

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

Současný stav přechodu z klasických spalovacích motorů na jejich alternativy

Present state of combustion engine transfer to alternative powertrains

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ MARŠÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Maršálek

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:

Současný stav přechodu z klasických spalovacích motorů na jejich alternativy

v anglickém jazyce:

Present state of combustion engine transfer to alternative powertrains

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat práci pojednávající o současném stavu přechodu z klasických spalovacích motorů na jejich alternativy. Zhodnotit výhody a nevýhody klasických spalovacích motorů a alternativních pohonných jednotek.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Motivace
- 2) Historie
 - přehled dosavadních SM
 - dosavadní alternativy
- 3) Problémy a nevýhody běžných SM
- 4) Řešení
- 5) Zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] Heisler, H.: Advanced engine technology, SAE 2002
- [2] Hafner, K.E., Maass, H.: Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine, Springer-Verlag Wien-New York 1995
- [3] Stone, R.: Introduction to Internal Combustion Engines, PALGRAVE New York 1999.
- [4] Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, BOSCH, Stuttgart 2003, ISBN 3-528-07040-4
- [5] Kolektiv VÚNM a ČKD. Naftové motory čtyřdobé, 1. díl. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Druhé vydání, Praha, 1962. L123-B3-IV-41/2490

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 3.11.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

V této bakalářské práci je zmapován současný stav přechodu od klasických spalovacích motorů na jejich alternativy. Jsou zde uvedeny základní principy a uspořádání klasických spalovacích motorů a jejich dosavadních variant. Práce se rovněž zabývá druhy alternativních paliv, jejichž přehled a zhodnocení také obsahuje. V závěru práce je nastíněno, jakým směrem by se mohl automobilový průmysl v následujících letech ubírat.

Klíčová slova: Alternativní palivo, alternativní pohon, hybridní, spalovací motor

Annotation

The current state of change from conventional combustion engines to its alternatives is mapped in this bachelor's diploma thesis. The basic principles and configurations of conventional combustion engines and its existing alternatives are mentioned. The thesis is also dealing with various kinds of alternative fuels; their summary and evaluation are mentioned as well. In the conclusion of the thesis it is foreshadowed in what way the car industry could proceed in the subsequent years.

Key words: Alternative fuel, alternative drive, hybrid, combustion engine

Bibliografická citace této práce:

MARŠÁLEK, O. *Současný stav přechodu z klasických spalovacích motorů na jejich alternativy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 36 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Pavla Novotného, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 26. května 2009

.....
Ondřej MARŠÁLEK

Poděkování

Za cenné připomínky a rady při tvorbě bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Pavlovi NOVOTNÉMU, Ph.D. Rovněž bych zde rád poděkoval své rodině za neocenitelnou podporu při studiu na vysoké škole.

Obsah

1	Motivace.....	9
2	Historie	9
2.1	Přehled dosavadních spalovacích motorů	9
2.2	Dosavadní alternativy.....	16
2.2.1	Modifikované spalovací motory.....	16
2.2.2	Elektrická vozidla na baterii.....	17
2.2.3	Hybridní pohon.....	21
2.2.4	Elektrická vozidla s palivovými články	22
3	Problémy s běžnými spalovacími motory a jejich nevýhody.....	24
3.1	Vedlejší účinky spalovacích motorů na životní prostředí.....	24
3.2	Omezené zdroje energie	24
3.3	Budoucnost ropy	25
4	Řešení	25
4.1	Poznatky z předchozích kapitol	25
4.2	Jakými směry se ubírají přední světové automobilky	26
4.2.1	Osobní vozidla	26
5	Zhodnocení.....	34
5.1	Spalovací motor.....	34
5.2	Nejnovější norma	34
5.3	Směr, kterým se bude automobilový průmysl zřejmě ubírat.....	34
6	Seznam použitých zdrojů informací	35

1 Motivace

Pojem alternativní pohon má v poslední době stále větší význam a je více než jasné, že se jedná o velmi perspektivní obor automobilového průmyslu.

