

ALTERNATIVNÍ POHONY MOTOROVÝCH VOZIDEL

Vzhledem k docházejícím zásobám ropy a nesmírným problémům se znečištěním životního prostředí začali lidé před dvaceti lety hledat alternativní zdroje energie. Šlo jim o energii, která bude méně škodit životnímu prostředí a zároveň zaručí, že doprava v budoucnu z planety nevymizí. V automobilovém průmyslu se může využít několik druhů alternativních pohonů. Nejdůležitějších tvoří pohony plynové, elektrické, hybridní a vodíkové. Vyvíjejí se i pohony sluneční a vzduchové. Než se však budou moci tyto alternativy prosadit, bude třeba vyřešit otázky jako výkon, trvanlivost, dojezd a náklady.

Za alternativní paliva, jak se říká náhradě za automobilový benzin a motorovou naftu, se považují zejména:

- zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG),
- stlačený zemní plyn (CNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG),
- bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje,
- paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol),
- vodík,
- elektrický proud.

1. POHON ROPNÝM PLYNEM LPG

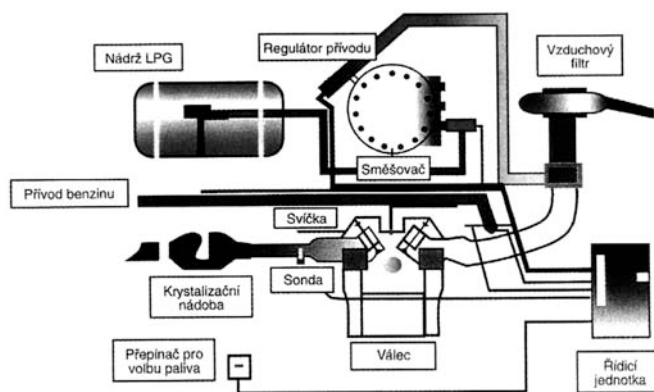
Zkapalněný plyn je palivo s pozoruhodnými vlastnostmi, nejen z hlediska ochrany životního prostředí. Zkapalněný plyn, který je především směsí propanu a butanu, obsahuje jen velmi málo síry, žádné olovo a žádné benzenové uhlovodíky. Umožňuje dosáhnout velmi homogenní směsi vzduchu s palivem, která je dobře rozdělitelná mezi válce, což je značná výhoda pro spalování. Vozy na plynový pohon jsou vybaveny třicetým katalyzátorem, zcela vyhovují normám na snížení znečištění a normové požadavky značně překračují. Automobil s plynovým pohonem si navíc uchovává své jízdní vlastnosti a díky moderní technologii i téměř stejný výkon. V režimu nízkých otáček je motor dokonce pružnější. Také tankování je velmi jednoduché a probíhá stejným způsobem jako čerpání benzínu. Síť čerpacích stanic LPG v současné době narůstá a dnes jich je v ČR už více než 500. Další důležitou výhodou plynového pohonu je tak cena paliva. Jeden litr propan-butanu stojí zhruba polovinu ceny stejného množství benzínu. Spotřeba zkapalněného plynu je v motorovém vozidle přibližně o 20 % vyšší; přesto se provoz na plyn vyplatí i z ekonomického hlediska.

LPG jako pohonné médium k provozu spalovacích motorů je směsí propanu a butanu. Při teplotách a tlakových podmínkách běžného klimatu je tato směs plyná. Poměrně malým tlakem je však možné směs zkapalnit i za normální teploty. Při zkapalnění se značně mění objem. Z asi 250 litrů propan-butanu v plynném stavu se získá 1 litr kapaliny (z 1 m³ plynu vzniknou 4 litry kapaliny). Tato vlastnost propan-butanu umožňuje skladovat v poměrně malém prostoru velké množství energie. Směs propanu a butanu (a tedy LPG) není sice jedovatá, ale je nedýchateľná (má slabé narkotizační

účinky a neobsahuje kyslík). V plynném skupenství je LPG těžší než vzduch, v kapalném skupenství je lehčí než voda.

Plyn jako pohonná látka pro pístové spalovací motory je používán v různé míře od počátku existence pístových spalovacích motorů. Velký zájem o využití LPG k pohonu motorových vozidel se začal v druhé polovině 80. let. LPG má jako palivo pro vozidlové pístové spalovací motory velmi kvalitní vlastnosti, zejména vysokou antidetonační odolnost a vysokou výhřevnost. LPG poskytuje rovněž velice dobré předpoklady k dosažení nižších emisí výfukových škodlivin než mají motory na klasická kapalná paliva, pouhé použití plynného paliva však vůbec nemusí zlepšit ekologické vlastnosti motoru. Další příznivou vlastností LPG je menší hmotnostní podíl uhlíku v 1 kg paliva – u LPG (60/40) je to 0,825 kg C, klasická kapalná paliva (benzín, nafta) mají v 1 kg cca 0,86–0,87 kg C: tato skutečnost vede v optimalizovaném provedení plynového zážehového motoru k nižší produkci CO .

Příslušenství motoru na LPG obsahuje výparník LPG (v poslední době se však rozšiřují systémy pro tvoření směsi vstříkáváním kapalného LPG), regulátor tlaku plynného paliva a směšovač. Další skupinou příslušenství potom jsou různé seřizovací prvky (např. pro základní nastavení bohatosti směsi), bezpečnostní a regulační ventily (u moderních systémů připojené k elektronickému řízení). Příklad možného uspořádání příslušenství motoru na LPG ukazuje schéma na obr. 1.

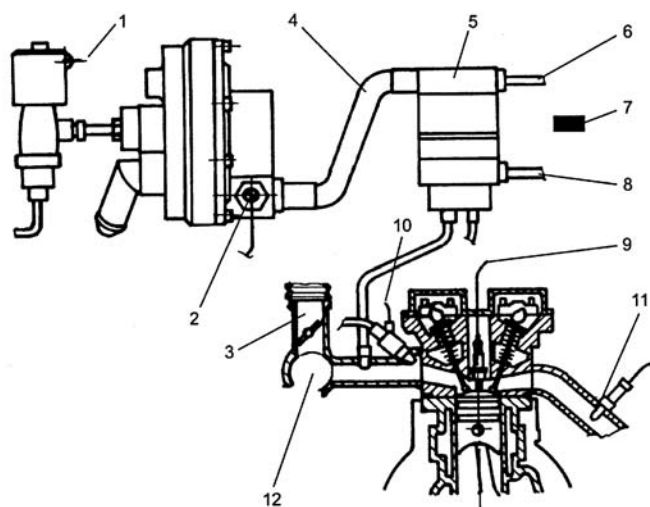


Obr. 1 Schéma pohonné jednotky vozu s kombinovaným dvoupalivovým řešením.

Stejně jako vstřikování benzínu bylo logickým dalším stupněm vývoje zážehových (benzínových) motorů po dlouhé éře používání karburátorů, je i vstřikování plynu (LPG) pokračováním vývoje plynových zařízení používajících směšovačů. Vstřikování benzínu bylo pro automobilové motory vyvinuto na základě požadavků snížení zátěže životního prostředí škodlivými emisemi výfukových plynů při současném zvýšení výkonů motorů optimálním využitím paliva a tedy i snížení spotřeby paliva. Vozidla mající ve své výbavě poměrně složitý a elektronickými čidly, aktivními členy a řídicími jednotkami řízený systém vstřikování benzínu mohou tedy využít tento systém doplněný několika dalšími komponenty i ke vstřikování plynu. Plyné palivo tedy již není nasáváno směšovačem, nýbrž je vstřikováno v přesně dávkovaném množství a v přesném čase, které určuje prostřednictvím výpočtu elektronická řídicí jednotka.

Francouzská automobilka **Renault** obohatila koncem minulého roku modelovou řadu u nás nabízených vozidel i o první automobily s **plynovým pohonem** montované na výrobních linkách přímo v závodě. Jedná se o modely Kangoo RN 1,2 LPG o Kongoo Express RL 1,2 LPG. Stejně jako jiné modely na plynový pohon mají i tyto dva dvojitý palivový systém, takže mohou fungovat jak na benzin, tak na plyn. Přejech z benzínu na plyn nebo naopak se provádí pouhým stisknutím ovladače integrovaného v palubní desce. Plnicí hrdlo je pro obě verze jediné. Agregáty modelů na plynový pohon mají prakticky stejný výkon a točivý moment jako benzinové motory.

Stejně jako vstřikování benzínu bylo logickým dalším stupněm vývoje zážehových (benzínových) motorů po dlouhé éře používání karburátorů, je i vstřikování plynu (LPG) pokračováním vývoje plynových zařízení používajících směšovačů. Vstřikování benzínu bylo pro automobilové motory vyvinuto na základě požadavků snížení zátěže životního prostředí škodlivými emisemi výfukových plynů při současném zvýšení výkonů motorů optimálním využitím paliva a tedy i snížení spotřeby paliva. Vozidla mající ve své výbavě poměrně složitý, aktivními členy a řídicími jednotkami řízený systém vstřikování benzínu mohou tedy využít tento systém



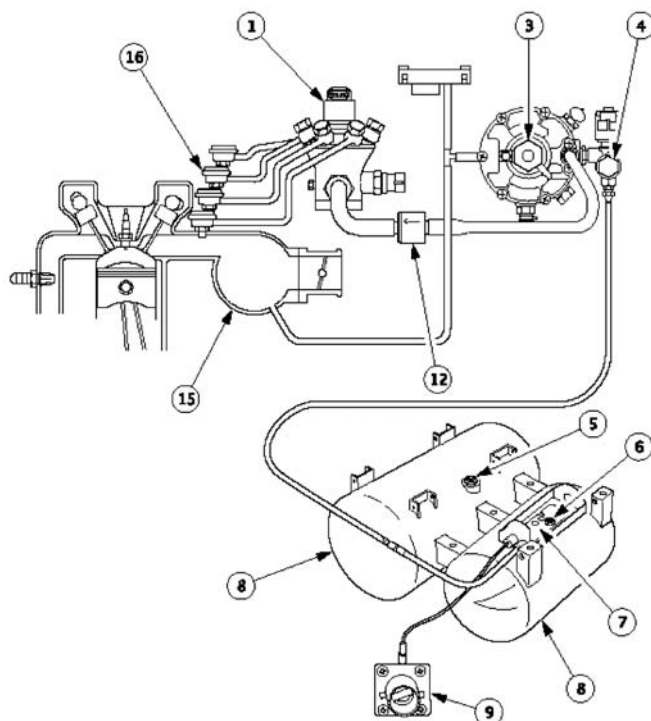
Obr. 2 Schéma systému vstřikování plynu LPG: 1 – provozní elektroventil LPG; 2 – reduktor, snímač teploty LPG; 3 – těleso škrtící klapky; 4 – potrubí; 5 – dávkovač – rozdělovač; 6 – snímač tlaku; 7 – snímač tlaku; 8 – snímač tlaku; 9 – snímač otáček; 10 – vstřikovací tryska; 11 – lambda sonda; 12 – sací potrubí

doplněný několika dalšími komponenty i ke vstřikování plynu. Plyné palivo tedy již není nasáváno směšovačem, nýbrž je vstřikováno v přesně dávkovaném množství a v přesném čase, které určuje prostřednictvím výpočtu elektronická řídicí jednotka. Schéma zařízení je uvedeno na obr. 2.

