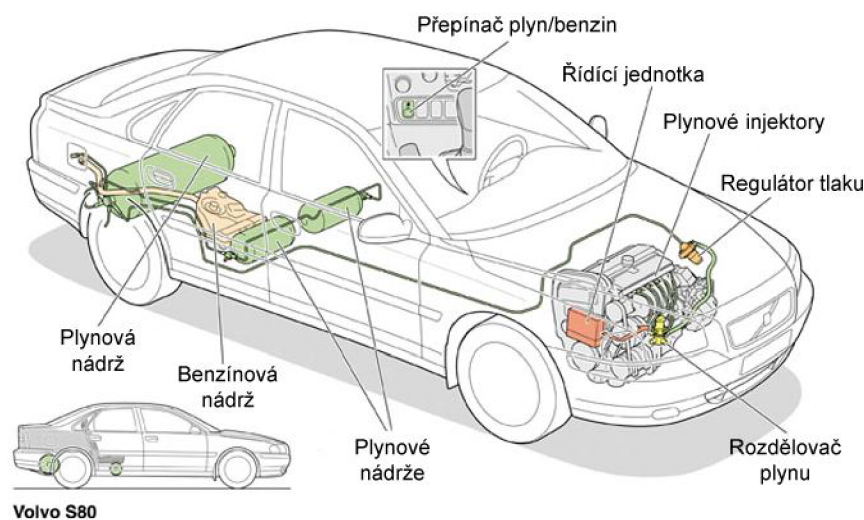
Slouží k plnění tlakové nádoby, je možné jej umístit vedle klasického otvoru k plnění pohonných hmot nebo v motorovém prostoru.

2. tlakové nádoby s multiventilem

Tlakové nádoby se u osobních automobilů umísťují do zavazadlového prostoru u přestavěných nebo pod vozidlo u nových vozidel, u autobusů i na střechu. Nádoby jsou většinou ocelové nebo z hliníkových a kompozitních

materiálů o objemu 70–100 l. Multiventil plní funkci provozní (uzavírá tlakovou nádobu při vypnutém zapalování a řídí odebrání plynu z nádoby) a bezpečnostní (v případě poklesu tlaku přeruší přívod plynu a v případě přetlaku odpustí plyn z nádoby. Tepelná pojistka v případě požáru plyn z nádoby odpustí).

3. propojovací vysokotlaké plynové potrubí
4. manometr (volitelný)
5. regulátor tlaku plynu
6. elektronické vstřikovače s palivovou lištou
Plyn se přes palivovou lištu dopravuje z regulátoru tlaku k jednotlivým vstřikovačům, kde se vstřikuje do každého válce zvlášť
7. krokový motorek
Pomocí signálů z řídicí jednotky upravuje množství plynu do směšovače.
8. směšovač
Slouží k mísení paliva, plní stejnou funkci jako karburátor.
9. elektronická řídicí jednotka
Spolupracuje s benzínovou řídicí jednotkou a řídí správné dávkování plynu
10. přepínač plyn/benzín
11. katalyzátor s lambda sondou
Lambda sonda analyzuje složení výfukových emisí a vrací informace zpět řídicí jednotce.



Obr. 18 Systém Bi-Fuel (CNG, Biogas) [15]

Výhody a nevýhody zemního plynu [38] [22]:

Automobily poháněné tímto plynem produkují výrazně méně škodlivin (oxidy dusíku, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, pevných částic, polyaromatických uhlovodíků, aldehydů, benzenu) a jejich množství nezávisí na teplotě motoru a okolí jako je tomu u konvenčních paliv. Snižuje také tvorbu smogu a skleníkového efektu. CNG je lehčí než vzduch, takže při případném úniku nedojde ke kontaminaci půdy nebo znečištění vozidla a usazování v přízemní vrstvě, jako u LPG. Proto je možné v některých zemích parkovat i s vozidly na CNG v podzemních garážích. Další pozitivní vlastností je jeho cena a spotřeba. Spotřeba je ve srovnání se zážehovým motorem o 40 % nižší, v případě vznětového motoru o 20 % nižší. V České republice lze nakoupit toto palivo za průměrnou cenu 22 Kč/kg, což v přepočtu umožňuje ušetřit až 1,5 Kč/km jízdy. Vzhledem ke svému vysokému oktánovému číslu 130 nedochází ke klepání motoru a kompresní poměr zážehových motorů může být tedy navýšen až na 13:1. Vzhledem k měkkému spalování dochází většinou i ke snížení hlučnosti, plynulejší jízdě a prodloužení životnosti a navýšení síly motoru. Ve srovnání s naftou nehrozí při nízkých teplotách k zamrznutí palivového systému a problémy se studenými starty. Z hlediska bezpečnosti je zemní plyn oproti benzínu, naftě a LPG lehčí než vzduch, a proto ihned stoupá vzhůru. Jeho zápalná teplota je ve srovnání s benzinem dvojnásobná a tlakové nádrže jsou bezpečnější než na kapalná paliva (musí např. odolávat nárazům, střelbě, atd.).

I přes celou řadu výhod, má toto palivo i nevýhody. Problém představuje poměrně malá dojezdová vzdálenost. S nádrží pouze na plyn se dojezd pohybuje v závislosti na vozidle do 500 km. Lepších výsledku lze dosáhnout v případě bivalentních vozů, u kterých lze dojezd navýšit ještě o 200 až 500 km. Dále se jedná o nedostatečnou infrastrukturu čerpacích stanic, jak v České republice (**obr. 14**), tak v zemích, kde je tento druh pohonu rozšířen mnohem více. Sériový automobil uzpůsobený na zemní plyn je ve srovnání s vozidly poháněnými benzinem nebo naftou dražší, jelikož se jedná prozatím o výrobu malého počtu sériových kusů. U přestavěných vozidel dochází vlivem plynové nádrže ke zmenšení zavazadlového prostoru a v některých případech může u takových vozidel dojít i ke ztrátě záruky.

Příklady sériových vozidel na zemní plyn [18] [10]:*Osobní automobily s bivalentními motory*

- **Fiat**

Automobilka v dřívější době vyráběla automobily se systémem BluePower, který spaloval pouze plyn. V současné době se zabývá jen systémem Natural Power, který umožňuje pohon jak na plyn, tak na benzin.

Modely dostupné v ČR: Panda 1.2, Punto EVO 1.4 (dojezd až 1020 km), Multipla 1.6 16V, Dobló 1.6 (dojezdová vzdálenost 620 km).

- **Mercedes-Benz**

vozy NGT (Natural Gas Technology): B-Class 180, E-Class 200

- **Opel**

Na českém trhu je dostupný model Zafira 1.6 CNG EcoTec, u něhož se úprava na CNG nijak nedotkla prostorové flexibility a lze jej opět přeměnit na sedmimístný vůz. Tento model je možné zakoupit i ve verzi s turbem. Zafira na obě nádrže ujede přibližně 520 km (**Obr. 19**)



Obr. 19 Opel Zafira 1.6 CNG EcoTec [10]

- **Volkswagen**

Tato značka má ve své nabídce rodinné MPV Touran 1.4 TSI EcoFuel, jehož dojezd je až 520 km a Passat 1.4 TSI EcoFuel. Passat jako první vůz na světě kombinuje u plynového motoru přímé vstřikování a přeplňování. Jeho dojezd činí až 900 km a také se stal v rámci soutěže Eco Test nejekologičtějším vozem Evropy.

Užitkové a nákladní automobily

- **Ford** – Transit 2.3i – DURATEC – DOHC CNG
- **Iveco** - Daily 35 S14 GV 3.0 HPI (CNG), Eurocargo F4 BEO 641 CNG, Stralis AD 260S27 Y/PS CNG
- **Mercedes-Benz** – Econic NGT
- **Opel** – Combo 1.6 CNG Eco tec

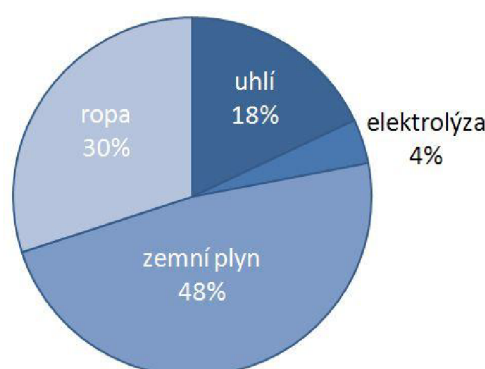
Autobusy

- **Irisbus, Iveco, Mercedes-Benz, SOR, TEDOM, Karosa, Solaris**

3 Vodíkový pohon

Vodík je nejjednodušší chemický prvek, který je velmi reaktivní a proto se jeho atomy navzájem spojují a vytváří molekuly o dvou atomech. Molekulový vodík je již poměrně stabilní a málo reaktivní. Výroba vodíku může probíhat mnoha způsoby a z několika vstupních zdrojů. Nejvíce dominuje výroba z fosilních paliv, jak je znázorněno na **obr. 20**. Další možností je výroba z obnovitelných zdrojů např. pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotním rozkladem vody nebo pyrolýzou biomasy.

Energii z vodíku lze získat dvěma způsoby. Prvním způsobem je přímo ve spalovacím motoru a druhým je elektromotor poháněný energií z přeměny v palivovém článku. [20]



Obr. 20 Zdroje pro výrobu vodíku [20]

3.1 Spalovací motory na vodík

Spalovací motory (**obr. 21**) dosahují vysoké účinnosti až při větším zatížení, čímž se liší oproti palivovým článkům. Vyšší účinnosti lze dosáhnout vysokým kompresním poměrem nebo bohatou směsí paliva. Nevýhodou spalování vodíku v běžných motorech je jeho malá výhřevnost. Proto použití chudých směsí vyžaduje přeplňování a pokud možno vstřík vodíku do válce až během sání, nejlépe ke konci sacího zdvihu. Bohatost směsi se musí přizpůsobit pomocí elektronického směšovacího systému, který vyhodnocuje směšovací poměr vodíku a vzduchu. Přebytek vzduchu vzniklý po spálení odnímá teplo, čímž klesá teplota plamene pod kritickou mez samovznícení směsi, která by mohla způsobit zpětný zášleh plamene do sacího traktu. Nízká teplota spalování brání vzniku nežádoucích oxidů dusíku NO_x . Vodíkové motory pracují téměř bez emisí a v porovnání se spalováním benzínu jsou všechny emisní složky redukovány až o 99 %. [38] [20]