Svou práci jsem zaměřil na toto téma, protože bych se rád obohatil o nové poznatky z oblasti historie, současnosti a budoucnosti spalovacích motorů a jejich alternativ a částečně se tak i připravil na budoucí studium na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství, kde bych chtěl po dokončení prvního stupně studia pokračovat ve studiu na VUT.

2 Historie

2.1 Přehled dosavadních spalovacích motorů

Během vývoje byly vyvinuty různé typy pístových spalovacích motorů. S písty, které konají přímočarý vratný pohyb (zdvihové písty), ale i s rotačními písty.

V části, která bude následovat, se budu zabývat motory se zdvihovými písty a s normálním klikovým mechanismem.[20]

Většinou se pístové spalovací motory dělí podle těchto kritérií [20]:

- druh paliva
- způsob tvoření hořlavé směsi
- způsob výměny náplně válců
- způsob zapalování směsi
- průběh spalování
- konstrukční provedení a podobná hlediska
- účel a použití motoru

I. Druh paliva

Podle druhu paliva se dělí motory na dvě hlavní skupiny. Na plynové motory a motory na kapalná paliva, buď lehká, snadno odpařitelná (např. benzín), nebo těžší, nesnadno odpařitelná (např. motorová nafta).[20]

Nejběžnějšími motory na kapalná paliva jsou[20]:

- motory benzínové. Ty se používají převážně k pohonu silničních vozidel (jednostopých vozidel, osobních a lehčích nákladních automobilů a menších, popř. středních letadel). Benzín se využívá i k pohonu malých motorů pro různé hospodářské, sportovní a jiné účely.[20]
- motory vznětové, nejčastěji využívané k pohonu nákladních automobilů, traktorů, stavebních a zemědělských strojů i k pohonu osobních automobilů. Mohou to být také motory průmyslové, elektrárenské, lodní a železniční, obsahující celou škálu výkonu, tj. asi od 2 do 3500 kW. Také větší lodní motory jsou hnány levnějšími těžšími topnými oleji. [20]

II. Způsob tvoření hořlavé směsi

Hořlavá směs paliva se vzduchem se může tvořit před pracovním válcem (vnější tvoření) nebo až ve válci motoru (vnitřní tvoření).[20]

- Před pracovním válcem se tvoří směs u plynových motorů se zapalováním elektrickou jiskrou. U motorů na snadno odpařitelná paliva (benzín), se tvoří směs většinou v karburátorech, kde se palivo rozmlžuje a částečně odpařuje. Snadno odpařitelná paliva je možné také vstřikovat do sání - a to v jednom místě (jednobodový vstřík), nebo přímo před sacími (plnicími) ventily.[20]
- Ve válci motoru se tvoří směs především u motorů na nesnadno odpařitelná kapalná paliva (na naftu a topné oleje). To se děje vstřikováním paliva vysokým tlakem do pracovního válce, ve kterém se nachází stlačený a tedy vysoko ohřátý vzduch. Vstřikování je realizováno pomocí vstřikovače (trysky) a vstřikovacího čerpadla, kterým se reguluje množství vstřikovaného paliva a tím i výkon motoru.[20]

III. Způsob výměny náplně válců

Výměna náplně pracovních válců je realizována prakticky dvěma způsoby[20]:

- U čtyřdobých motorů se před koncem expanzního zdvihu otevrou výfukové ventily a těmi spaliny přetlakem odcházejí z válce. Jejich zbytek se vytlačí pístem při výfukovém zdvihu. Při nasávacím zdvihu se nasává do válce nová směs paliva se vzduchem nebo jen vzduch, který se při kompresním zdvihu pístu stlačí.[20]
- U dvoudobých motorů je výfuk spalin na konci expanzního zdvihu, po otevření výfukových kanálů nebo ventilů. Spaliny unikají v první fázi vlastním přetlakem a až po poklesu tlaku ve válci se otevrou plnicí kanály a zbytek spalin se vyplachuje nově nasávanou směsí nebo vzduchem.[20]