Tato soustava má tyto výhody:

- zvyšuje výkon při provozu na LPG díky zvýšení plnění válců,
- nemá žádné znevýhodnění při provozu na benzin,
- nedochází ke zvětšenému přehřívání v sacím potrubí,
- odpadá potřeba mít různé směšovače pro různé typy automobilů,
- nevyvolává žádná zhoršení v původním provedení vozu,
- přívod vzduchu se neupravuje, nepřemísťuje, nemění se trubice určené k odsávání olejových par či z benzínu,
- případně montované elektrické měřiče spotřeby fungují beze změny,
- nemění se funkce variabilního uspořádání sacího potrubí (pokud je použito), případně montované rezonátory zůstávají beze změny,
- velmi důležitou změnou oproti použití směšovače (u vstřikovacích motorů) je to, že v sacím potrubí není plyn. Ten je vstřikován až těsně před sací ventily a je tím velmi sníženo riziko vznícení směsi plynu a vzduchu v sacím potrubí („zpětné střílení“).

Od modelového roku 2002 zavedla firma **Ford** nový systém LPG, který se zásadně liší od doposud používaných systémů (obr. 3).



Obr. 3 Systém LPG nové generace pro simultánní vstřikování plynu (Ford): 1 – jednotka rozdělovač/dávkovač; 2 – snímač tlaku v sacím potrubí, 3 – jednotka výparník/regulátor tlaku; 4 – magnetický ventil s filtrační vložkou; 5 – přetlakový ventil; 6 – zaslepovací zátky; 7 – ventilová skříň se snímačem stavu naplnění a uzavírací ventil tankování; 8 – dvě navzájem spojené válcové plynové nádrže; 9 – plnicí hrdlo ze zpětným ventilem; 12 – filtr; 15 – sací potrubí; 16 – vstřikovací trysky.

U nového systému se do sacího potrubí nevstříkuje zkvapalněný plyn, ale vstříkuje se **plynný plyn**. To vyžaduje změněnou stavbu systému a několik úplně nových součástí. Plyn je dodáván v tekutém stavu z plynové nádrže do výparníku. K tomu není zapotřebí čerpadlo, tlak plynu panující v nádrži je k tomu účelu dostatečný. Ve výparníku dochází ke změně stavu plynu z tekutého na plynný, současně má výparník také funkci regulátoru tlaku. Zatímco kapalný plyn v nádrži je ještě pod tlakem cca. 7–15 barů, změní se tlak při odpařování na dva stupně na konstantní tlak 960 mbarů nad tlakem v sacím potrubí.

K tomuto účelu je výparník spojen hadicí se sacím potrubím. Suchý plyn se přes hadicové vedení dostává do rozdělovače, kde probíhá dávkování a rozdělování plynu na jednotlivé válce. V sacím potrubí je pro každý válec namontována vstříkovací tryska, přičemž tyto trysky jsou umístěny v bezprostřední blízkosti sacích ventilů. Řízení systému zajišťuje elektronická řídicí jednotka. Jednotka používá signály z několika snímačů (snímač tlaku v sacím potrubí, snímač teploty chladicí kapaliny), rozděluje se ale také o signály s existujícími snímači s řídicí jednotkou pro benzínový pohon. Motor se startuje stále na benzín, přepnutí na plyn je možné až při teplotě chladicí kapaliny 15–20 °C. Volba mezi provozem na benzín a na plyn se provádí spínačem na přístrojové desce. To je možno provádět i během jízdy. Sdružený přístroj je vybaven dodatečnými kontrolkami k indikaci provozu na plyn a k indikaci zásoby plynu. Pokud dochází zásoba plynu, řídicí jednotka plynového provozu automaticky přepne na benzínový pohon. Zapalování je také u plynového provozu řízeno řídicí jednotkou pohonu. Protože obě řídicí jednotky navzájem nekomunikují, tak při provozu na plyn nedochází k speciálnímu seřízení zapalování.

2. POHON ZEMNÍM PLYNEM CNG A LNG

Zemní plyn sestává asi z 85 % metanu (CH_4 – jednoduchý uhlovodík bez barvy a zápachu, hořlavý, se vzduchem vybuchující plyn, vyskytující se často v přírodě, i jako bahenní či důlní plyn), z 10 % dusíku a oxidu uhličitého a z 5 % vyšších uhlovodíků.

Pod zkratkou CNG (Compressed Natural Gas) se rozumí stlačený zemní plyn. V zásobníku vozidla bývá stlačen až na tlak 200 bar. Zkratkou LNG (Liquified Natural Gas) se označuje zemní plyn zkvapalněný. K dosažení kapalného stavu je ovšem potřeba teplota –162 °C. Zkvalněním se původní, výchozí objem zemního plynu zmenší zhruba šestsetkrát.

Kapalný zemní plyn nelze zaměňovat s kapalnou směsí propanu a butanu, kterou známe pod zkratkou LPG (Liquified Petroleum Gas). Tento plyn vzniká jako vedlejší produkt při těžbě ropy či zemního plynu. Zkvalnění LPG není problém, neboť na to stačí docela malý tlak. Logicky to usnadňuje plnění nádrží. Na rozdíl od zemního plynu je směs propanu a butanu těžší nežli vzduch a tak se usazuje při podlaze. To je také hlavním důvodem, proč vozidla s pohonem LPG mají zakázaný vjezd do mnoha podzemních garáží. Bioplyn se skládá především z metanu a vzniká tlením a kvašením organických hmot bez přístupu vzduchu. Využitelnost bioplynu je srovnatelná se zemním plynem. Velkou předností bioplynu je získávání energie z hlediska CO_2 neutrální.

Stlačený (zkvapalněný) zemní plyn – CNG (LNG) má následující výhody.

Ekologické výhody vyplývají především z chemického složení zemního plynu. Ten je složen z nejjednoduššího uhlovodíku – metanu. Vozidla na zemní plyn produkují výrazně méně škodlivin (nejen dnes sledovaných oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, uhličitého, pevných částic, ale i polyaromatických uhlovodíků, aldehydů, aromátů včetně benzenu) než vozidla s klasickým palivem. Rovněž vliv na skleníkový efekt je u plynových motorů menší v porovnání s benzínem či naftou.

Ekonomická výhodnost – náklady na pohonné hmoty jsou nižší (2 až 3×).

Provozní výhody – lepší směřování zemního plynu se vzduchem umožňuje rovnoměrnost palivové směsi a možnost pracovat s vysokým součinitelem přebytku vzduchu. U dvoupalivových systémů dochází ke zvýšení celkového dojezdu. Vnitřní části motoru nejsou zaneseny karbonovými úsadami, z toho plyne vyšší životnost motoru a oleje.

Bezpečnost – zemní plyn oproti benzínu, naftě, LPG je lehčí než vzduch. Zápalná teplota je oproti benzínu dvojnásobná. Tlakové nádrže vyrobené z oceli, hliníku nebo kompozitu jsou bezpečnější než benzínové nádrže.

Jednoduchost distribuce plynu k uživateli. Zemní plyn je přepravován již vybudovanými plynovody, jeho používáním se snižuje počet nákladních cisteren s kapalnými palivy.

Zemní plyn má větší perspektivu oproti produktům z ropy (benzín, naftě, propan-butanu) vzhledem k jeho větším zásobám než jsou zásoby ropy.

Nevýhody:

Nedostatečná infrastruktura – každé alternativní palivo, které se snaží konkurovat tradičním pohonným hmotám, trpí neexistencí dostatečné infrastruktury potřebné k rozšíření jeho užití. Zejména se jedná o problém malého počtu plnicích stanic.

Vyšší náklady, jednak na vozidlo – přestavby vozidel na plyn zvyšují cenu vozidla – jednak na plnicí stanice. Lze očekávat, že náklady klesnou s širším využíváním plynu v dopravě.

Zhoršení stávajícího komfortu v důsledku zmenšení zavazadlového prostoru v případě umístění tlakové nádoby do tohoto prostoru. U přestavovaných vozidel na zemní plyn se také snižuje výkon motoru. U vozidel se zkvalněným NG stoupají zároveň nároky na izolaci nádrže.

Zpřísněná bezpečnostní opatření při garážování a opravách plynových vozidel.

Přestože v případě zemního plynu jde rovněž o fosilní (vznik v dávné době) energii, jsou emise takto poháněného spalovacího motoru jasně nižší než u srovnatelného agregátu, kde pohonnou látkou je benzín. To proto, že zemní plyn je z větší části tvořený metanem a tak je velmi „čistým“ palivem.

Konkrétně to vypadá asi takto: produkce CO_2 u vozidla na zemní plyn je o více než 20 % menší než u srovnatelného na benzín. Saze a oxid siřičitý lze v případě zemního plynu takřka zapomenout. Provoz vozidla na zemní plyn je levnější než na benzín, i to je argument, se kterým se dnes i v západní Evropě musí počítat. Reálná úspora oproti benzínu se pohybuje kolem 40 %, oproti naftě přes 20 %. Svoji roli v tom hraje daňové zvýhodnění zemního plynu.

Problém stále představuje poměrně malá dojezdová vzdálenost vozidel, jejichž motory využívají jako pohonnou hmotu právě zemní plyn. Na v současné době obvyklou náplň plynu o objemu 80 litrů ujede takový automobil jen 200 až 300 kilometrů. A to je málo,

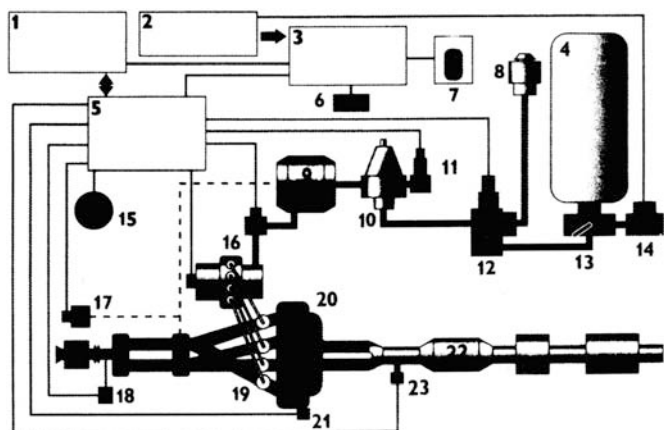
protože to odpovídá množství energie v cca 20 litrech motorového benzínu. A to ještě nehovoříme o řídké síti čerpacích stanic na zemní plyn i v zemích, kde je pro pohon vozů více využíváný.

Dříve byla směs zemního plynu se vzduchem vytvářena ve směšovači. Podstatně kvalitnější je možno vytvořit tuto směs vstříkáním plynu do jednotlivých sacích potrubí motoru přes vstříkací ventily. Schéma takovéto palivové a řídicí soustavy motoru na stlačený zemní plyn je uvedeno na obr. 4. Jedná se o zážehový motor sériově vyráběného osobního automobilu s alternativním pohonem na zemní plyn – BMW 316g compact a BMW 518g touring.