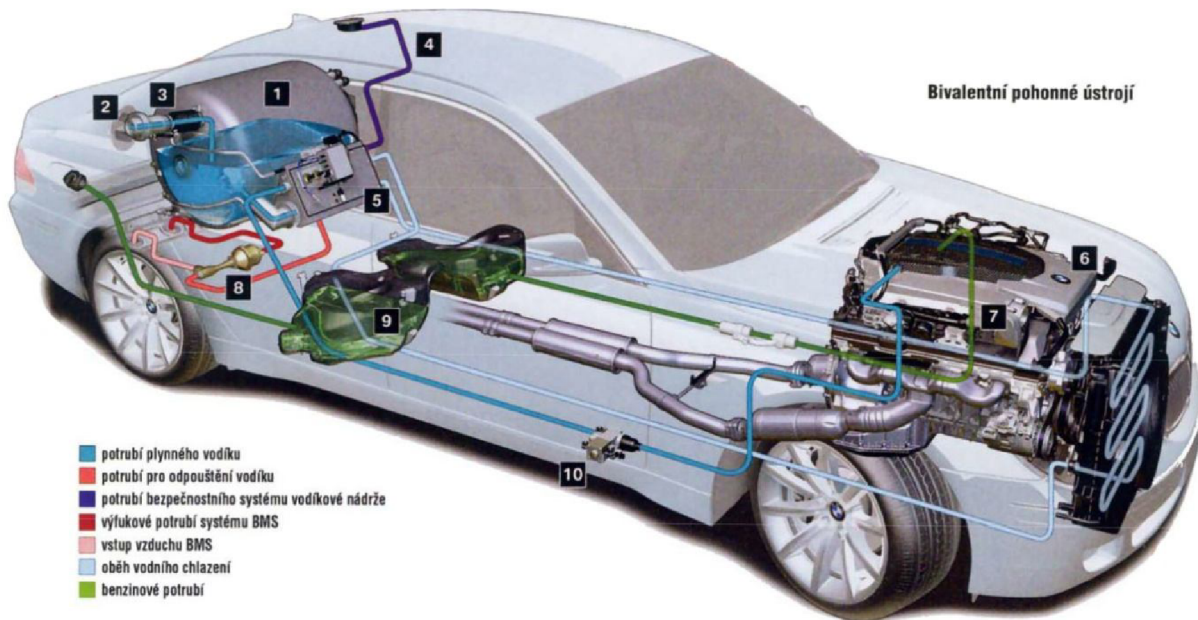
Schéma a uspořádání prvků vodíkového pohonu je znázorněno na **obr. 23** a schéma plnění nádrže kapalným vodíkem pomocí koaxiálního tepelně izolovaného potrubí na **obr. 22**.



Obr. 21 BMW Hydrogen 7 motor – tvorba směsi vodík/vzduch [34]



Obr. 22 BMW Hydrogen 7 – schéma plnění nádrže [34]



- 1 – vodíková nádrž LH₂ (Liquid Hydrogen), 2 – krytka vodíkové propojovací mechaniky LH₂,
 3 – spojka pro tankování vodíku LH₂, 4 – potrubí bezpečnostní soustavy pro odpouštění vodíku,
 5 – schránka vedlejšího systému s výměníkem tepla pro LH₂, a řídicí jednotkou funkce nádrže,
 6 – bivalentní spalovací motor (vodík/benzin), 7 – sání s potrubím pro vodík, 8 – systém řízeného odpouštění plynného vodíku BMS (Boil-off Management System), 9 – benzinová nádrž, 10 – tlakový ventil

Obr. 23 BMW Hydrogen 7 – prvky vodíkového pohonu [34]

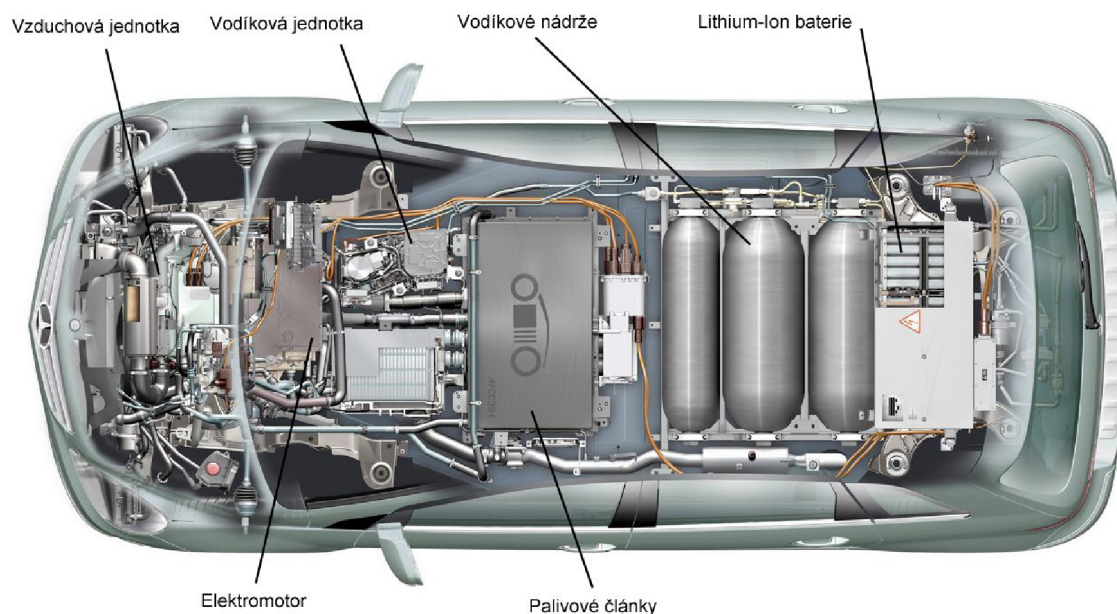
3.2 Elektromotor s palivovými články

Druhý systém (**obr. 25**) využívá elektromotor a palivový článek sloužící jako akumulátor pro zásobování palubní sítě elektrickou energií. Tento způsob pohonu je výhodný nejen z důvodu vysoké účinnosti a výhodné momentové charakteristiky elektromotoru, ale také díky svými nulovými emisemi. [38]

Klíčovou technologií vodíkového hospodářství jsou právě palivové články. Jsou to zařízení, která podobně jako spalovací motory souvisle zpracovávají přiváděné palivo a přeměňují jeho chemickou energii v energii elektrickou. Existuje několik typů článku, které se liší použitým elektrolytem, provozní teplotou, účinností a také způsobem použití. Jejich přehled je znázorněn v **tabulce 4**. [20]

Tabulka 4: Typy palivových článků [20]

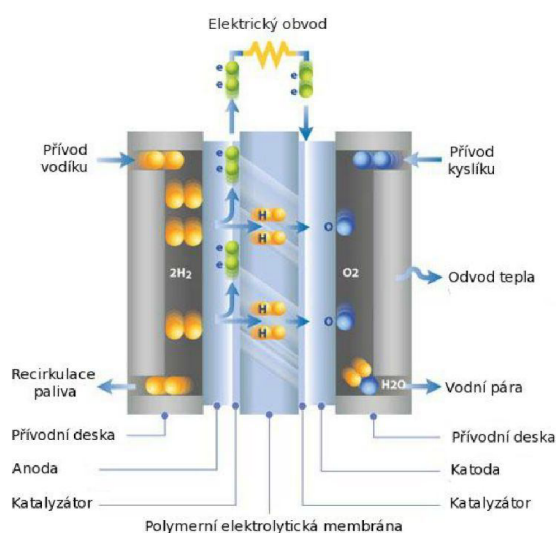
| | Nosič náboje | Provozní teplota [°C] | Použití |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| AFC - Alkalický | OH^- | 50-200 | Vesmírné technologie – Apollo, Shuttle |
| PEMFC – Polymerní membrána | H^+ | 30-100 | Dopravní prostředky, mobilní aplikace, malé CHP systémy |
| DMFC - Metanolový | H^+ | 20-90 | Přenosná elektronika |
| PAFC – Kyselina fosforečná | H^+ | 220 | CHP systémy o výkonu okolo 200kW |
| MCFC – Tavené uhličitany | CO_3^{2-} | 650 | Velká CHP zařízení o výkonech nad 1MW |
| SOFC – Keramické oxidy | O^{2-} | 500-1000 | Všechny velikosti CHP |



Obr. 25 Mercedes-Benz B F-Cell – schéma vodíkového pohonu [28]

V dopravě je nejvhodnější použití palivového článku s polymerní elektrolytickou membránou (PEMFC). Jeho princip znázorňuje **obr. 24**.

Základem je iontovodivá polymerní membrána (proton exchange membrane - PEM) vložená mezi dvě elektrody. Rozhraní mezi elektrodou a membránou je obohaceno vrstvou katalyzátoru, který urychluje průběh chemických reakcí na elektrodách. Sestava membrány a elektrod bývá často výrobcí dodávána jako jeden celek a je označována jako MEA (membrane electrode assembly). MEA je vložena mezi desky s mikrokánálky (flow field plate, resp. bipolar plate), které k elektrodám přivádějí plynné palivo a od katody pak také odvádějí vzniklou vodu. Vodík je přiváděn na anodu, kde na vrstvě katalyzátoru dochází k jeho disociaci na kladné ionty (protony) a elektrony. Protony procházejí skrze polymerní vrstvu, elektrony jsou nuceny procházet externím okruhem a mohou tedy konat užitečnou práci. Na katodě pak sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů (protonů), dvou elektronů a atomu kyslíku vzniká voda (vzhledem k provozní teplotě palivového článku obvykle v podobě páry). Na stranu katody je přiváděn čistý kyslík nebo častěji kyslík jako součást vzduchu. [20]



Obr. 24 Schéma palivového článku [20]

3.3 Výhody a nevýhody vodíkového pohonu

Jak již bylo několikrát zmíněno, největší výhodou tohoto systému je značné omezení škodlivých emisí a pokud bude výroba vodíku probíhat z vody s využitím jaderné energetiky, nebude přispívat ani ke tvorbě skleníkových plynů. Palivové články nepotřebují dobíjení, pracují tiše a pokud je palivem vodík, tak produkují pouze vodu a elektřinu. Jejich konstrukce je jednoduchá a bez pohyblivých částí, což zvyšuje spolehlivost a životnost, ta je u současných článků garantována na 5-20 tis. hodin (automobil jedoucí 2 hod. denně tak může jezdit až 7 let). Největším konkurentem vodíkovým vozům jsou elektromobily, oproti kterým mají delší dojezdovou vzdálenost (600-700 km) a krátkou dobu tankování, která trvá přibližně

stejně dlouho jako u klasických paliv, přičemž doba nabíjení akumulátorů trvá několik hodin. [20]

Nevýhodou u motorů spalující vodík je nutnost přeplňování a optimální seřízení soustavy, aby nedocházelo ke klepání a zpětným zášlehům do sacího potrubí. U palivových článků se setkáváme s pomalými reakcemi při vyšším zatížení, poklesem účinnosti při přetížení (řešením je hybridní uspořádání v kombinaci např. spalovací motor/palivový článek) a životností a spolehlivostí součástí článků (převážně se jedná o volbu vhodných materiálů membrán a katalyzátorů, které pracují v agresivním prostředí za různých teplot). Zásadním současným problémem je vysoká cena těchto pohonů, legislativní problémy v některých zemích a opět nedostatečná infrastruktura čerpacích stanic. V České republice ve městě Neratovice byla v roce 2009 otevřena první čerpací stanice na vodík, která dodává palivo autobusu TriHyBus. [20]

3.4 Příklady vodíkových vozidel

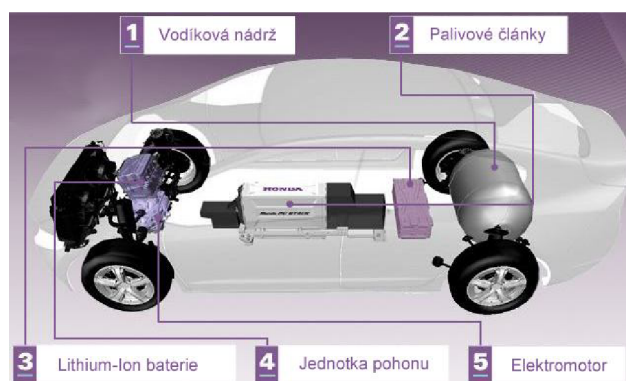
Vodíková technologie je prozatím ve vývoji. Téměř všechny větší automobilky mají prototypy vozidel na vodíkové pohony, které chtějí v budoucnosti uvést do výroby. Některé však svou technologii již aplikovaly na svá vozidla nebo jsou připraveni své motory použít na automobilech. První vodíkový vůz do provozu uvedla a nabízí svým zákazníkům Honda (FCX Clarity), BMW vlastní první sériový automobil spalující vodík v zážehovém motoru (BMW Hydrogen 7) a Ford začal vyrábět první sériové motory spalující vodík. V průběhu tohoto roku se automobilka Mercedes-Benz chystá uvést na trh vůz na palivové články třídy B F-Cell (**obr. 25**), který bude pronajímat podobně jako je tomu u vozů BMW Hydrogen 7 a Honda FCX Clarity. [18]

Honda FCX Clarity [4]

Vůz ke svému pohonu využívá vodík reagující ve vertikálních palivových člancích s polymerní membránou (PEMFC) dodávající výkon až 100 kW, které jsou umístěny ve středovém tunelu vozidla. Energie se uchovává v Li-ion bateriích, vodíková nádrž je schopna pojmout 3,92 kg stlačeného vodíku, startovat lze i při -30 °C a dojezd je asi 450 km. Automobil lze zatím pouze pronajmout. **Obr. 26 a 27.**



Obr. 26 Honda FCX Clarity [4]



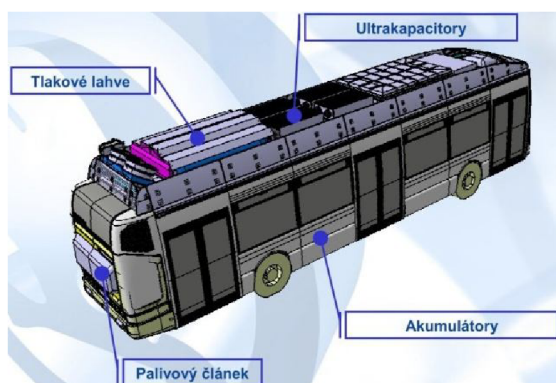
Obr. 27 Honda FCX Clarity schéma[4]

BMW Hydrogen 7 [5]

Jedná se o bivalentní automobil s dvanáctiválcovým motorem spalující vodík nebo benzín. Při chodu na benzín dochází k přímému vstřikování paliva do válce, zatímco při chodu na vodík se směs připravuje mimo válec. Vodíková nádrž se speciální izolací (zabírající poměrně velkou část zavazadlového prostoru) má objem 168 l a pojme asi 8 kg tekutého vodíku. Dojezd automobilu na vodík je přibližně 200 km a na benzín 500 km. Automobil lze opět zatím jen pronajmout. **Obr. 21, 22 a obr. 23.**

vodíkový autobus TriHyBus [36]

Autobus byl vyroben v plzeňské Škodě Electric a.s. s využitím podvozku a karoserie Iveco. Název pochází z trojitě hybridní koncepce - hlavním zdrojem energie pro elektrický trakční motor je membránový palivový článek o výkonu 48 kW, jako sekundární zdroje energie slouží Li-ion trakční baterie a ultrakapacity, které umožňují využití energie při brzdění (rekuperace). Palivem je asi 20 kg stlačeného vodíku uskladněného ve střešní nástavbě. Autobus zanedlouho přejde do reálného testování s cestujícími a získá technický průkaz. **Obr. 28 a obr. 29.**



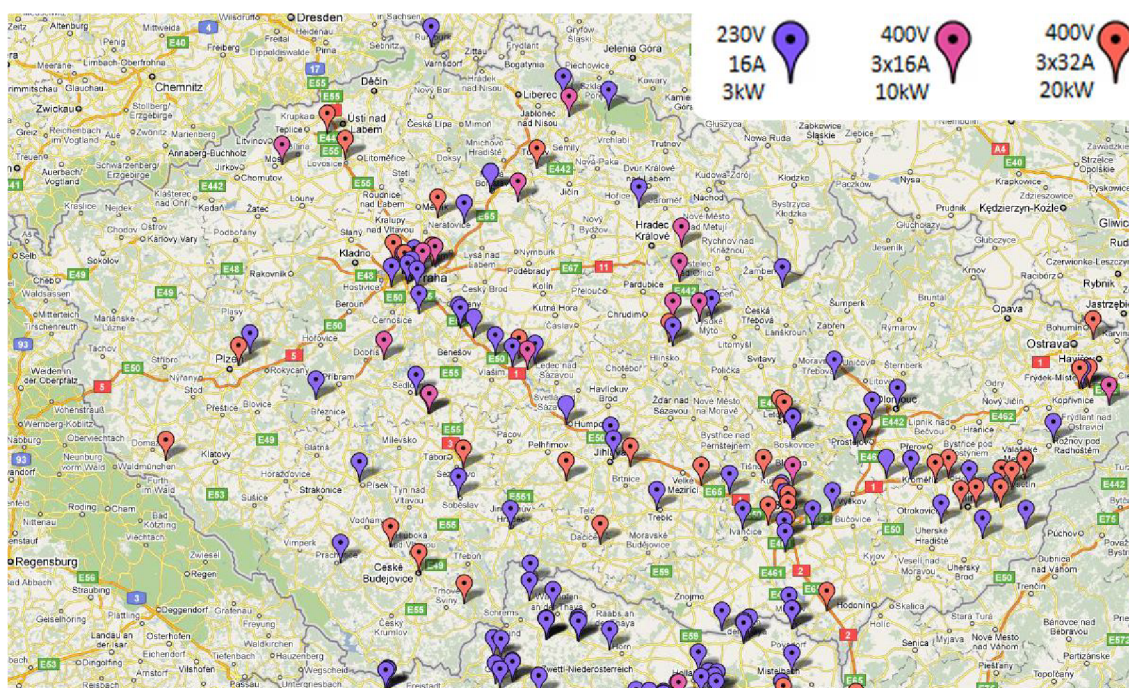
Obr. 28 TriHybus schéma [36]



Obr. 29 TriHybus [36]

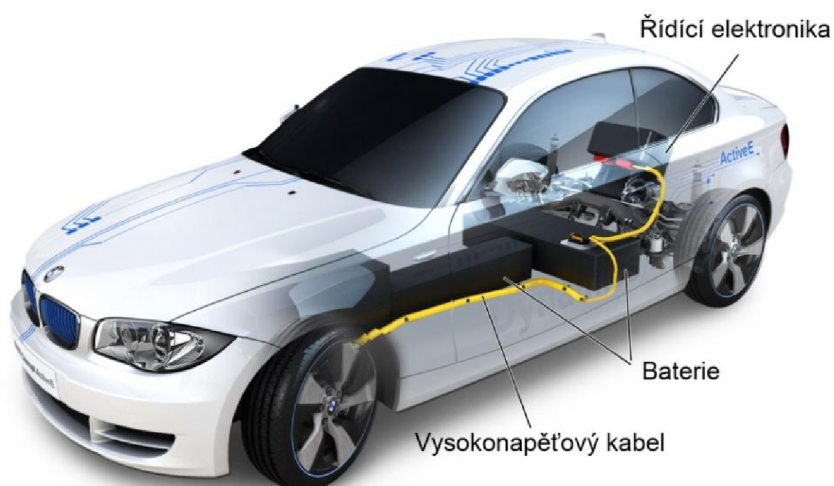
4 Elektromobily

Elektrický pohon je další možností alternativního řešení, jehož výhodou je nulová produkce škodlivých emisí, nízká hladina hluku, příznivá výkonová charakteristika, ale také menší jízdní výkon, omezený dojezd a vyšší cena. Všude tam, kde jsou nežádoucí výfukové emise a hluk, jsou zaváděna elektrovozidla. Jedná se např. o městskou hromadnou dopravu, pěší zóny, nádraží, letiště, atp. Je-li navíc k dispozici dostatečná infrastruktura nabíjení baterií, pak je bateriové vozidlo vhodným kandidátem na náhradu vozidel spalující běžná paliva. Dobíjení vozů se provádí pomocí elektrické zástrčky v dobíjecích stanicích. V české republice lze dobít elektromobily u několika dobrovolných stanic, které v blízké době doplní stanice profesionální (**obr. 30**). [22] [14]

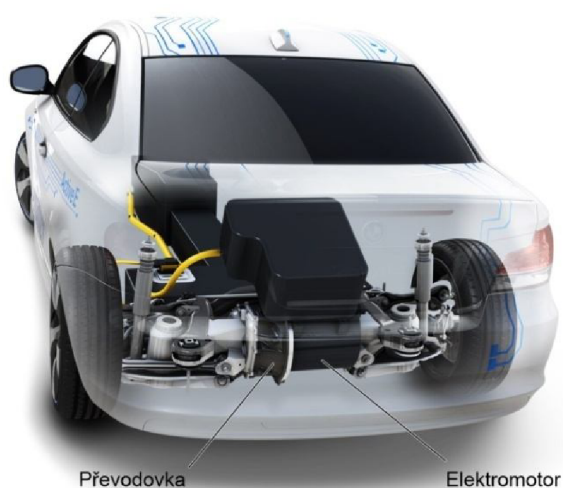


Obr. 30 Dobíjecí stanice v České republice [14]

Podobně jako u vozidel se spalovacími motory je hnací ústrojí elektromobilu tvořeno z převodovky, hnacích hřídelů, diferenciálu, rozvodovky a hlavně z elektromotoru a energetických zásobníků, **obr. 31** a **obr. 32**. [22]



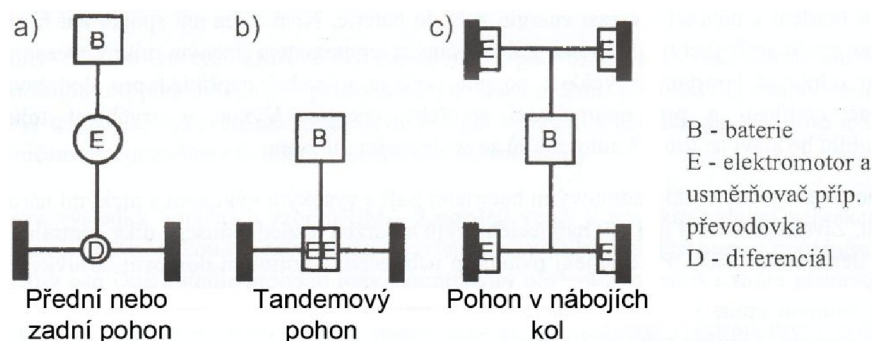
Obr. 31 Schéma elektromobilu 1 [7]