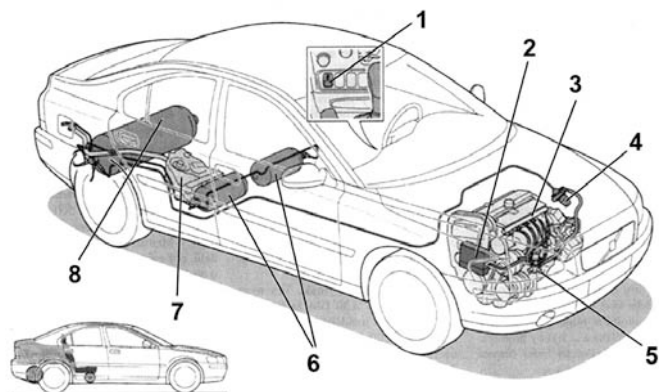
Elektronická řídicí jednotka ovládá vstříkávání benzínu i plynu. Plynové trysky jsou samostatné. Tlak na vstupu do trysky je 0,09 MPa. Výkon motoru na jmenovitém režimu při provozu na zemní plyn v důsledku menšího plnění válců a nižší výhřevnosti poklesne asi o 15 %. Spotřeba plynu u motoru 316g (čtyřválec o objemu 1596 cm³) je dle metodiky EHK (město/90/120 km/h) 6,1/3,7/4,9 kg/100 km, přičemž spotřeba benzínu za stejných podmínek je 9,4/5,7/7,5 l/100 km.

Čerpání plynu u výdejního stojanu je stejně rychlé jako čerpání benzínu. Nevýhodou je značný zastavěný objem a hmotnost ocelových láhví na zemní plyn. Při tloušťce stěny 8 mm je dosahována měrná hmotnost cca 1 kg.l⁻¹. To znamená, že tlaková láhev o objemu 80 l má hmotnost přibližně 80 kg. Výhodnější jsou tlakové láhve z kevlaru. Láhev o objemu 100 l váží pouze 27 kg, ovšem při ceně 2,5krát vyšší než je cena ocelové láhve.

Jedním z průkopníků a vyznavačů automobilů na zemní plyn je i švédský výrobce **Volvo**. Na podzim tohoto roku uvede na trh další dva modely s tovární úpravou, která umožňuje využívat dvě pohonné látky – tradiční benzin a zemní plyn. Jedná se o kombi Volvo V70 a limuzínu S80 Bi-Fuel. Automobily v této úpravě mají automatizované přepnutí z jednoho pohonu na druhý tak, že to lze

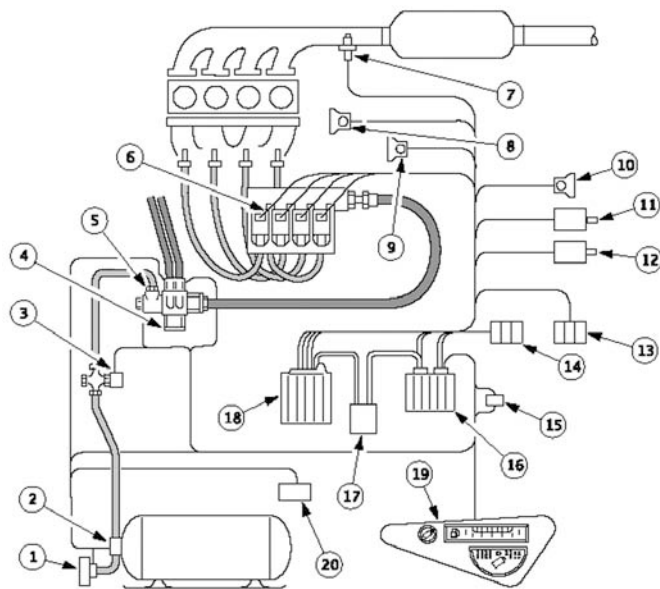


Obr. 4 Schéma palivové a řídicí soustavy motoru na stlačený zemní plyn: 1 – elektronická řídicí jednotka; 2 – přístroje; 3 – přepínací modul provozu na benzin nebo zemní plyn; 4 – nádrž na stlačený plyn; 5 – řídicí jednotka soustavy na zemní plyn; 6 – nárazové čidlo; 7 – přepínač volby paliva na redukční; 11 – tlakový spínač; 12 – vysokotlakový ventil; 13 – uzávěr nádoby na zemní plyn; 14 – tlakové čidlo; 15 – volič kvality zemního plynu; 16 – nízkotlakový ventil; 17 – tlakové čidlo v sacím potrubí; 18 – čidlo polohy škrťací klapky; 19 – vstříkací ventily zemního plynu v sacím potrubí; 20 – dávkovač zemního plynu; 21 – čidlo teploty motoru; 22 – třicestný katalyzátor výfukových plynů; 23 – lambda sonda.



Obr. 5 Systém Bi-Fuel (CNG, Biogas) Volvo S60: 1 – přepínač plyn/benzin; 2 – řídicí jednotka motoru; 3 – plynové injektory; 4 – regulátor tlaku; 5 – rozdělovač plynu; 6 – plynová nádrž; 7 – benzinová nádrž; 8 – plynová nádrž.

sotva zaregistrovat a navíc umístění nádrží pod vozidlo neznamená takřka žádné omezení vnitřního prostoru. Oba vozy jsou poháněny řadovým zážehovým pětiválcem 2,4 l. Je upraven tak, že mezi jeho výkonem při pohonu benzinem nebo zemním plynem není žádný rozdíl. V obou případech činí 102 kW. Jen nepatrně menší je při pohonu na zemní plyn točivý moment a tudíž i hodnoty zrychlení. V případě benzínu akceleruje vozidlo z 0 na 100 km/h za 10,5 s, na zemní plyn o 0,5 s déle. Maximální rychlost ale zůstává shodná – 205 km/h. Spotřeba činí u benzínu (Eurornix) 8,6 l/100 km,



Obr. 6 Elektronická zařízení systému CNG (Ford Focus): 1 – mikrospínač plynického hrdla; 2 – hlavní magnetický ventil (plynová nádrž); 3 – vysokotlaký snímač CNG; 4 – magnetický ventil regulátoru zemního plynu; 5 – snímač teploty chladicí kapaliny (v regulátoru tlaku zemního plynu); 6 – magnetické ventily v rozdělovacím potrubí plynu; 7 – vyhřívána lambda sonda; 8 – snímač polohy škrťací klapky; 9 – snímač tlaku v sacím potrubí; 10 – snímač teploty chladicí kapaliny; 11 – snímač polohy klikového hřídele; 12 – snímač polohy vačkového hřídele; 13 – pojistky systému CNG; 14 – relé systému CNG; 15 – přerušovací reke startování; 16 – řídicí jednotka CNG; 17 – měnič komunikačního protokolu SCP; 18 – řídicí jednotka hnacího ústrojí; 19 – přepínač plyn/benzin a digitální ukazatel stavu nádrže; 20 – bezpečnostní ventil paliva.

u zemního plynu 7,5 m³/100 km. Bi-Fuel se údajně vyplatí při ročním proběhu 11 200 km a je-li vozidlo drženo po dobu 3 let. To platí, aniž by se uvažovalo s podporou regionálních plynárenských společností.

Na obr. 6 je schéma pohonu zemním plynem pro soudobé osobní automobily Ford.

3. BIOPALIVA A ALKOHOLY

Přestože biomasa nemůže zcela nahradit klasické fosilní zdroje, odhaduje se, že tímto zdrojem může být v naší republice pokryto 15–20 % spotřeby všech paliv. V současnosti jsou nejdůležitějšími palivy vyráběnými z biomasy metanol, etylalkohol (etanol) a bionafta.

Z rostlin, které obsahují cukry a škrob (např. obiloviny, řepa, brambory, cukrová třtina, ovoce atd.) je možné získat organickou fermentací v mokrém prostředí a následně destilací vysokoprocentní alkohol (etylalkohol). Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého etanolu.

V praxi je však energetická výtěžnost 90–95% protože vedle etanolu vznikají další produkty např. glycerín. Etylalkohol (etanol) je vysoce hodnotné ekologické palivo pro spalovací motory. Má antidetonační vlastnosti. Jeho nedostatkem je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním aditiv (antikoročních přípravků).

Přímé použití rostlinných olejů v běžném naftovém motoru není možné (velmi vysoká viskozita, vyšší bod vzplanutí). Řešení pro běžné naftové motory se našlo v úpravě vylišovaného a vyčištěného oleje esterifikací. Procesem při němž jsou pomocí alkoholu štěpeny velké molekuly oleje na menší. To vede k podstatnému snížení viskozity a tvorbě směsi paliva se vzduchem, která odpovídá použití motorové nafty.

Z olejnatých semen (řepka, len, slunečnice) se lisuje olej. Ten se esterifikací, tj. substitucí metylalkoholu za glycerin mění na metylester oleje, který má podobné vlastnosti a výhřevnost jako motorová nafta. Jeho rozložitelnost v přírodě je několikrát rychlejší než u běžné nafty, což má význam pro ochranu životního prostředí, vodních zdrojů apod.

Na český trh se dodávají „směsné bionafty“ tvořené směsí normální motorové nafty a metylesteru řepkového oleje. Obsah metylesteru ve směsi je minimálně 30%. Výrobci garantují stupeň biologické rozložitelnosti (při kontaminaci půdy) 90 % během 21 dnů.

Použití čistého rostlinného oleje v motorech ale přináší více problémů, a proto se tento olej upravuje esterifikací na metylester (u nás zkráceně označovaný MEŘO, v zahraničí se používá termín RME – Rapeseed Methyl Ester).

MEŘO znamená MetylEster Řepkového Oleje a je to produkt vznikající při reakci řepkového oleje s metanolem, tedy bionafta. Čisté MEŘO se jako palivo používá např. v Rakousku nebo Německu. V České republice se tato bionafta tzv. první generace nepoužívá. Tzv. **bionafta 2. generace**, která je na trhu, je **směsná nafta**, kde je podíl MEŘO asi 31 %, zbytek pak tvoří klasická motorová nafta.

Ve srovnání s motorovou naftou dochází při použití MEŘO k významnému snížení emisí nespálených uhlovodíků, částic a na

nich navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků. Snížení emise škodlivin do ovzduší, tj. látek poškozujících lidské zdraví a ovlivňujících klimatické podmínky, dlouhodobé zajištění energetických zdrojů a vytvoření trhu pro odbyt zemědělského produktu představuje použití MEŘO jako paliva pro vznětové spalovací motory. Při spalování MEŘO dochází v důsledku asimilace nově vysazených rostlin k návratu CO₂ vznikajícího při spalování paliva znovu do přírodního koloběhu. Není zatěžováno životní prostředí nárůstem obsahu CO₂ v atmosféře. Oproti motorové naftě neobsahují rostlinné oleje žádnou síru a proto při jejich spalování nedochází ke vzniku oxidů síry SO_x, které ve styku se vzdušnou vlhkostí vytváří kyseliny a jsou příčinou tzv. kyselých dešťů. Rostlinné oleje neobsahují žádné aromatické složky. Taktéž emise polycyklických aromatických uhlovodíků je ve srovnání se spalováním nafty nižší.

Po několika naplnění nádrže bionaftou a po použití původní nafty je nutno vyměnit palivový filtr, protože rozpouštědlo v bionaftě uvolňuje zbytky nafty a může vést k ucpání filtru. Některé plastové a pryžové materiály nejsou při delším používání odolné na bionaftu, takže může například dojít k bobtnání palivových hadic a těsnění.