Obr. 32 Schéma elektromobilu 2 [7]

4.1 Elektromotor

Trakční elektromotory jsou převážně určeny hodnotou momentu, poněkud menší význam má hodnota výkonu. Důležitá je vysoká účinnost při malé hmotnosti, nízká hladina hluku, krátkodobá přetížitelnost, nízké udržovací náklady a výhodná cena. I přes jednoduchou plynulou možnost změny točivého momentu u elektromotorů, které umožňují ušetřit použití vícestupňové převodovky, roste se zvyšujícím se vnitřním výkonem jeho hmotnost a zástavbová velikost, a proto se jeví kombinace s vícestupňovou převodovkou jako výhodná. Vzhledem ke schopnosti přetížení elektromotoru může být většinou redukován počet převodových stupňů. Nejčastější způsob uspořádání se používá přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem, dále např. tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo v kolech, **obr. 33**. [38] [22]



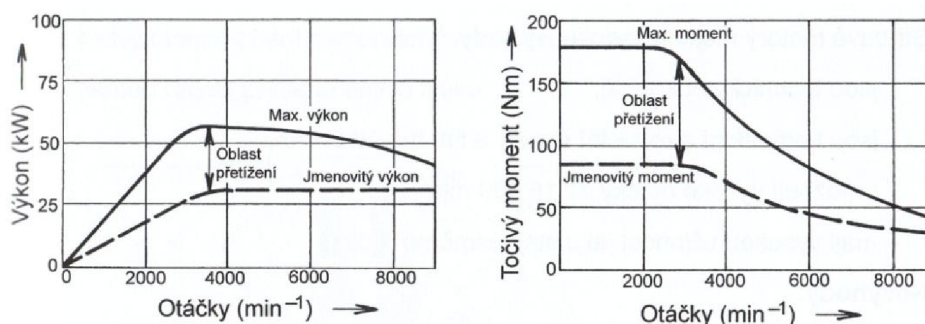
Obr. 33 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [38]

Stejnoseměrné motory [22]:

Již dlouhou dobu se používají v elektromobilech motory stejnosměrné s cizím buzením. Vyznačují se výhodnou tahovou charakteristikou, jednoduchou regulací otáček v širokém rozsahu a plynulým přechodem z jízdy na brždění. Stejnoseměrné motory jsou techniky vyzrálé, jednoduše řízené a cenově výhodné. K jejich nevýhodám patří nižší účinnost a hustota výkonu, než v případě střídavých motorů, náchylnost komutátoru a kartáčů k poruchám a omezená maximální obvodová rychlost rotační frekvencí asi na 7000 min^{-1} (všeobecně je tedy třeba víceústupňové převodovky).

Střídavé motory [22]:

Dalším typem motorů jsou střídavé asynchronní motory, které stále více vytlačují u elektrovozidel motory stejnosměrné. Stejnoseměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý, např. cyklickým zapínáním tyristoru. Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu lehčí, menší, jednodušší a robustnější konstrukce, bezúdržbový a silně přetížitelný (obr. 35) a může dosáhnout až $20000 \text{ ot/min}^{-1}$.



Obr. 35 Výkonová a momentová charakteristika asynchronního motoru [22]

Existuje několik koncepcí trakčních elektromotorů. **Tabulka 5** znázorňuje jejich přehled a srovnání ve smyslu vhodnosti pro pohon vozidel. Jako nejvhodnější se jeví synchronní motory, protože mají vysokou účinnost a také vysoké další parametry vhodné pro trakci. [22]

Tabulka 5: Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů (nejlepší = 10) [22]

| Motor | Cena | Účinnost | Hmotnost | Rozsah P_{konst} | Přetížitelnost | Spolehlivost | Stav vývoje |
|-----------------------------|------|----------|----------|-----------------------|----------------|--------------|----------------|
| Stejnoseměrný | 10 | 7 | 6 | 10 | 10 | 7 | 10 |
| Asynchronní | 8 | 8 | 6 | 9 | 10 | 9 | 9 |
| Synchronní | 8 | 10 | 7 | 10 | 10 | 9 | 8 |
| Synchron. perm. buzení | 7 | 10 | 8 | 8 | 10 | 10 | 7 |
| Přepínatelný reluktantní | 9 | 6 | 7 | 4 | 10 | 9 | 5 |
| Magnetický (M-M) | 8 | 10 | 10 | 8 | 9 | 10 | 8 |

4.2 Bateriové systémy

Trakční baterie jsou centrálním komponentem elektropohonu. Jejich výkonová hustota, tj. odnímatelný elektrický výkon na jednotku hmotnosti, určuje zrychlení a rychlost vozidla. Jejich energetická hustota, tedy obsah energie na jednotku hmotnosti, určuje jejich dojezd. Nejdůležitějšími parametry akumulátorů jsou: měrná energie, měrný výkon, nabíjecí doba, životnost, cena, údržba a recyklace. Přehled některých parametrů a typů akumulátorů je v **tabulce 6**. [22]

Tabulka 6: Přehled údajů jednotlivých typů baterií (*prognóza) [22]

| Typ baterie | Hustota energie | | Výkonová hustota | | Životnost | | Cena |
|-------------------|-----------------|---------|------------------|----------|-----------|-------|----------|
| | Wh/kg | Wh/l | W/kg | W/l | cyklů | let | Euro/kW |
| 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 | 100-220 | 120-250 | 100 | 120 | - | - | 60* |
| cílové hodnoty | 80-200 | 135-300 | 75-200 | 250-600 | 600-1000 | 5-10 | 90-135 |

Olověný akumulátor

Životnost ve vozidle je asi 4 roky nebo 300 cyklů nabíjení, vybíjení a dojezd 25000 km. Reálný dojezd na jedno nabití je 50 km. Jejich nízká provozní teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ zhoršuje dojezd při nízkých teplotách. Nevýhodou je jeho vysoká hmotnost a schopnost malé akumulace energie (30 Wh/kg). [22]

Baterie nikel-kadmium

Vozidla s těmito bateriemi dosahují o 50 % většího dojezdu než s olověnými bateriemi stejné hmotnosti. Vynikají zejména vysokou proudovou zatížitelností, vysokým počtem cyklů až 3000, vysokou životností až 25 let, širokým rozsahem provozních teplot od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a také nízkou hmotností. K dosažení plné kapacity se musí pravidelně úplně vybit a za jistých podmínek může docházet ke vzniku paměťového efektu. Výhrady proti používání tohoto typu zásobníku vzbuzuje jedovatý těžký kov kadmium. [22]

Baterie nikel-metalhydridová

Jejich výhodou je neškodnost k životnímu prostředí. Ve srovnání s nikel-kadmiovými bateriemi mají vyšší výkon i energetickou hustotu, nelze je ale tak často nabíjet a vybit. Taktéž se u nich objevuje paměťový efekt. Nevýhodou je vysoká cena a nákladná recyklace na konci životnosti. [22]

Baterie lithium-iontová

Energetická a výkonová hustota spolu s cyklickou pevností je srovnatelná s bateriemi nikel-metalhydridovými. Měrná energie dosahuje až 130 Wh/kg a životnost až 1000 cyklů. Nevyskytuje se u nich paměťový efekt. Jejich kapacita silně závisí na teplotě, rychle klesá mimo optimální rozsah v rozmezí teplot $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším problémem je stále vysoká cena. [22]

Vysokoteplotní baterie

Jedná se např. o baterie sodík-síra a sodík-nikelchlorid. Ke svému provozu potřebují vysokou teplotu mezi $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $330\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zvýšená teplota je nutná k udržení sodíkové elektrody v tekutém stavu a k udržení toku iontů k elektrodám. Tato zvýšená teplota je zapotřebí, i když je vozidlo zaparkováno. I přes dobrou tepelnou izolaci je tedy nutný externí přívod energie, bez kterého by se baterie pro účely vytápění do týdne vybila. Jejich výhodou ve srovnání s olověnými akumulátory je schopnost vytvořit třikrát větší zásobu energie, bezúdržbovost, odpadní teplo se využívá k jejich ohřevu a nevykazují žádné chemické samovybíjení. [22]

4.3 Příklady elektromobilů

I když první elektromobily vznikly již v 80. letech 19. století, jsou stále ještě ve vývoji. Většina automobilek v poslední době představuje své funkční prototypy, které v blízké době budou jezdit po našich silnicích stejně jako vozidla na benzín a naftu. Některé automobilky spustily výrobu již nyní, jedná se o malá vozidla jako je Think City (**obr. 36**) vyráběný ve Finsku a japonský Mitsubishi iMiev (**obr. 37**). Asi za dva roky se začnou vyrábět i vozy Nissan Leaf, na trhu se za několik let objeví i vozy značky Renault, Peugeot a další. [18]



Obr. 36 Think City [16]



Obr. 37 Mitsubishi iMiev [17]

5 Hybridní pohon

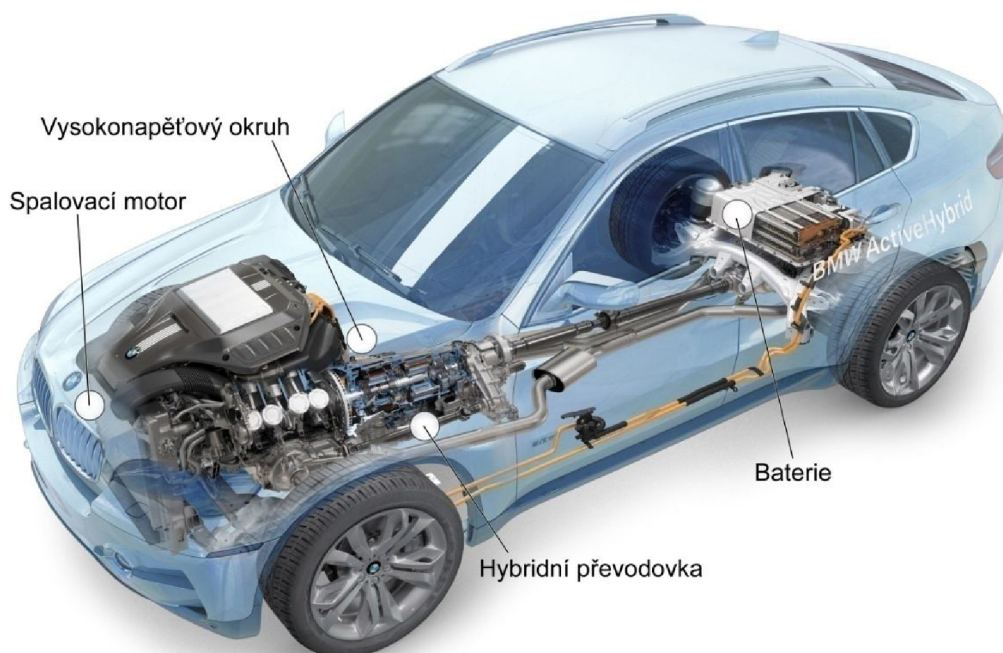
Pohon na bateriová elektrická vozidla není v současné době ideálním řešením. Jelikož tyto elektromobily disponují menším jízdním dojezdem, jejich účinnost závisí na druhu použitého zdroje proudu a nejsou dostatečně výkonná, nabízí se jako možné řešení hybridní pohon. Jedná se o pohon vozidla s více než jedním poháněcím zdrojem a příslušnými zásobníky energie. Jako nejvhodnější kombinací je spalovací motor s elektromotorem. Efektivní účinnost spalovacího motoru až 35 % je dosažitelná jen v jednotlivých provozních bodech, v nichž motor běží pod vysokým zatížením v otáčkách maximálního točivého momentu. Při vysokém rozsahu otáček a také při nízkém zatížení se účinnost snižuje, během volnoběhu je účinnost spalovacího motoru dokonce nulová. To má za následek značné zatížení životního prostředí a zvýšené emise CO₂. Použitím elektromotorů zabráníme produkci škodlivých emisí, dosáhneme vysoké účinnosti až 90 % a snížíme hladinu hluku. [22]

Elektromotor pracuje jako motor, kdy převádí elektrickou energii z baterie na energii mechanickou a pak také jako generátor, kdy je mechanická energie zpět transformována na energii elektrickou a ukládána v bateriích. Ve chvílích, kdy spalovací motor potřebuje výpomoc (např. při akceleraci), přichází na řadu elektromotor. V okamžiku, kdy má vozidlo přebytek kinetické, setrvačné nebo potenciální energie, jež nejsou v daný okamžik k užitku a které se běžným způsobem zbavujeme brzděním, stává se z elektromotoru generátor, který brzdí vozidlo a zároveň dobíjí baterie. [38]

Zavedením hybridního pohonu lze dosáhnout delšího dojezdu, snížení spotřeby vozidla, škodlivých emisí a také hluku. Zařízení je sestaveno z komponentů, které jsou většinou dostatečně prozkoumány a používány. [22]

V současné době existují tři typy hybridních vozů. FULL HYBRID automobil má jako hlavní pohonnou jednotku spalovací motor a vedlejší elektromotor. Je schopen provozu pouze na baterie (i když ne příliš dlouho), které jsou dobíjeny při jízdě z motoru nebo při brzdění. Druhým typem je MILD HYBRID, což je totéž co full hybrid, ale není schopen jízdy pouze na elektřinu z baterií. Elektromotor je mnohem menší a plní funkci pouze pomocného agregátu. Posledním typem jsou tzv. PLUG-IN HYBRIDY. Jedná se o automobil, jehož baterie lze dobíjet ze zásuvky. Velký rozmach čeká také na hybridy, které budou mít jako hlavní pohonnou jednotku elektromotor a spalovací motor bude sloužit pouze k účelu dobíjení baterií. Tyto hybridní automobily budou vesměs vybaveny plug-in technologií. [35]

5.1 Hlavní součásti hybridního vozu (obr. 37)



Obr. 38 Hlavní součásti hybridního vozu BMW Activehybrid X6 [25]

Měniče energie

Především se používají elektromotory asynchronní třífázové a stejnosměrné permanentním buzením. Spalovací motory jsou benzínové nebo úsporné naftové. Benzínové motory mají sice vyšší spotřebu paliva, avšak jednotlivé používané typy poháněcích motorů ve vozidlech pracují mimo nevýhodné částečné zatížení, takže tato nevýhoda není tak významná. Mimoto jsou naftové motory hlučnější a produkují více částic a NO_x . Na základě speciálních požadavků lze použít i další spalovací motory, např. Stirlingův nebo plynovou turbínu. [22]

Zásobníky energie

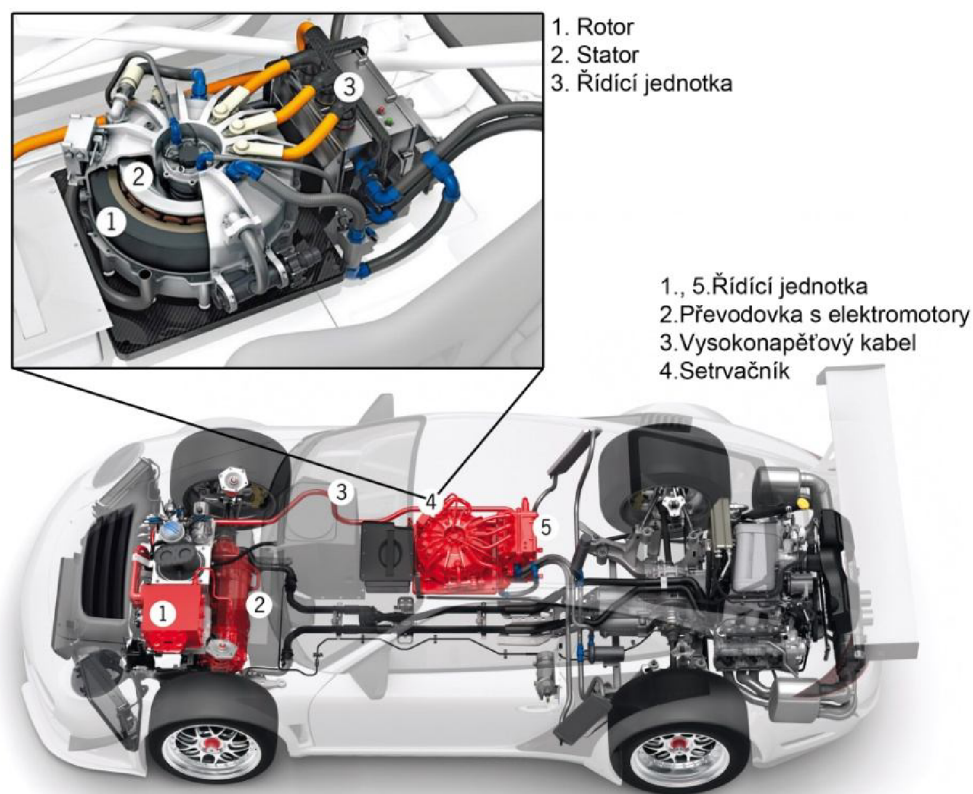
Jako zásobník elektrické energie slouží baterie, vysokoenergetické kondenzátory a také setrvačnick, jehož nahromaděná elektrická energie může být transformována na energii elektrickou. [22]

- Vysokoenergetické kondenzátory

Jedná se o kondenzátor s vysokou životností pro opakované použití, který pokrývá dodávkou další energie výkonové špičky při akceleraci a velkém zatížení vozidla. Vysokoenergetické kondenzátory (super kondenzátory) existují na bázi keramiky, klasické svitkové nebo metalické kondenzátory s různým dielektrikem. [22]

- Mechanický akumulátor energie

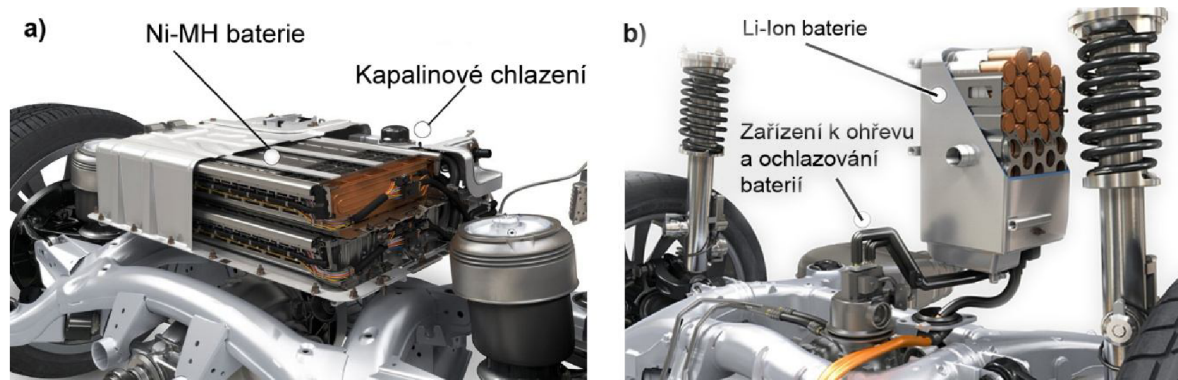
Setrvačnick (obr. 39) může uchovávat energii bez chemické reakce. Ve vozidle je brzdící kinetická energie předávána setrvačnicku a později opět pomocí generátoru přeměněna na elektrinu. Zpravidla se jedná o těleso deskovitěho tvaru jako rotační těleso. Ve srovnání s bateriemi snímá ve zlomku sekundy energie bez velkých ztrát a opět předává, pracuje bez opotřebení, bez chemikálií a má vysokou životnost. [22]



Obr. 39 Setrvačnick vozu Porsche 911 Hybrid [40]

- Baterie

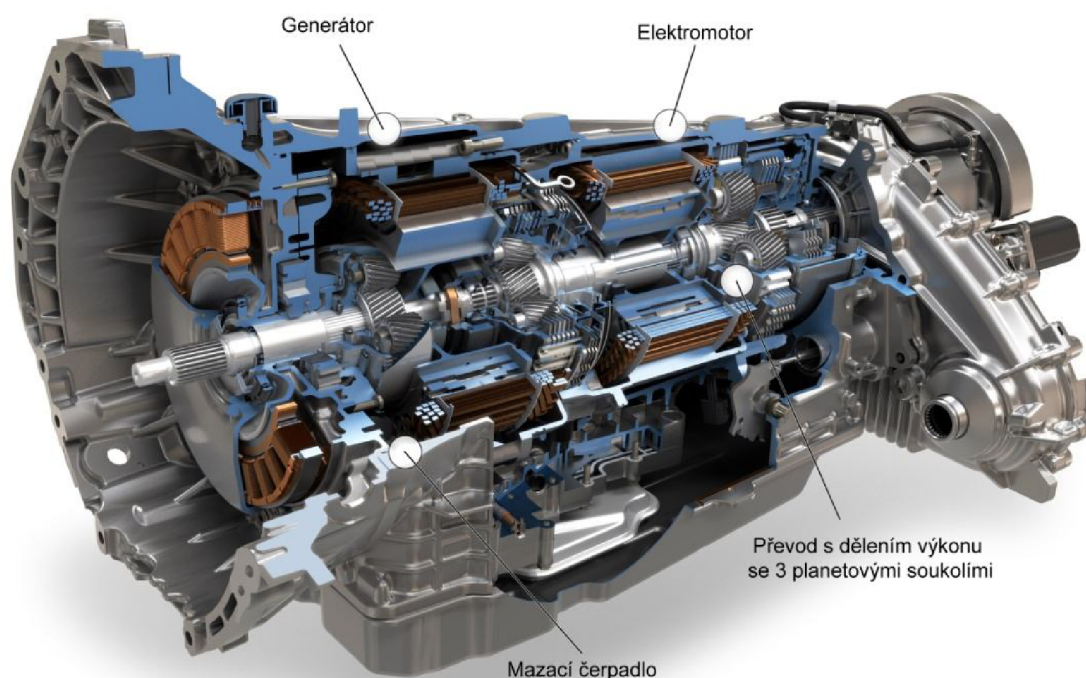
Používají se stejné typy baterií, jako u elektromobilů (více v kapitole 3.2 Bateriové systémy). Při volbě baterie je však potřeba zohlednit časté částečné nabíjení a vybíjení. Požadujeme-li vysokou hustotu výkonu, jsou vhodné nikl-kadmiové baterie nebo nikl-metalhydridová baterie (obr. 40). Pro vyšší dojezd jsou vhodnější baterie vysoké energetické hustoty, např. vysokoteplotní sodík-niklchloridová baterie. [22]