Nejvýznamnější zástupci alkoholů vhodných pro spalovací motory jsou methanol (methylalkohol, karbinol, dřevný líh; CH₃OH) a ethanol (ethylalkohol, alkohol, líh; CH₃CH₂OH), isopropanol, terc. butanol. Zatímco metanol je vyráběn z fosilních paliv (ropy, uhlí, zemního plynu a částečně i biomasy suchou destilací dřeva) katalytickou hydrogenací oxidu uhelnatého, etanol je produktem zemědělské výroby vyráběný kvašením ze surovin obsahujících cukr, celulózu nebo škrob. Výroba etanolu pro průmyslové účely se zakládá na hydrataci ethylenu. Při kvasném způsobu výroby etanolu se využívá řady zemědělských plodin, jako cukrové i krmné řepy, cukrové třtiny, kukuřice, brambor a obilovin. Proces kvasné výroby etanolu je založen na zkvašování cukerných roztoků (z výchozí melasy, popř. ze surovin obsahujících škrob, např. z brambor po jeho zcukření) kvasinkami rodu *Sacharomyces* s následnou destilací. Zajímavé využití etanolu lze najít ve směsných palivech, kde obsah etanolu činí až 5 % (dáno požadavky EU). V některých zemích dosahuje podíl až 22 % (Brazílie), což umožňuje snížit dovoz ropy a současně ekonomicky zhodnotit zemědělské přebytky. Spalováním alkoholů se zvýší obsah CO a CH_x ve spalínách, poklesne naopak množství pevných částic. Problematickou se však jeví tvorba aldehydů při spalování tohoto alternativního paliva. Metanol je navíc pro člověka vysoce toxický a k některým materiálům (pryže, plasty, slitiny hliníku) se vyznačuje vysokou chemickou agresivitou.

Z celosvětového hlediska jsou nejrozšířenější tzv. alkoholová paliva – etanol a metanol, která se vyrábějí z obilí, kukuřice a cukrové třtiny. Jednou z výhod těchto biopaliv je, že při jejich spalování se tvoří méně škodlivin. Souvisí to s tím, že mají jednodušší strukturu než benzin nebo nafta, lépe hoří a celý proces vede k menší tvorbě nespálených zbytků. Z tohoto pohledu je metanol o něco lepším palivem než etanol.

Velké výparné teplo alkoholových paliv příznivě ovlivňuje naplnění válce motoru (tedy objemovou účinnost motoru) i tepelné namáhání dílů motoru. Je to způsobeno tím, že část paliva odpařující se v průběhu plnicího a kompresního zdvihu výrazně snižuje teplotu čerstvé náplně a současně chladí i píst a válec motoru (plochodrážní motocykly).

Použití alkoholů u **zážehových motorů** nevyžaduje výraznější úpravy. Vzhledem k menší výhřevnosti alkoholu je nutno zvětšit dodávku paliva do motoru aby odpovídala směšovacímu poměru. Stechiometrický poměr směsi metylalkoholu se vzduchem je 6,5:1 a etylalkoholu 9,0:1. Současně je nutno provést úpravy pro omezení korozních vlivů na díly palivového systému a motoru. Alkoholy mají vyšší detonační odolnost a obsah škodlivin ve výfukových plynech je nižší než u motorů benzinových.

U **motorů vznětových** je při použití alkoholu nutno přestavět tyto motory na zážehové, nebo provést takovou úpravu paliva, aby provozu vznětového motoru vyhovovalo. Je nutno řešit nízkou vznětlivost alkoholů (charakterizovanou malým oktanovým číslem) a malé mazací schopnosti ve vztahu ke vstřikovacímu čerpadlu a tryskám. Přísady na bázi organických dusičnanů a dusitanů uvedené problémy řeší.

Metanol je technicky vyráběný produkt a vyrábí se z syntézního plynu, který se nechá získat z těžkého oleje nebo zemního plynu zplyněním uhlí nebo destilací dřeva. Etanol je alkohol, který se vyrábí fermentací (kvašením) z rostlinných produktů (mj. cukrová třtina). Označení M85 nebo E85 znamená směs paliva z 85 % metanolu nebo 85 % etanolu s 15 % bezolovnatého benzínu.

Dalším alternativním palivem, se kterým mají obzvláště ve Francii velké a dobré zkušenosti, je emulze obsahující 85 % motorové nafty, 13 % vody a 2 % dalších přísad – převážně emulgačních činidel, která zajišťují velmi malou velikost kapek rozptýlené vody. Emulgovaná nafta, kterou vyrábí společnost Elf, nese obchodní označení Aquazole. Vozidla provozovaná na běžnou motorovou naftu mohou bez úprav spalovat i Aquazole – emulzi nafty s vodou. Takový provoz vykazuje významná snížení emisních hodnot u tuhých částic (až o 80 %) a oxidů dusíku (až o 30 %) vzhledem k emisím vznikajících při spalování klasické motorové nafty. Aquazole připravovaný z nafty s velmi malým obsahem síry je ve zkušebním provozu a umožňuje použití katalytických filtrů pevných částic.

4. ELEKTROMOBILY

Již v počátcích rozvoje automobilismu konkurovaly elektromobily vozidlům poháněným spalovacím motorem. Mezi hlavní výhody elektromotoru patří jeho snadné spouštění, tichý chod, jednoduchá konstrukce a fakt, že téměř neznečišťuje ovzduší.

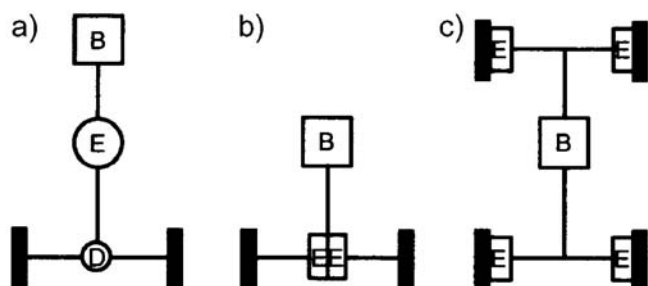
Rozvoji elektromobilů se v mnoha zemích dostává v poslední době velké podpory. Důvody k velkému nástupu elektromobilů je možno vidět především ve snaze zlepšit životní prostředí, zvláště ve městech. Diskutuje se jejich technická standardizace, tvorba infrastruktury ve městech, daňové úlevy. Každá světová automobilka představila vozidlo poháněné elektromotorem. Současným trendem je, využitím moderních výrobních technologií, dosáhnout stále lepších parametrů.

Hnací ústrojí elektromobilu je tvořeno, podobně jako u vozidla se spalovacím motorem, z motoru, převodovky, hnacích hřídelů a diferenciálu s rozvodkou (obr. 7). Nejčastěji se používá přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem. Alternativami jsou tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo v kolech.

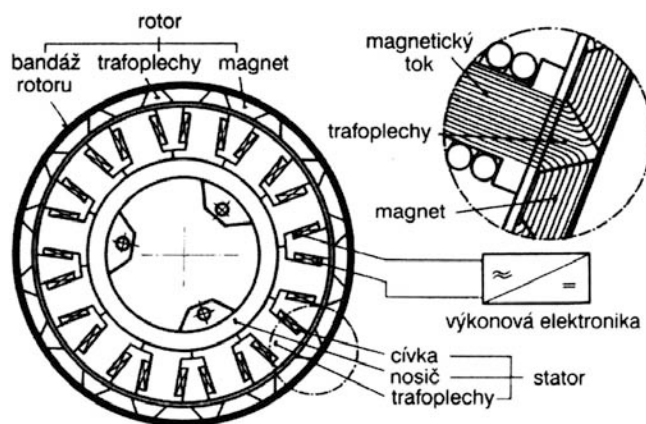
U elektromobilů jsou zkoušeny všechny druhy elektromotorů: sériový stejnosměrný motor nebo paralelní, případně s cizím buzením, asynchronní motor s tranzistorovou regulací a synchronní motor s permanentními magnety. Vzhledem k tomu, že u elektromobilů neexistuje zatím žádná velkosériová výroba a hmotnost a náklady jsou u jednotlivých alternativ různé, nevyjasnila se dodnes ještě žádná jednotná konstrukční linie. Ačkoliv technika elektrického pohonu nevyžaduje žádný speciální vývoj v oblasti pohonu vozidla, musí být přirozeně parametry celého systému přizpůsobeny (omezeným) jízdním výkonům vozidla, (zrychlení, stoupavost, nejvyšší rychlost), ale především vlastnostem akumulátorů (napětí, výkonová hustota, zatížitelnost atd.).

Příkladem je pokrokové řešení elektromotoru permanentní magnet – motor (obr. 8) s vynikajícími elektrickými parametry při malé hmotnosti a stavebních rozměrech. Motor náleží ke skupině elektronické komutace synchronních motorů s permanentním buzením.

Pro všechny elektromotory platí, že dosahovaný moment je proporcionální magnetické indukci ve vzduchové mezeře, k axiální délce rotoru a ke kvadrátu poloměru vzduchové mezery. Vzhledem ke kvadratické závislosti momentu na poloměru vzduchové mezery je výhodná konstrukce vnějšího rotoru. Tento rotor je složen z vylišovaných elektrolechů, v nichž se nachází tangenciálně magnetizované oddělené magnety (neodym – železo – bor) se střídavou polaritou. Jak je patrné z obr. 8, tvoří elektrolechy trapézovitý tvar vytvářející „klínovitý vodící tok“, jehož magnetické siločáry se ohýbají a kolmo proudí do statoru. U těchto tzv. proudových kompresí je magnetická indukce ve vzduchové mezeře



Obr. 7 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily: a) přední nebo zadní pohon; b) tandemový pohon; c) pohon v nábojích kol; B – baterie; E – elektromotor a usměrňovač příp. převodovka; D – diferenciál.



Obr. 8 Elektromotor magnet-motor.

značně zvýšena. Motor tedy nemá žádné rotující elektrické součásti. Uvnitř se nachází stator, který je složen z lisovaných elektroplechů a tvoří vysokopólové nosiče cívek. Cívky jsou spojeny s výstupem výkonové elektroniky, která proudy do statorového vinutí komutuje tak, že se motor chová jako stejnosměrný motor s cizím buzením. Je to tzv. elektronická komutace. Regulace je jednoduchá a dokonalá v celém rozsahu otáček až do $n = 0$. Vzhledem až k desetinásobku zvětšení výkonu oproti konvenčnímu provedení elektromotoru je statorové vinutí chlazeno kapalinou. Dále je motor až čtyřikrát lehčí u než konvenčního provedení a je menší.

5. HYBRIDNÍ POHON

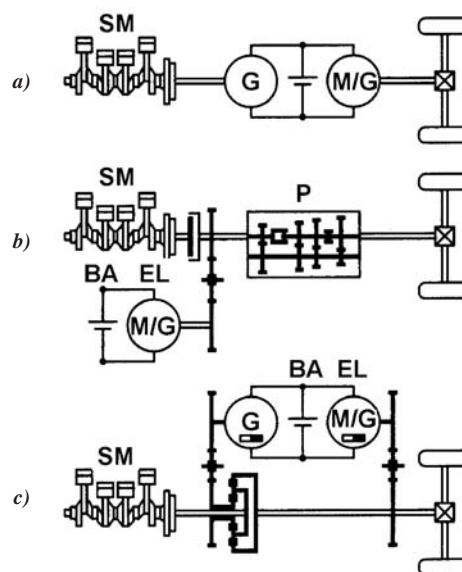
Elektrický pohon automobilů prakticky neprodukuje žádné škodlivé emise, má nízkou hladinu hluku a příznivou výkonovou charakteristiku, avšak také menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cenu pro zákazníka, případně větší nebezpečí při havárii. Zásobník energie je dosud značně rozměrný a těžký oproti obvyklým palivovým nádržím a negativně ovlivňuje zavazadlový prostor hmotnost. Kvůli nedostatečnému výkonu není tedy samotný elektrický pohon ideálním řešením.

Možné řešení nabízí hybridní pohon, což je pohon vozidla s více než jedním poháněcím zdrojem. Účelné řešení je v kombinaci vždy dvou různých systémů pohonu tak, aby převládaly výhody při rozdílných provozních stavech vůči zvýšenému technickému nákladu hybridního pohonu. Nejvhodnější kombinací je spalovací motor a elektromotor, který umožňuje městský provoz bez emisí, spalovací motor mimo město umožňuje dobré jízdní výkony a velké dojezdy. Pod označením „hybridní motor“ se obvykle rozumějí spalovací motory kombinované s elektromotory. Elektromotor pracuje obousměrně, jednak jako motor, kdy převádí elektrickou energii z baterie na energii mechanickou, a pak také jako generátor, kdy je mechanická energie transformována zpět na energii elektrickou, akumulovanou v baterii. Spalovacímu motoru menšího objemu je v případě potřeby, například při akceleraci, vypomáháno elektromotorem.

V okamžiku, kdy vůz disponuje velkou kinetickou, setrvačnou, případně potenciální energií, která není v daný moment k užítku, a které se běžně zbavujeme brzděním, začíná pracovat elektromotor jako generátor, který brzdí vozidlo a zároveň dobíjí baterii. U běžných automobilů se tato energie odvádí bez užítku z brzd do okolí v podobě tepla. Hybridním pohonem se optimalizuje režim spalovacího motoru, který má při vyšší zátěži vyšší spotřebu a větší emise a zároveň se využívá běžně ztracená energie. Jednoduše řečeno, hybridní motor hospodář s energií během jízdy.

V současnosti je vývoj po počátečních snahách pouze o elektromobil ustálen na vývoji hybridního pohonu spalovací motor-elektromotor, nebo spalovací motor-elektromotor-setrvačnick nebo elektromotor-setrvačnick.

Hybridní pohon je mezičlánkem v pohonu automobilu klasickým spalovacím motorem a elektromotorem. Velký význam mají dosud provedené hybridní pohony skládající se z kombinace spalovacího motoru a elektrického pohonu napájeného buď z akumulátoru, nebo z vodiče pomocí snímače proudu (troleje). Nezávisle na různém uspořádání převodu a spojek lze podle toku výkonu rozdělit hybridní pohon na tři základní koncepce. Principiální uspořádání je patrné



Obr. 9 Uspořádání hybridních pohonů (Bosch): a) sériové uspořádání; b) paralelní uspořádání; c) smíšené uspořádání; SM – spalovací motor; EL – elektromotor; G – generátor; M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor; P – převodovka; BA – akumulátor.

z obr. 9. Hlavní rozdíl různých systémů tvoří sériové, paralelní nebo smíšené uspořádání. Akumulátor může být dobíjen externě.

Sériové uspořádání. Jednotlivé poháněcí komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou (obr. 9a). Pro elektrické stroje značí údaj M nebo G možnost motorického nebo generátorového druhu provozu. Mechanické spojení spalovacího motoru pro pohon vozidla při sériovém uspořádání je možné při konstantních otáčkách jen v optimálním režimu provozu, vzhledem k účinnosti a emisím výfuku. Spalovací motor může být provozován ve velmi úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce jen při jedné otáčce. Tím odpadají nevhodné režimy pracovní charakteristiky, jako je volnoběh nebo spodní rozsah částečných zatížení, motor tedy může být nastaven na optimální pracovní rozsah s nejvyšší účinností. Jestliže akumulátory nemohou pokrýt momentální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Naproti výhodě sériového uspořádání je nevýhoda vícenásobné přeměny energie. Vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou s těžší větší než 55 %.

Paralelní uspořádání. Jeho výhoda tkví v tom, že při provozu se spalovacím motorem nedochází k žádnému zhoršení oproti normálnímu provozu vozidla. Při tomto uspořádání (obr. 9b) je pro pohon spalovacím motorem nutný mechanický připojovací prostředek a převodovka. Převodovka konvenčního typu je společná také pro elektrickou poháněcí větev. U této poháněcí varianty postačuje analogicky měnit otáčky elektrického stroje ve vztahu k spalovacímu motoru jen v rozsahu již uvedeném (účinnost a emise). To může splnit pouze elektromotor nakrátko se silným budícím polem. Maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám spalovacího motoru. Tankování, respektive výměna akumulátorů omezuje dojezd při pohonu elektromotorem asi na 150 km s omezeným výkonem asi 30 kW a s asi osmihodinovou dobou dobíjení. Současným zapnutím obou zdrojů energie je možno

při nízkých otáčkách motoru zvýšit tažnou sílu. V kombinovaném provozu zůstává spalovací motor trvale zapnut, teprve při velkém zrychlení, např. při předjíždění, se zařadí elektromotor, čímž se zvýší krátkodobě požadovaný špičkový výkon. Tímto převýšením točivého momentu poskytuje paralelní hybrid výkonovou rezervu odpovídající výkonu velkoobsahového spalovacího motoru.

Rovněž při elektrickém provozu může být následným zapnutím spalovacího motoru zlepšena jízdní dynamika. V městském provozu odpovídá elektrický pohon provozu se spalovacím motorem.

Vývoj hybridního paralelního pohonu koncentrující se na jmenovitou hodnotu dojezdu se současnými těžkými akumulátory není pro pokrokové automobilky cílem. Překážkou sériového zavedení jsou vysoké náklady přídatných komponentů a omezená životnost. Zlepšení stavu zde slibují elektrostatické zásobníky energie (kondenzátory), případně magnetodynamické zásobníky energie.

Při srovnání obou systémů hybridních pohonů je paralelní uspořádání vhodnější pro projíždění úseků dráhy bez emisí. Sériový hybrid pak zvyšuje hodnotu typického elektromobilu.

Nevýhody základních koncepcí paralelního a sériového uspořádání vedly k vývoji smíšeného hybridního systému (obr. 9c). Jeho vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojkou, volnoběžkami, brzdami je libovolně rozmanité. Například to může být sériový hybrid s propojovací spojkou spalovacího motoru ke kolu. Pokud vede tok výkonu spalovacího motoru přitom paralelně po různých cestách ke kolu, tak se hovoří o principu větvení výkonu. Větvení výkonu se přitom může dít mechanicky diferenciallym nebo elektricky. Příkladem je hybridní systém Toyota Prius.

Systém zásobníku elektrické energie obsahuje vlastní akumulátor, jeho elektronické řízení, zařízení opětovného dobíjení, rekuperace a další.

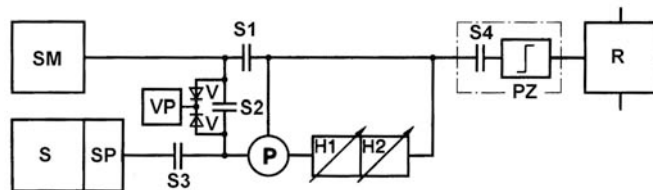
Technicky důležitá kritéria trakčního akumulátoru zvláště pro silniční vozidla jsou:

- energetická a výkonová hustota, vysoká účinnost,
- bezúdržbový provoz, velká životnost, nízká hmotnost,
- ekologická čistota výroby, provozu i recyklace.

Všechny systémy musí splňovat čisté recyklační zařízení bez škodlivých emisí do vzduchu, vody i půdy. Pro trakční baterie přicházejí v úvahu následující systémy:

- olověný akumulátor,
- akumulátor nikl-kadmium,
- akumulátor nikl-metalhydrid,
- akumulátor sodík-niklchlorid,
- akumulátor lithium-ion,
- akumulátor lithium-polymer,
- akumulátor zinek-vzduch.

VW Golf (obr. 10) má na společném hřídeli mezi vznětovým motorem a převodovkou elektrickou poháněcí jednotku oddělenou dvěma spojkami. Tím je umožněn provoz buď spalovacím motorem při zapnutí obou spojek, nebo elektromotorem při vypnuté spojkce mezi spalovacím motorem a elektromotorem, anebo současný pohon oběma agregáty zapnutím obou spojek. Vysoká dynamika použitého elektromotoru umožňuje průběhy řazení převodovky aktivně synchronizovat tak, aby bylo možno řazení převodů pouze s jednou spojkou, tzn. že spojka mezi elektromotorem a převodovkou odpadá. Řešení jen s jednou spojkou vede ke kompaktnosti i ke snížení výrobních nákladů.

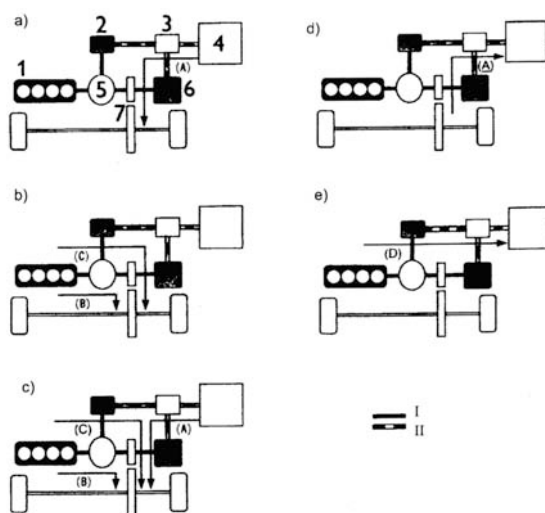


Obr. 10 Hybridní pohon (spalovací motor – setrvačnick): SM – spalovací motor; S – setrvačnick; SP – redukční převod setrvačnicku; VP – pohon náboje spojky; V – volnoběh; S1, S2, S3, S4 – spojky; P – planetová převodovka; H – stupňovitý hydrostatický převod; PZ – automaticky řazená planetová převodovka; R – rozvodovka (pohon nápravy).

Schéma hybridního pohonu spalovacím motorem se setrvačnickem je uvedeno na obr. 10. Pohon je proveden buď samostatným spalovacím motorem (sepnutím spojek S1 a S4) přes automaticky řazenou planetovou převodovku, nebo samotným setrvačnickem přes hydrostatickou stupňovou převodovku (sepnutím spojek S3 a S4) a nebo současně spalovacím motorem a setrvačnickem.

Funkce hybridní soustavy Toyota Prius je znázorněna na obr. 11. Funkci je možno rozdělit do pěti fází:

- a) rozjezd, pomalá jízda, apod. Spalovací motor je vypnutý, protože by běžel v neekonomickém režimu. Vozidlo pohání jen elektromotor (A).
- b) normální jízda. Výkon motoru pohání, pomocí rozdělovacího soukolí, kola vozu (B) a také generátor (C), který dodává proud elektromotoru. Dělení výkonu se reguluje tak, aby účinnost celé soustavy byla co největší.
- c) plná akcelerace. Při plném sešlápnutí akceleračního pedálu pohání vozidlo oba motory (B, C). Elektromotoru dodávají proud i baterie (A).
- d) decelerace a brzdění. Kinetická energie vozidla se využívá k pohonu elektromotoru, jenž se mění v generátor, který dobíjí baterie (A).
- e) dobíjení baterií. Poklesne-li napětí baterií, začnou se dobíjet proudem z generátoru (D).