Obr. 40 Baterie vozů BMW Activehybrid X6 (a) a BMW ActiveHybrid 7 (b) [25] [26]

Převodovka (obr. 41)

U většiny doposud vyrobených hybridních vozidel se používá převodovka poloautomatická, u níž se používá přepnutí z elektromotorického pohonu na pohon spalovacím motorem spojky nebo také automatického elektrického přepínače. U paralelních pohonů se zavádí planetové převodovky. Jsou složeny nejméně ze tří ozubených kol, z nichž je jedno uspořádáno ve středu, druhé kolo krouží a rovněž je ve styku s vnějším kolem s vnitřním ozubením. Jsou-li dva tyto členy poháněny, odvádí poslední pohyb s pevným převodem. Převodovky s čelním ozubením jsou složeny ze dvou paralelních hřídelí se dvěma rozdílnými velikostmi ozubených kol, vzájemně spojených. [22]



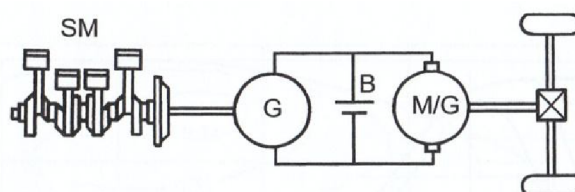
Obr. 41 Hybridní převodovka automobilu BMW ActiveHybrid X6 [25]

5.2 Uspořádání hybridních pohonů

Nezávisle na různém uspořádání převodu a spojek lze podle toku výkonu rozdělit hybridní pohony na sériové, paralelní a smíšené. Při srovnání systému sériového a paralelního je pro projíždění úseků dráhy bez emisí vhodnější uspořádání paralelní, sériové zapojení pak zvyšuje hodnoty typického elektromobilu. Nevýhody obou typů pak vedly k vývoji hybridního systému smíšeného. [38]

Sériové uspořádání

Při tomto uspořádání (**obr. 42**) se používá k pohonu výhradně elektromotor, spalovací motor/generátor slouží jako zdroj energie ve funkci trakčního motoru, případně k dobíjení baterií. Jednotlivé poháněcí komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou. Mechanické spojení spalovacího motoru pro pohon vozidla je možné jen při konstantních otáčkách v optimálním režimu provozu, vzhledem k účinnosti a emisím. Tím odpadají nevhodné body charakteristiky jako je volnoběh nebo zatížení při nízkých otáčkách. V případě, že baterie nejsou schopny pokrýt aktuální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Jelikož je baterie dobíjena spalovacím motorem, může mít menší rozměry než u elektrického vozidla na baterie. Nevýhody sériového uspořádání spočívají ve vícenásobné přeměně energie a vzhledem k účinnosti nabití baterie je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou s těžší větší než 55 %. [22]

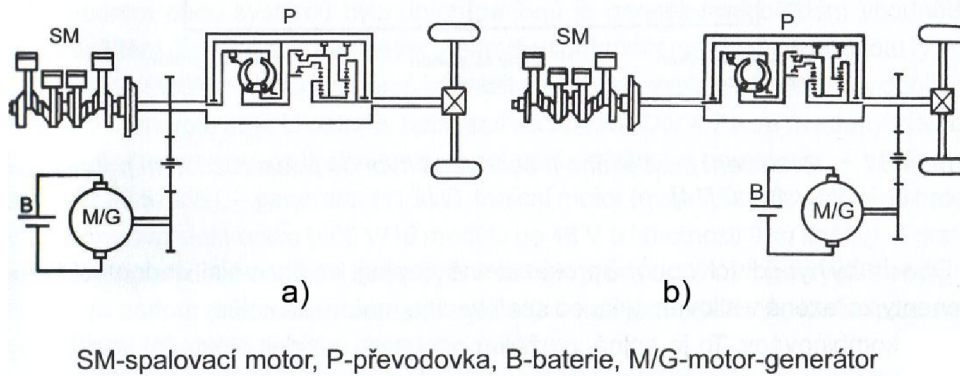


SM-spalovací motor, G-generátor, B-baterie, M/G-motor-generátor

Obr. 42 Sériové uspořádání hybridního pohonu [22]

Paralelní uspořádání

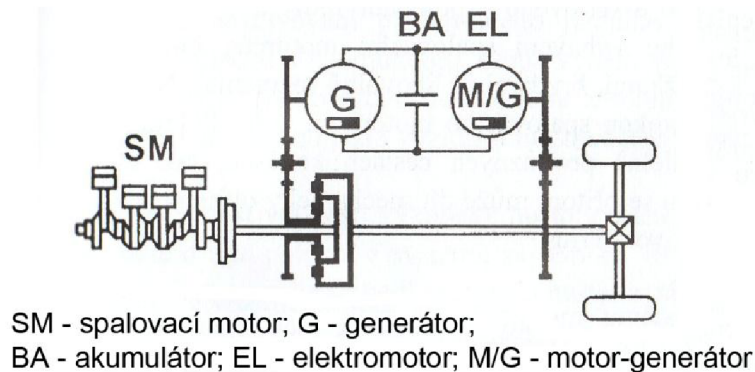
Výhoda tohoto uspořádání spočívá v tom, že při provozu se spalovacím motorem nedochází k žádnému zhoršení oproti normálnímu provozu vozidla. Převodovka běžného typu je společná i pro elektrickou poháněcí větev. Maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám spalovacího motoru. Při chodu obou zdrojů energie lze při nízkých otáčkách dosáhnout navýšení tažné síly. Paralelní řešení umožňuje jak pohon pouze elektromotorem, tak jen spalovacím motorem. V kombinovaném provozu zůstává spalovací motor trvale zapnut, při požadavku vyššího výkonu (silné zrychlení) se zařadí i elektromotor a dojde tak krátkodobě ke zvýšení špičkového výkonu. Náhon M/G může být za motorem (**obr. 43a**) nebo za převodovkou (**obr. 43b**). Při mechanickém odpojení spalovacího motoru může provoz odpovídat nejlepším provozním poměrům (účinnost, emise). Ve druhém případě dochází ke zlepšení účinnosti elektrického pohonu. [22]



Obr. 43 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [22]

Smíšené uspořádání

Vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojkou, volnoběžkami a brzdami je libovolně rozmanité. Část výkonu spalovacího motoru se přenáší mechanicky na poháněcí kola, zbytek přes planetovou převodovku a dva elektromotory (např. elektromotor, generátor). V náhonu elektromotorů bývá obvykle planetová převodovka. Další převodovka pro spalovací motor není potřeba, ten pracuje nezávisle na elektrickém pohonu. Baterie slouží jako přídatný, vložený zásobník energie. Účinnost tohoto systému je vyšší než v případě sériového uspořádání, ale jeho stavba je příliš komplikovaná a tím i drahá, viz **obr 44**. [38] [22]



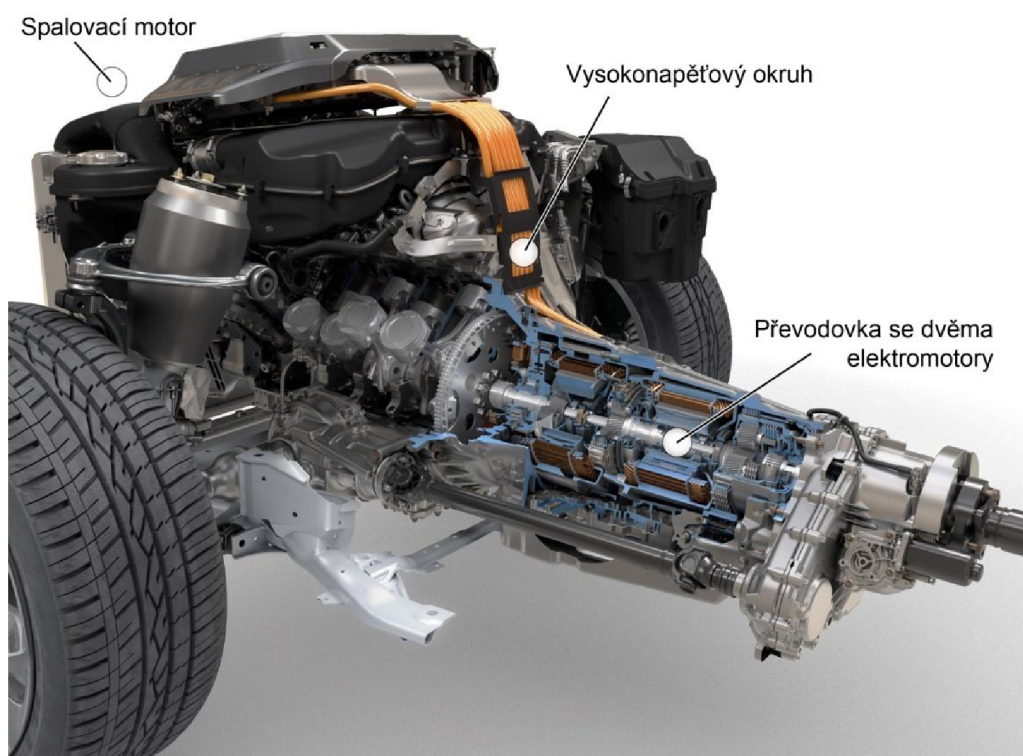
Obr. 44 Smíšené uspořádání hybridního pohonu [38]

5.3 Příklady hybridních vozidel

FULL HYBRID:

- Lexus RX 450h, GS 450h, LS 600h
- Toyota Prius
- Volkswagen Touareg Hybrid
- BMW ActiveHybrid X6 [25]

Spalovací motor o výkonu 300 kW je spojen se sedmistupňovou hybridní převodovkou a dvěma elektromotory o výkonech 63 kW a 67 kW. Kapacita Ni-MH akumulátorů je 2,4 kWh o maximálním výkonu 57 kW, umístěny jsou nad zadní nápravou a vystačí při nižších rychlostech nejvýše na dráhu dlouhou 2,5 km. Ve vozidle se nachází dva okruhy propojené měničem – vysokonapěťový 312 V a nízkonapěťový 12 V. Při rozjezdu pracuje pouze jeden elektromotor, jakmile je vůz v pohybu a řidič sešlápne plynový pedál, zapojí se i druhý elektromotor. Ten poté nastartuje spalovací motor a dále pracuje jako generátor elektrické energie, **obr. 38, 40a, 41, 45**.



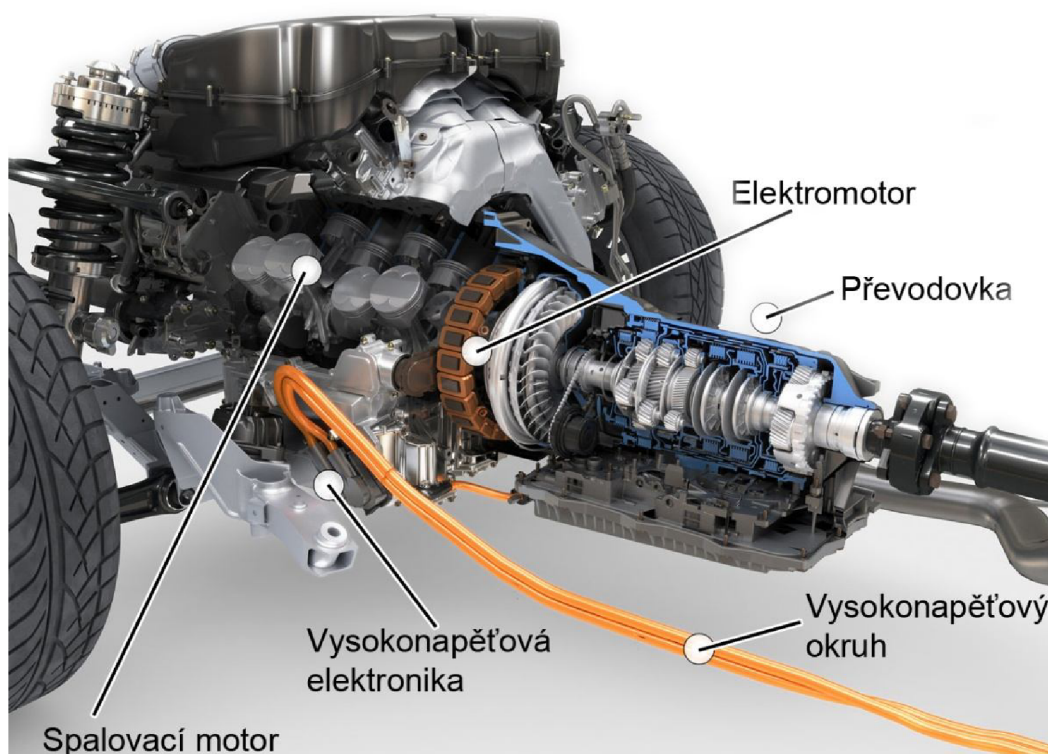
Obr. 45 BMW ActiveHybrid X6 hnací ústrojí [25]

MILD HYBRID:

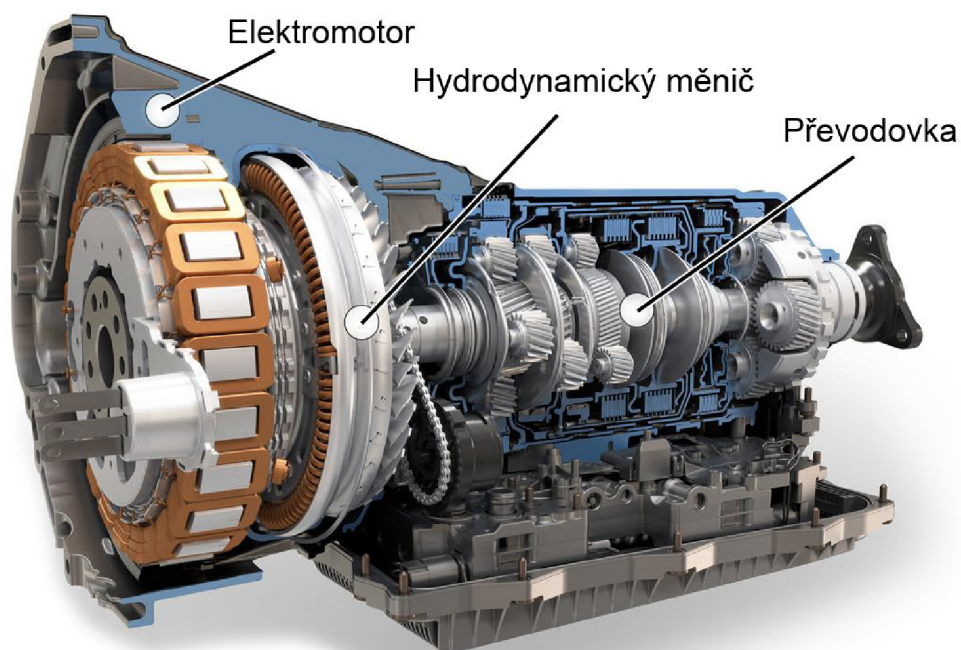
- Honda Insight, Civic Hybrid
- Mercedes-Benz S400 Hybrid
- BMW ActiveHybrid 7 [26]

Třífázový synchronní elektromotor ve tvaru tenkého disku o výkonu 15 kW (v generátorovém režimu pak 20 kW) je umístěn mezi spalovací motor o výkonu 330 kW a hydrodynamický měnič osmistupňové automatické převodovky. Jako akumulátory elektrické energie jsou použity lithium-iontové baterie s kapacitou 400 Wh, které jsou zapojeny do vysokonapěťového okruhu 120 V a umístěny nad zadní nápravou. Jelikož se jedná o mild hybrid, automobil není schopen provozu výhradně na elektřinu.

Elektromotor plní pouze pomocnou funkci, když spalovací motor dosahuje špatné účinnosti, vyšší spotřeby nebo produkuje vyšší emisní hodnoty, obr 40b, 46, 47.



Obr. 46 BMW ActiveHybrid 7 hnací ústrojí [26]



Obr. 47 BMW ActiveHybrid 7 převodovka [26]

PLUG-IN HYBRID:**- Chevrolet Volt [19]**

Tento automobil využívá jako primární zdroj energie elektřinu uchovanou v lithium-iontových bateriích ve tvaru T. Plně nabitý ujede asi 70 km pouze na elektřinu, poté se spustí spalovací motor poháněný benzínem nebo etanolem E85 a dobíjí baterie. Volt lze také během 3 hodin dobít připojením do zásuvky na 230 V, **obr. 48**.



Obr. 48 Chevrolet Volt [19]

6 Vyhlášky, předpisy a normy

Vyhláška Ministerstva dopravy [38]

Vyhláška Ministerstva dopravy o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích stanovuje podmínky pro schvalování technické způsobilosti, technické podmínky pro konstrukci a provedení vozidel, technické podmínky pro vozidla poháněná stlačeným nebo kapalným plynem, technické podmínky pro elektromobily a některá jiná vozidla.

Vyhláška č. 341/2002 Sb.

Předpisy Evropské hospodářské komise OSN [37]

Předpis č. 49 Emise (vznětové motory, NG a LPG)

Předpis č. 67 Zařízení LPG

Předpis č. 85 Měření výkonu – spalovací motory a elektromotory (M a N)

Předpis č. 100 Bezpečnost elektromobilů

Předpis č. 110 Systémy se stlačeným zemním plynem

Předpis č. 115 Systémy pro dodatečnou montáž LPG-CNG

Směrnice Evropského společenství [37]

Směrnice 2003/30/ES/ o podpoře využívání biopaliva v dopravě

Normy [30]

ČSN EN ISO 8178 (090868) Pístové spalovací motory - Měření emisí výfukových plynů

ČSN EN 14274 (656502) Motorová paliva - Hodnocení kvality automobilového benzínu a motorové nafty - Systém monitorování kvality paliv

ČSN EN 14214 (656507) Motorová paliva - Methylestery mastných kyselin (FAME) pro vznětové motory - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN 65 6516 (656516) Motorová paliva - Řepkový olej pro spalovací motory na rostlinné oleje - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN 65 6508 (656508) Motorová paliva - Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME) I' Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN EN 15751 (656570) Motorová paliva - Methylestery mastných kyselin (FAME) a směsi s motorovou naftou - Stanovení oxidační stability metodou zrychlené oxidace

ČSN EN 589 (656503) Motorová paliva - Zkapalněné ropné plyny (LPG) - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN 65 6517 (656517) Motorová paliva - Stlačený zemní plyn - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN EN ISO 15403-1 (386111) Zemní plyn - Zemní plyn používaný jako stlačené palivo pro motorová vozidla - Část 1: Stanovení kvality

ČSN EN 13423 (300085) Provozování vozidel na stlačený zemní plyn

ČSN EN 15376 +A1 (656511) Motorová paliva - Ethanol jako složka automobilových benzinů - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN 65 6512 (656512) Motorová paliva - Ethanol E85 - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN 65 6513 (656513) Motorová paliva - Ethanol E95 pro vznětové motory - Technické požadavky a metody zkoušení

ČSN ISO 14687-1 (656520) Vodíkové palivo - Specifikace produktu - Část 1: Pro všechny typy využití vyjma využití v palivových člancích s protonvýměnnou membránou (PEM) v silniční dopravě

ČSN P ISO/TS 14687-2 (656520) Vodíkové palivo - Specifikace produktu - Část 2: Využití v palivových člancích s protonvýměnnou membránou (PEM) v silniční dopravě

ČSN EN 1986-1 (300256) Elektricky poháněná silniční vozidla - Měření energetických vlastností - Část 1: Výhradně elektrická vozidla

ČSN EN 1986-2 (300256) Elektricky poháněná silniční vozidla - Měření energetických vlastností - Část 2: Hybridní elektrická vozidla s tepelným motorem

ČSN EN 1821-1 (300255) Elektricky poháněná silniční vozidla - Silniční výkony - Měření schopnosti provozu na silnici - Část 1: Elektrická vozidla

ČSN EN 1821-2 (300255) Elektricky poháněná silniční vozidla - Měření schopnosti provozu na silnici - Část 2: Hybridní tepelně elektrická vozidla

ČSN EN 13444-1 (300504) Elektricky poháněná silniční vozidla - Měření emisí hybridních vozidel - Část 1: Hybridní elektrická vozidla s tepelným motorem

ČSN EN 61851-21 (341590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 21: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivé připojení k AC/DC napájení

ČSN EN 13447 (300251) Elektricky poháněná silniční vozidla - Terminologie

7 Závěr

Při hledání nejvhodnějšího paliva současných a hlavně budoucích dopravních prostředků nestačí hodnotit pouze finální spotřebu ve vozidle, ale je potřeba vzít v úvahu způsob výroby, dopravu ke spotřebiteli a jeho použití v samotném voze. Rovněž je třeba zohlednit konstrukční dopady na vozidlo, jejich dojezd, cenu, bezpečnost, dostatečnou infrastrukturu zásobování a mnoho dalších faktorů.