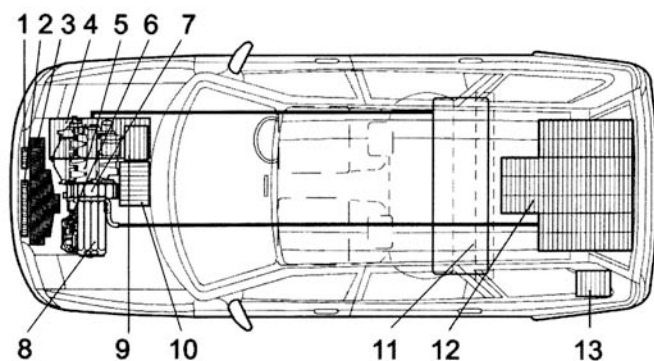


Obr. 11 Schéma uspořádání hybridní soustavy Toyota Prius a její funkce: I – mechanické spojení; II – elektrické spojení; a) rozjezd; b) jízda; c) akcelerace; d) brzdění, decelerace; e) dobíjení baterií; 1 – spalovací motor; 2 – generátor; 3 – měnič a usměrňovač proudu; 4 – baterie; 5 – rozdělovací planetové soukolí; 6 – elektromotor; 7 – stálý převod.

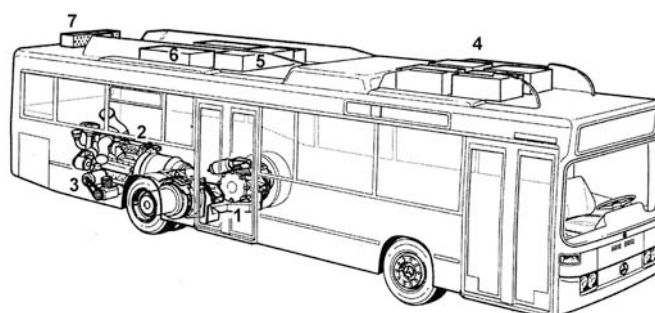
Toyota Prius je první velkosériově vyráběný vůz na světě. Jeho pohonnou jednotku tvoří zařízení THS (Toyota Hybrid System). Pohon je tvořen vysoce účinným zážehovým motorem o objemu 1,5 l a elektromotorem. Přední kola může pohánět každý agregát zvlášť nebo oba dohromady. O tom, v jakém poměru se budou obě jednotky dělit o výsledný točivý moment, rozhoduje elektronická řídicí jednotka, která vychází z údajů o rychlosti vozu, zatížení a z dalších faktorů. Protože akumulátory jsou prostřednictvím THS udržovány stále nabitě, vůz nepotřebuje dodatečné dobíjení.

Hlavním úkolem zážehového motoru je pohánět používá k dobíjení akumulátorů. Ty se samočinně dobíjejí též při brzdění. Získaná energie se naopak používá k dodatečnému připojení elektromotoru například při předjíždění nebo náročném stoupání. V některých situacích je chod zážehového motoru neefektivní, zejména v nízkých rychlostech nebo při klesání. Tehdy se agregát zcela vypne a pohon přebírá elektromotor. Ke spuštění benzínové jednotky dojde samočinně, jakmile řídicí systém vydá pokyn, například při opětovné akceleraci. Prius je nejen pohledem do budoucnosti, ale navíc praktickým, čtyřdveřovým sedanem jako běžný automobil.

Nový **hybridní vůz Toyota Prius II** byl představen v roce 2003 na autosalonu v New Yorku. Toyota je největším výrobcem hybridních automobilů na světě. Toyota vyrobila od uvedení prvního Priusu v roce 1997 do konce července celkem 147 894 hybridních automobilů, z toho přes 130 tisíc Priusů. Poháněcí soustava Toyoty Prius II THS II (Hybrid Synergy Drive) je kapalinou chlazený řadový čtyřválec, uložený vpředu napříč společně s elektromotorem a generátorem elektrické energie. Trakční střídavý synchronní elektromotor Toyota s permanentními magnety má výkon 50 kW a točivý moment 115 Nm. Generátor elektrické energie je střídavý synchronní alternátor. Rozdělování energie z motoru na generátor a trakční elektromotor zajišťuje planetová elektronicky řízená plynulá převodovka E-CVT s rozdělovačem točivého momentu. Akumulátory Ni-MH mají 168 článků po 1,2 V (celkem 201,6 V), jsou uloženy vzadu pod podlahou a mají hmotnost 39 kg. Okamžitý režim motoru může sledovat na displeji uprostřed přehledné palubní desky. Funkci systému regenerace energie při zpomalování a brzdění, pro maximální výkon pracují oba motory společně, eventuálně generátor dobíjí akumulátory.



Obr. 12 Paralelní hybrid – koncept Ford: 1 – chladič samočinné převodovky; 2 – chladič elektromotoru; 3 – chladič spalovacího motoru; 4 – elektromotor-ustměřovač; 5 – dvoudobý motor (60 kW); 6 – samočinná převodovka; 7 – rozvodovka; 8 – elektromotor (40 kW); 9 – topení; 10 – napěťový měnič; 11 – nádrž; 12 – Ni-Cd akumulátor (7 kWh); 13 – nabíječka.



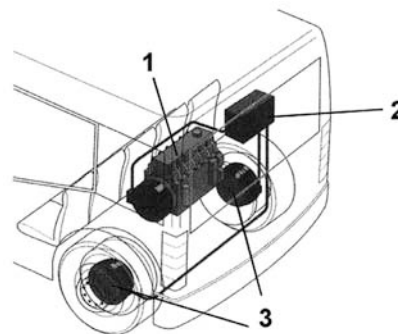
Obr. 13 Hybridní elektro-autobus Mercedes-Benz: 1 – motor v náboji kola; 2 – vznětový motor s generátorem; 3 – vzduchový kompresor a čerpadlo servořízení; 4 – trakční baterie; 5 měnič palubní sítě; 6 – měnič elektrické-ho proudu; 7 – brzdový odpor.

Ford **Focus** je vyráběn rovněž jako hybrid s akumulátory Ni-Cd s životností asi 10 let, které umožňují dojezd 85 km, maximální rychlost je 90 km/h (obr. 12). Nabíjejí se zástrčkou ze sítě 220 V v době 4 až 6 h na 85 % kapacity.

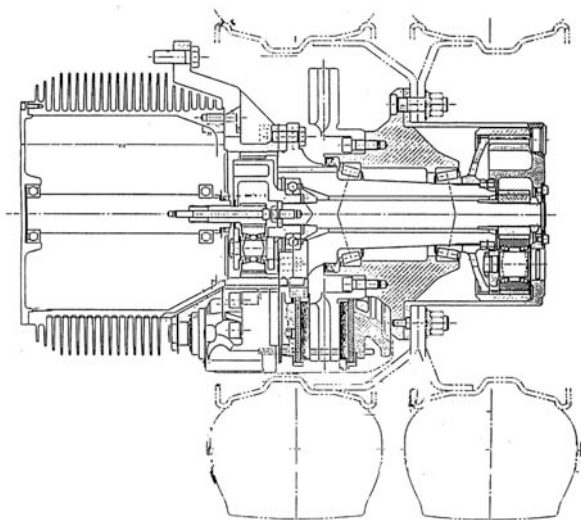
Sériový hybridní pohon byl použit např. u elektrobuseů Mercedes-Benz (obr. 13). Toto vozidlo jezdí na elektrický proud z akumulátorů. Spalovací motor slouží pouze k dobíjení akumulátorů, a jeho provoz je řízen tak, aby emise byly co nejmenší. Ztráty způsobené dvojitou transformací energie (mechanická energie/elektrická energie/mechanická energie) jsou však tak velké, že provoz s déle běžícím spalovacím motorem jsou značné.

Autobus Neoplan N 8008 DES má namontovány čtyři speciální elektromotory přímo v nábojích kol (včetně předních kol). Výhoda tohoto uspořádání je v ideálním přenosu výkonu spalovacího motoru na poháněcí kola vozidla elektricky. Pohonná jednotka je tvořena vznětovým motorem s generátorem, řídicí elektronikou a elektrickým pohonem v kolech (obr. 14). Elektromotory jsou spojeny přímo s osou kol. Tím odpadá komplikovaný hnací mechanismus, pohon je plynulý při značné úspoře energie a s nízkými emisemi. Elektrické motory v kolech jsou chlazeny kapalinou, mají permanentní buzení. Rotorem je vnější část, která je spojena s kotoučovými brzdami. Spalovací motor s vestavěným kompaktním generátorem funguje jako palubní elektrárna. Výroba proudu je řízena elektronikou. Celkové řešení dosahuje optimální účinnosti při rovnoměrném točivém momentu a stálém výkonu.

Při brzdění elektromotory pracují jako generátory, které přebytečný proud brzdícího výkonu dodávají magnetodynamickému



Obr. 14 Agregát autobusu Neoplan A 8008 DES: 1 – vznětový motor s generátorem; 2 – řídicí elektronika; 3 – elektrický pohon v kolech.



Obr. 15 Elektrický pohon kol autobusu Mercedes-Benz od firmy ZF (ATZ 1997).

zásobníku. Při vysoké spotřebě proudu např. během rozjezdu jsou oba zdroje proudu zapnuty (tj. proud generátoru a proud magnetoelektrického zásobníku). Městský provoz je zajištěn vysokovýkonnými akumulátory VARTA nikl-metal-hybrid. Autobus Neoplan MIC má dojezd až 40 km při rychlosti 60 km/h a stoupavosti až 13 %.

Systém elektropohonu v kolech je znázorněn na obr. 15.

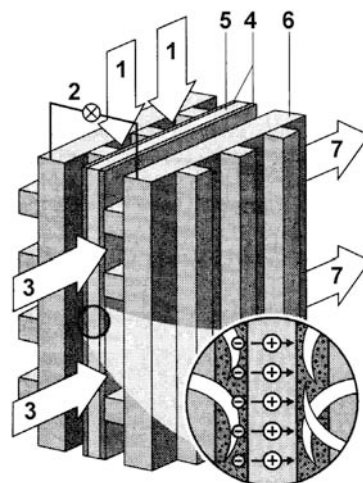
Kombinace pohonu vozidel spalovacím motorem a elektromotorem, tj. hybridní pohon, otevírá nový potenciál, ale staví také požadavky; zvláště na elektrické hnací komponenty, které nedosahují dosud úrovně používaných průmyslových pohonů. Přesto pokrok v posledních letech, zejména v oboru magnetických materiálů, způsobuje značný pokrok především elektrických pohonů. Zlepšení stavu lze očekávat zavedením magnetoelektrických, případně elektrostatických zásobníků energie, které pohon vozidla zabezpečí dostatečnou energií v několika sekundách.