Rostlinné oleje a bionafta v čisté formě nebo jako přísady do klasické nafty nejsou jako budoucí alternativní paliva příliš vhodná. Motory vyžadují speciálních konstrukčních úprav a jsou náchylnější na poruchy. Dalším problémem těchto paliv je jejich výroba. Výsledky posledních studií tvrdí, že pokud obsah biosložek bude v pohonných hmotách větší jak 6 %, dojde k vážnému poškozování životního prostředí vlivem přetváření krajiny. Současně by došlo k většímu využití zemědělských ploch k pěstování surovin pro výrobu těchto paliv. Zvýšila by se tak výrazně cena potravin a mohlo by dojít k potravinářské krizi v chudých zemích světa. Je tedy pravděpodobné, že k dalšímu propagování bionafty a rostlinných olejů nebude docházet a pozornost se bude spíše věnovat jiným alternativním palivům. Poněkud příznivější situace panuje kolem metanolu a etanolu. K výrobě těchto alkoholů je zapotřebí mnohem méně vstupních surovin, než jaké jsou potřeba k výrobě stejného množství bionafty. Možné budoucí problémy s potravinářským průmyslem také ovšem nelze vyloučit. Česká republika a podpora alkoholových paliv je zatím v samotném počátku vývoje a k dalšímu rozvoji tohoto paliva brání legislativa státu a s ní související nerozvíjející se čerpací stanice.

Doposud nejpoužívanějším alternativním palivem již několik desítek let je LPG. Spolu s CNG jsou tyto paliva výhodné především nižšími produkovanými emisemi. Jelikož se ale jedná o neobnovitelné fosilní zdroje energie, nelze s nimi do budoucna příliš počítat. Provoz na CNG by díky svým velkým zásobám mohl ovšem posloužit k rozšíření budoucího alternativního paliva.

Mnoho automobilek vidí budoucnost ve vodíku, nejrozšířenějším chemickém prvku. U vodíkových pohonů je nutné vyřešit otázku výroby, která musí být co nejméně energeticky a ekologicky náročná a poté vybudování dostatečného počtu čerpacích stanic na vodík.

Elektrická energie uložená v akumulátorech v sobě skrývá také obrovský potenciál, jelikož vybudování infrastruktury dobíjecích stanic je spíše technickou záležitostí, která se zatím příliš nerozvíjí např. vlivem nevýhod bateriových systémů.

Hybridní vozidla jsou jen mezičlánkem, který nám pomáhá připravit se a také postupně rozvinout budoucí alternativní paliva. Která se jimi stanou nám prozradí výsledky dalších výzkumů a testů. Je jen jisté, že se nebude jednat o paliva fosilní.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Auta5p.eu* [online]. c2010 [cit. 2010-02-01]. Automobily na CNG. Dostupné z WWW: <<http://www.auta5p.eu/zajimavosti/cng/cng.htm>>.
- [2] *Autanaplyn.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-24]. Systémy LPG. Dostupné z WWW: <<http://www.autanaplyn.cz/systemy-lpg/>>.
- [3] *Autanaplyn.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-01-11]. Přestavby LPG – Sekvenční vstřikování. Dostupné z WWW: <<http://www.autanaplyn.cz/sekvencni-vstrikovani/>>.
- [4] *Automobiles.honda.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Honda FCX Clarity. Dostupné z WWW: <<http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>>
- [5] *Autoweb.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-04-24]. Bmw HYDROGEN 7. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/bmw-hydrogen-7/8438>>.
- [6] *Biodiesel.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-04-23]. Biodiesel.cz * bionafta a něco o ní. Dostupné z WWW: <<http://www.biodiesel.cz/auta/>>.
- [7] *Bmw.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. BMW Concept ActiveE. Dostupné z WWW: <http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/efficientdynamics/phase_1/concept_active_e_maim_technology.html>.
- [8] *Cng.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Plnicí stanice. Dostupné z WWW: <http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/plnici_stanice/>.
- [9] *Cng.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-24]. Vozidla na zemní plyn. Dostupné z WWW: <http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/vozidla_na_zemni_plyn/>.
- [10] *CNG Company s.r.o.* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.cngcompany.cz/>>.
- [11] *Cng.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Fakta. Dostupné z WWW: <http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/fakta/>.
- [12] ČÍŽ, Karel. Bioetanol – světový rozvoj jeho využití jako motorového paliva. *Listy cukrovarnické a řepářské* [online]. 2010, 1, [cit. 2010-04-24]. Dostupný z WWW: <http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/31-32.PDF>.

- [13] DUŠEK, Luděk; PURNOCH, Milan. *Evidence čerpacích stanic pohonných hmot : Zpráva o aktualizaci a stavu Evidence čerpacích stanic pohonných hmot v ČR k 31. 12. 2009* [online]. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2010 [cit. 2010-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://download.mpo.cz/get/40550/45230/549270/priloha001.pdf>>.
- [14] *Elektromobily.org* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. Mapy nabíjecích stanic. Dostupné z WWW: <http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nabíjecích_stanic>.
- [15] *Green Car Congress* [online]. 2004 [cit. 2010-04-24]. Volvo Bi-Fuel S80. Dostupné z WWW: <http://www.greencarcongress.com/2004/10/volvo_bifuel_s8.html>.
- [16] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-24]. Elektromobil Think City ve výrobě, chystá expanzi do USA. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/elektromobil-think-city-ve-vyrobe-chysta-expanzi-do-usa>>.
- [17] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. Britská policie dostane elektromobily Mitsubishi i MiEV. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/novinky/britska-policie-dostane-elektromobily-mitsubishi-i-miev>>.
- [18] *Hybrid.cz : alternativní pohony, elektromobily, LPG, CNG, palivové články, ekologie* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/>>.
- [19] *Chevrolet.cz* [online]. c2009 [cit. 2010-04-24]. Volt - produkční verze. Dostupné z WWW: <<http://www.chevrolet.cz/vyzkousejte-chevrolet/koncepty-a-budouci-modely/volt-production-model.html>>.
- [20] JANÍK, Luděk; DOUCEK, Aleš; DLOUHÝ, Petr. *Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR* [online]. Housinec-Řež, 2010 [cit. 2010-02-04]. Dostupné z WWW: <http://www.hytep.cz/data/docs/SVA_HYTEP.pdf>.
- [21] JUNGSMANN, Aleš. *Auto.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-24]. Volvo: dva další modely schopny spalovat palivo E85. Dostupné z WWW: <<http://news.auto.cz/aktuality/volvo-dva-dalsi-modely-schopny-spalovat-palivo-e85.html>>.
- [22] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů*. 1 dotisk 1. vydání. Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.

- [23] LAURIN, Josef, HOLUBEC, Radek. Motorová paliva z rostlinných olejů. [online]. 2008 [citováno 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2008/2008_029_01.pdf>.
- [24] LAURIN, Josef. Motory na paliva s kvasným líhem. [online]. 2006 [citováno 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/2006_102_01.pdf>.
- [25] LÁNIK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. BMW ActiveHybrid X6: V8 + 2 elektromotory = první německý full-hybrid. Dostupné z WWW: <<http://news.auto.cz/frankfurt-2009/bmw-x6-active-hybrid.html>>.
- [26] LÁNIK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. BMW ActiveHybrid 7: Silný, ale jen mild. Dostupné z WWW: <<http://news.auto.cz/frankfurt-2009/bmw-7-active-hybrid.html>>.
- [27] MAREK, Blahoslav. Zahájení prodeje E85. *Listy cukrovarnické a řepařské* [online]. 2009, 7-8, [cit. 2010-04-24]. Dostupný z WWW: <http://www.cukr-listy.cz/on_line/2009/pdf/195.PDF>.
- [28] *Mercedesbenzblogphotodb* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. Mercedes-Benz at the IAA Frankfurt 2009. Dostupné z WWW: <<http://mercedesbenzblogphotodb.wordpress.com/2009/09/15/15-09-2009-mercedes-benz-at-the-iaa-frankfurt-2009/>>.
- [29] *Petroleum.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-02-14]. Výkladový slovník. Dostupné z WWW: <<http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=100>>.
- [30] *Prodejna norem ČSN* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://shop.normy.biz/>>.
- [31] ROŠKANIN, Michal. Voňavá paliva: Rostlinné oleje – kontroverzní pohonné hmoty. *PETROL magazín*. 2008, 2, s. 80-80. Dostupný také z WWW: <http://www.petrol.cz/magazin/pm022008/alternativa2_08.pdf>.
- [32] *Scania.cz* [online]. c2009 [cit. 2010-04-24]. Etanol. Dostupné z WWW: <<http://www.scania.cz/buses-coaches/environment/alternative-fuels/ethanol.aspx>>.
- [33] ŠTĚRBA, Pavel. *Calpg.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-01-05]. Generace technologií zástavby pohonu LPG. Dostupné z WWW: <http://www.calpg.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=600161&id=1179&p1=1005>.

- [34] ŠTĚTINA, Josef. Alternativní pohony motorových vozidel [prezentace]. 2009 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/sat/SeminatAT2009-05.pdf>>
- [35] ŠVIDRNOCH, Roman. *Auto.idnes.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-24]. Kdo nejezdí na elektřinu, nemá v Detroitu co pohledávat. Dostupné z WWW: <http://auto.idnes.cz/kdo-nejezdi-na-elektrinu-nema-v-detroitu-co-pohledavat-ppn-/automoto.asp?c=A090121_130922_automoto_fdv>.
- [36] *Trihybus.cz* [online]. c2008 [cit. 2010-04-24]. Vodíkový autobus. Dostupné z WWW: <<http://trihybus.cz/autobus>>.
- [37] *Tuv-sud.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-24]. Harmonizace technických předpisů Evropského společenství/EU a Evropské hospodářské komise/OSN pro schvalování silničních vozidel. Dostupné z WWW: <<http://predpisy.tuv-sud.cz/novinky/harmonizace.pdf>>.
- [38] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno : Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [39] *Volkswagen.cz* [online]. c2009 [cit. 2010-04-24]. Lexikon techniky: třicestný katalyzátor. Dostupné z WWW: <http://www.volkswagen.cz/lexikon/?letter=t&lexicon_id=21>.
- [40] *Wired.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-24]. Peek Inside Porsche's Super Hybrids. Dostupné z WWW: <<http://www.wired.com/autopia/2010/03/porsche-racing-hybrids/>>.

9 Seznam použitých zkratk

| | |
|-----------------|----------------------------|
| MN | motorová nafta |
| ŘO | řepkový olej |
| MEŘO | metylester řepkového oleje |
| SMN | směsná motorová nafta |
| CO | oxid uhelnatý |
| CO ₂ | oxid uhličitý |
| CH _x | uhlovodík |
| SO _x | oxid síry |
| NO _x | oxid dusíku |
| FFV | flexible fuel vehicles |
| ETBE | etylterbutyleter |
| LPG | liquefied petroleum gas |
| CNG | compressed natural gas |
| LNG | liquified natural gas |