Současná vozidla s hybridním pohonem jsou vzhledem ke zvýšeným výrobním nákladům vesměs dražší. Proto by měly být zákonodárstvím vytvořeny předpoklady pro zavádění této techniky, podobně jako to bylo při zavádění katalyzátorové techniky formou daní, případně finanční podporou.

Hybridní pohon by se měl začít využívat co nejdříve, aby překlenul období, nežli se přejde na vhodný alternativní pohon. Nevýhodou hybridního pohonu je jeho složitost daná dvěma kompletními druhy motorů. Důsledkem je jak větší pravděpodobnost technické poruchy, tak značné zvýšení celkové hmotnosti vozu a nakonec i cena.

6. VODÍKOVÝ POHON

Energie obsažená ve vodíku může být uvolněna ve dvou formách, buď přímo ve spalovacím motoru, nebo ve „studené“ formě v palivovém článku přímou přeměnou v elektrický proud.



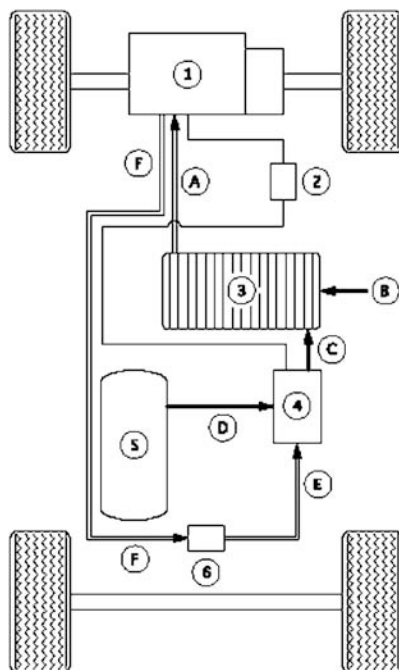
Obr. 16 Schéma palivového článku: 1 – vodík; 2 – vnější obvod se zátěží; 3 – kyslík nebo vzduch; 4 – katalyzátor; 5 – elektrolyt; 6 – elektroda; 7 – voda a nadbytečný vzduch.

Palivový systém motoru je přizpůsoben pomocí elektronického směšovacího systému, který určuje směšovací poměr vodíku a vzduchu. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu. Přídavný vzduch ve spalovacím prostoru odnímá teplo a tím klesá teplota plamene pod kritickou mez, nad níž by se směs mohla sama vznítit. Nízká teplota spalování současně brání vzniku oxidů dusíku (NO_x), které jsou v redukčním katalyzátoru zážehových motorů neutralizovány. Bez dalších přídavných zařízení pracují vodíkové motory prakticky bez emisí, oproti benzínu jsou všechny emisní komponenty sníženy až o 99,9%.

Druhý systém využívá akumulátor pro zásobování palubní sítě elektrickou energií. Palivový článek přebírá funkci konvenčního akumulátoru, má výkon 5 kW, účinnost téměř 50 % a je neustále v provozu.

Palivové články jsou zařízení, v nichž na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. Palivový článek nejjednoduššího typu vodík-kyslík je znázorněn na obr. 16.

Komora či spíše prostor nalevo slouží k přivodu reakčního plynu, vodíku H_2 . Dále je elektroda anoda. Tato je elektricky vodivá a její vnější povrch je upraven tak, aby na něm mohla probíhat absorpce a mohla z vodíkového atomu odchytnout elektron. Odchycený elektron nemá jinou možnost nežli vodivou anodu opustit a vnějším elektricky vodivým obvodem projít do zapojeného elektrického spotřebiče (naznačena žárovka) o zde svou elektrickou energii proměnit na energii záření (světlo a teplo). Elektron poté putuje vnějším vedením dále až na druhý pól článku katodu. Vrátime se zpět na anodu. Jak již víme, nestabilní vodíkový atom se v molekulovém chaosu rozpadl na dvě stabilní vodíkové atomy. Takový vodíkový atom, pokud najde na povrchu anody volné místo, na principu povrchové vazby přijde o svůj jediný elektron. Zbytek, kladný proton pod mohutnou bouří obrovského množství vodíkových atomů, hledá cestu k úniku. Proto je zde další vrstva: elektrolyt. Jestliže v elektrolytu jsou mezi atomy kanálky, kterými může tento proton uniknout bitvy, projde na další elektrodu – katodu. Na vnější straně katody je další reakční membrána. Tato membrána je redukční katalitická membrána, která umožní obdivuhodnou



Obr. 17 Pohon na palivové články: 1 – elektromotor; 2 – řídicí jednotka; 3 – palivové články; 4 – pomocné agregáty k výrobě vodíku; 5 – nádrž s metanolem; 6 – akumulátor; A – elektrický proud (k pohonu elektromotoru); B – kyslík z okolí; C – vodík; D – methanol; E – přívod energie (elektrický proud); F – nabíjecí proud (elektromotor v generátorovém režimu).

reakci. Elektron, který přišel na katodu vnějším okruhem, vytvoří pevnou vazbu s některým z mnoha kladných protonů, tím opět vznikne stabilní atom vodíku, který se na redukční membráně recombinoval s polovinou molekuly kyslíku $1/2 O_2$ na čistou vodu H_2O ($H_2 + 1/2 O_2 \Rightarrow H_2O$).

Struktura elektrod palivového článku zpravidla závisí na použitém palivu, případně na vlastnostech oksyločivadla. Palivem mohou být plynné, kapalné i tuhé látky. Z plynu lze jmenovat již zmíněný vodík H_2 , oxid uhličitý CO , nebo hydrazin N_2H_4 , z kapalin metanol CH_3OH a další složitější alkoholy a z tuhých látek některé kovy (sodík Na , hořčík Mg , zinek Zn , kadmium Cd). Okysličovadlem mohou rovněž být plynné (kyslík O_2 , chlor Cl_2), kapalné či tuhé látky (oxid rtuťnatý HgO , oxid mangančitý MnO_2), ale z praktických důvodů se nejčastěji využívá kyslík z okolního vzduchu.

Palivové články se však dělí především podle typu elektrolytu.

V současné době rozeznáváme následujících pět systémů:

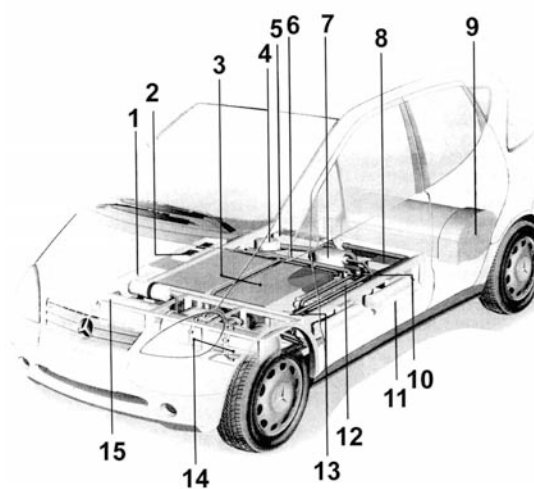
- **alkalické články** (AFC's – alkaline fuel cells), v nichž je elektrolytem zpravidla zředěný hydroxid draselný KOH ,
- **články s tuhými polymery** (PEFC's – proton exchange fuel cells), v nichž je elektrolytem tuhý organický polymer),
- **články s kyselinou fosforečnou** (PAFC's – phosphoric acid fuel cells), jejichž elektrolytem je kyselina fosforečná H_3PO_4 ,
- **články s roztavenými uhličitany** (MCFC's – molten carbonate fuel cells), v nichž je elektrolyt tvořen směsí roztavených uhličitánů,
- **články s tuhými oxidy** (SOFC's – solid oxide fuel cells), kde elektrolytem jsou oxidy vybraných kovů.

Uvedené systémy se liší jednak chemickými reakcemi probíhajícími na jednotlivých elektrodách, provozní teplotou i účinností elektrochemických přeměn

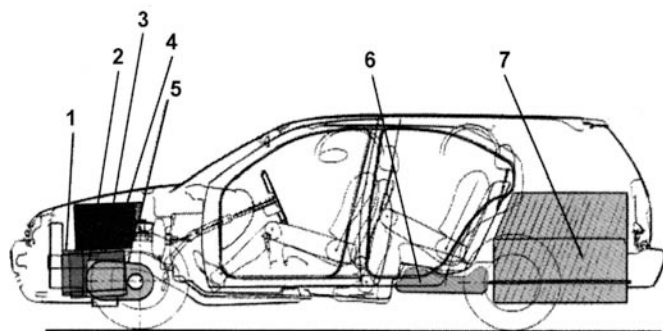
Uspořádání pohonu vozidla na palivové články znázorňuje obr. 17.

V roce 2000 Daimler-Chrysler prezentoval 2 automobily s pohonem na palivové články NECAR 5 a Jeep Commander 2. V případě automobilu NECAR 5 se jedná opět o Mercedes Benz A-třídy poháněný tentokrát metanolem (obr. 18). Prototyp NECAR 5 (New Electric Car) je uváděn jako vozidlo pro denní použití, jehož výroba má být zahájena od roku 2004. Ani komfort a jízdní vlastnosti tohoto vozidla nejsou nikterak opomíjeny. Vozidlo je velmi tiché a pro elektrický pohon má i typickou dynamiku, a především je ekologické. Veškerá technologie provozu palivovým článkem je vestavěna do sendvičové podlahy vozidla Mercedes-Benz A třídy. Prostory pro posádku i zavazadlový prostor nejsou nijak kráceny. Vůz je vybaven elektromotorem (55 kW) dosahuje rychlosti až 150 km/h, jízdní dosah 450 km. Chemická energie uložená ve vodíku konvertuje na elektrickou asi z 80 %. Palivové články dodávají proud 340 ampérů. Jako pohonné jednotky jsou použity reluktanční elektromotory. Cenu pohonné látky spotřebované na 100 km je možno porovnat s cenou dvou litrů benzínu. Absolutně nulová emise spalin. Mercedesy třídy A „F-Cell“ s vodíkovým pohonem přepravovaly návštěvníky frankfurtského autosalónu 2003.

Volkswagen zvolil jako základ pro koncepci vozidla poháněnou palivovým článkem vůz VW Golf, na jehož platformě jsou vyráběna i vozidla Bora, New Beetle, Golf a Bora Variant. Pro stanovení koncepce takového vozidla jsou nutné rozsáhlé vývojové práce na celém vozidle. Musí být vyvíjen nejen systém palivového článku, ale i další vozidlové komponenty, elektropohon, trakční baterie, management vozidla i další standardní komponenty, jako řízení a brzdy – vše musí být optimalizováno na celkový systém vozidla. Při hmotnosti prázdného vozu 1060 kg, dovolené celkové hmotnosti 1790 kg a nosnosti 400 kg lze uvažovat hmotnost celého systému



Obr. 18 Schéma automobilu NECAR 5 poháněného vodíkem: 1 – tlumič zvuku; 2 – elektronická řídicí jednotka; 3 – palivový článek; 4 – vodní filtr; 5 – tepelný výměník; 6 – kondenzátor; 7 – obvod kondenzátoru; 8 – vodní čerpadlo; 9 – vodíková nádrž; 10 – proudové čerpadlo; 11 – tlumič hluku; 12 – vodík/vzduch/přívody do palivových článků; 13 – chladič vzduchu; 14 – kompresor; 15 – vzduchový filtr.



Obr. 19 Volkswagen Golf variant s palivovými články: 1 – elektronika motoru; 2 – asynchronní elektromotor 50 kW; 3 – nabíječka; 4 – baterie; 5 – převod; 6 – palivová nádrž; 7 – palivové články.

palivového článku včetně nádrže paliva na 330 kg. Stanovené cíle jízdního výkonu pro nejvyšší rychlost a zrychlení lze dosáhnout s výkonem 85 kW elektropohonu a jednostupňovým převodem. Pro pohon a převody lze přitom uvažovat s celkovou účinností 84 %. Cíl spotřeby paliva 5 l ekvivalentu benzínu na 100 km vyžaduje při použití metanolu jako paliva nádrže o obsahu asi 60 l (pro uvažovaný dojezd vozidla). Základním typem je VW Golf Variant (obr. 19). Elektrický pohon zajišťuje asynchronní motor o výkonu 50 kW s jednostupňovým převodem a pohonem na přední kola. Použitý akumulátor Ni-MH je uložen pod kapotou nad pohonem v klimatizovaném prostoru a umožňuje na čistě elektrický pohon dojezd asi 32 km. Palivový článek s předřazeným reformerem metanolu je dimenzován na výkon 20 kW. S tímto uspořádáním dosahuje vozidlo nejvyšší rychlosti 130 km/h, zrychlení z 0 na 100 km/h za 20 s a dojezd asi 400 km se 40litrovou nádrží metanolu. Nabízí 5 míst k sezení, ale zavazadlový prostor je zcela zaplněn systémem palivového článku.

HydroGen 1 (General Motors/Opel) je automobil poháněný čistým vodíkem, který docílil při testech v Arizoně celkem 15 světových rekordů mezi vozidly s palivovými články. Experimentální vozidlo HydroGen 1 na bázi Opel Zafira (obr. 20) má pod kapotou místo konvenčního spalovacího motoru 200 palivových článků o hmotnosti 300 kg, elektromotor, tepelné výměníky atd. Palivové články tvoří blok ze dvou stovek do série pospojovaných článků. Ten je svými rozměry 590 x 270 x 500 mm srovnatelný s rozměry běžného spalovacího motoru. V závislosti na podmínkách dává systém palivových článků v experimentálním vozidle při konstantním zatížení výkon 80 kW (109 k), špičkový výkon činí asi 120 kW (163 k).

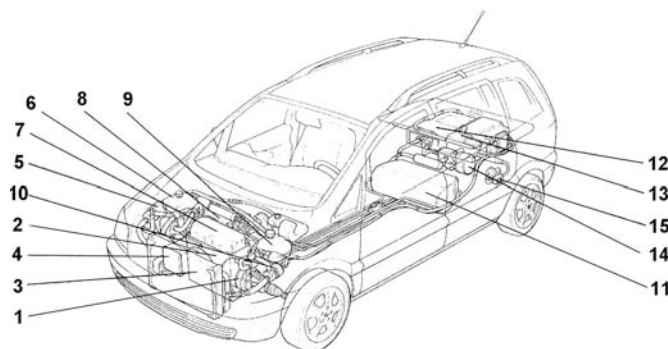
Vznikající stejnosměrný elektrický proud se v elektronické řídicí jednotce systému mění na proud střídavý o napětí 250 až 380 V. Ten pak napájí třífázový asynchronní motor o výkonu 55 kW (75 k), pohánějící přední kola prototypu HydroGen 1. Vodík potřebný pro palivové články je v tomto automobilu uložený ve zkapalněném stavu ve speciální nádrži z ušlechtilé oceli při teplotě minus 253 °C. Nádrž je izolována několika vrstvami skelné tkaniny (obr. 12), která má stejné termoizolační vlastnosti jako izolace z pěnového polystyrenu tloušťky devět metrů. Při průměru 400 mm a délce jednoho metru má tato nádrž objem zhruba 75 litrů, což v hmotnostním vyjádření činí asi pět kilogramů vodíku.

HydroGen 3 – Opel/General Motors pokrokový projekt

zlepšeného systému pohonu vozidla Zafira, jako důležitý krok na cestě k realizaci ochrany životního prostředí. Vozidlo je vybaveno pohonem palivovými články. Proti předchůdci HydroGen 1 je systém palivového článku zdokonalen tak, že umožňuje optimální uspořádání jednotlivých komponentů ve vozidle. Úspěšný HydroGen 3, stejně jako jeho předchůdce, je společným projektem vývojového centra pro alternativní pohony GAPC (Global Alternative Propulsion Center) se stanovištěm v německém Mainz-Kastelu a ve Warrenu a Rochesteru v USA. Cílem při vývoji HydroGen 3 bylo zlepšení výkonnosti a denní provozní způsobilosti pohonného systému. V rámci změn oproti HydroGen 1 byla zaměřena pozornost vývoje na jednotlivé komponenty. Dalším efektem byla redukce hmotnosti vozidla dosažením cílové hodnoty 1590 kg. Hlavním stavebním celkem je vysokovýkonný akumulátor. Ten jako zásobník energie sloužil u HydroGen 1 současně k pokrytí pohonu výkonových špiček. U HydroGen 3 je systém palivových článků tak optimalizován, že potřeba energie z akumulátoru odpadá. Tento pokrok přinesl úsporu hmotnosti téměř o 100 kg. Další výhodou je, že úroveň podlahy zavazadlového prostoru vodíkové zafiry odpovídá sériovému provedení.

Optimalizace stavby celého systému palivového článku vede mimo jiné k tomu, že voda vznikající chemickou reakcí vodíku a kyslíku v palivových článcích pokrývá potřebné množství vody k vlhčení membrán palivových článků. Tyto přídatné vlhčící komponenty pro články znamenají další úspory prostoru a hmotnosti. Dále byl zdokonalen celý trakční systém, který je nyní kompaktnější. Komplet sestávající z usměrňovače, elektromotoru jakož i převodu s parkovacím zařízením a diferencíálem je samostatný modul mezi měničem stejnosměrného napětí a hnací hřídelí, vážící celkem jen 92 kg. K tomu přistupuje výhoda stejných bodů uložení, na nichž je v zafire zamontován, a to je opět velký pokrok ve směru zavedení sériové výroby. Mimo to bylo docíleno podstatného zlepšení komfortu HydroGen 3 oproti jeho předchůdci. Vozidlo je dále opatřeno kompletním diagnostickým zařízením, které průběžně informuje řidiče o stavu všech jeho systémů.

Svazek palivových článků HydroGen 3 dodává trvalý výkon 94 kW a špičkově až 129 kW. Proces přeměny energie vodíku a kyslíku reagující elektrochemicky na vodu se děje při teplotě 80 °C a podle



Obr. 20 Řez experimentálním vozem s vodíkovými palivovými články HydroGen 1: 1 – elektromotor; 2 – sada palivových článků; 3 – chladicí modul; 4 – anodový zvlhčovač; 5 – vodní čerpadlo; 6 – vodní nádržka; 7 – měnič napětí; 8 – katodový zvlhčovač; 9 – nádržka chladicí kapaliny; 10 – čerpadlo chladicí kapaliny; 11 – nádrž kapalného vodíku; 12 – vysokonapěťová baterie; 13 – vzduchový filtr; 14 – kompresor; 15 – katalytický hořák/dmýchadlo.

stavu zatížení se vyvíjí elektrické napětí mezi 125 a 200 V. Toto napětí je stejnosměrným měničem převáděno na 250 až 380 V, pomocí výkonové elektroniky dále měněno na střídavé napětí a přiváděno na asynchronní elektromotor s max. výkonem 60 kW. Agregát s maximálním točivým momentem 215 Nm a otáčkami $12\,000\text{ min}^{-1}$ pohání pomocí jednostupňového planetového převodu s poměrem 8,76:1 přední nápravu. S uvedenými výkonovými parametry zrychluje vozidlo z 0 na 100 km/h za 16 s a dosahuje max. rychlosti 150 km/h. Uvedené hodnoty dokazují pokročilý stav ve vývoji techniky Zafiry HydroGen 3, která se svými parametry značně přibližuje požadavkům praxe.

Opel HydroGen3 (General Motors) existuje ve dvou verzích (stav v roce 2003) – **Compressed 700** (dvě kompozitové nádrže stlačeného vodíku s pracovním tlakem 700 barů a **Liquid** (jedna nádrž podchlazeného kapalného vodíku z nerezavějící oceli). nevýhodou uchování v kapalném stavu je extrémně nízká teplota – $253\text{ }^{\circ}\text{C}$, která vyžaduje účinnou izolaci nádrže. Přes všechna opatření se však po zastavení vozidla teplota v nádrži zvyšuje, vodík se odpařuje, musí se odvádět pojistným ventilem a v katalyzátoru se mění na vodu i bez spalování. Při delším parkování se tedy nádrž samovolně vyprázdňuje. Teprve při každodenním využívání vozidla (minimálně 25 km denně) se vodík neztrácí. Občasný řidič by se ztrátami až 25 % vodíku nebyl spokojen, a proto vznikla verze na stlačený vodík, který sice tuto nevýhodu eliminuje. Ale dovoluje menší dojezd 2790 proti 400 km. Vodík je stlačen na 700 barů, nádrž je zdvojená (hlavní a pomocná) a je vyrobena z kompozitových materiálů (uhlík/kevlar) pro sendvičovou vícevrstvou konstrukci (hliník/polyethylen). V obou verzích jsou nádrže uloženy pod zadním sedadlem. Pohonná jednotka je shodná s vozem GM Hy-wire a řidič má k dispozici dvoupedálové ovládání brzdy/plyn.

General Motors nyní uvažuje pouze o čistém vodíku, výrobu vodíku reformací metanolu nebo benzínu ve vozidle zavrhl, protože jednoplášťová konstrukce podzemních nádrží čerpacích stanic v USA nezaručuje vyloučení kontaminace okolí (v Evropě jsou nádrže dvouplášťové).

Největší výrobce vodíku na světě, americká společnost Air Products je přesvědčena, že vodík má reálnou šanci se prosadit jako palivo do motorů automobilů a dopravních strojů. Podle prognózy analytiků společnosti UBS Wartburg má být v roce 2010 jeden ze čtyř osobních automobilů a jeden ze tří autobusů prodaných ve Spojených státech poháněn vodíkem. Pro tyto účely se má vyrobit 20 miliónů tun nejlehčího chemického prvku ročně. Vláda USA v únoru 2003 vyhlásila program hledání nových paliv. Air Products již provozují například v Las Pegas komplex zařízení na výrobu vodíku, elektrárnu na palivové články a vodíkovou čerpací stanicí. Systém poskytuje vodík a míchané palivo vodík-zemní plyn pro automobily a autobusy.

Na krátké vzdálenosti mají v budoucnu dominovat hybridní pohony automobilů s využitím kapacity výkonných elektrobaterií, na delší vzdálenosti se mají prosadit vodíkové články a především vodíkový pohon. Kolem roku 2010 má General Motors vyrobit kolem miliónu vodíkových automobilů. V Japonsku počítají, že v roce 2020 tam bude jezdit na vodík 5 miliónů automobilů.

7 LITERATURA

- [1] VLK, F.: Automobilová technická příručka. Vlastním nákladem, Brno, 2003.
- [2] VLK, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Vlastním nákladem, Brno, 2004.