Mimo to je možné u čtyřdobých i dvoudobých motorů směs dodávat s atmosférickým nebo nižším tlakem (atmosférické plnění, přirozené nasávání) nebo válce plnit vyšším tlakem - přeplňování.[20]

IV. Způsob zapalování směsi

Zapalování směsi je dvojí [20]:

- umělé zažehnutí, zpravidla elektrickou jiskrou mezi elektrodami zapalovací svíčky. To je obvyklý způsob zapalování směsi paliva a vzduchu u benzinových a plynových motorů. Směs je stlačena pouze pod teplotu vlastního samovznícení.[20]
- samočinné vznícení vstřikovaného paliva kompresním teplem. To je nejčastěji u motorů, kde se náplň válce stlačuje na vysoký tlak, tedy u motorů naftových a motorů různopalivových (pro vznícení pomocného/zažehujícího kapalného paliva).[20]

U žárových motorů, kde pracujeme s nižším stupněm komprese, se směs vytvořená vstřikováním nafty nebo petroleje do válce, zapaluje od rozžhavené, nechlazené části stěny spalovacího prostoru. Před startováním studeného motoru je nutné tuto stěnu zahřívát - např. benzinovou lampou. Tyto motory se dnes již nevyrábějí.[20]

Dle normy ČSN 30 0025 se motory s umělým zapalováním připravené – hotové směsi nazývají zážehové motory a motory se zapalováním směsi kompresním teplem – vznětové motory.[20]

V. Průběh spalování

Ten je závislý na způsobu tvoření směsi, na způsobu jejího zápalu a na druhu plamene.

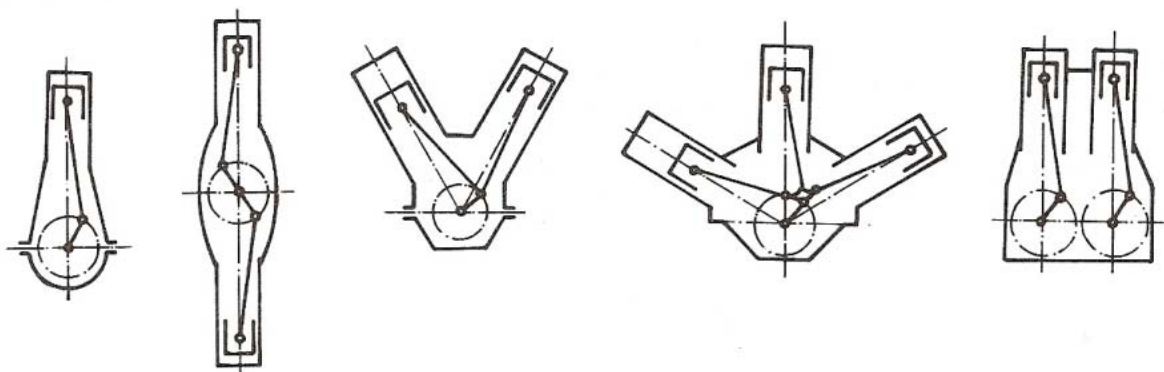
Podle použitého způsobu zapalování směsi a kompresního poměru se určují maximální spalovací tlaky a rychlost nárůstu tlaku při spalování.[20]

Při vyšších spalovacích tlacích a rychlém nárůstu tlaku je nutné navrhnout robustnější konstrukci motoru. Pokud zvolíme způsob spalování difuzním plamenem, problém s tvrdostí chodu nenastává (není pozorovatelná prodleva vznícení paliva). Problém spalovacích tlaků při vysokém kompresním poměru je zde ale větší než u dnešních zážehových motorů. [20]

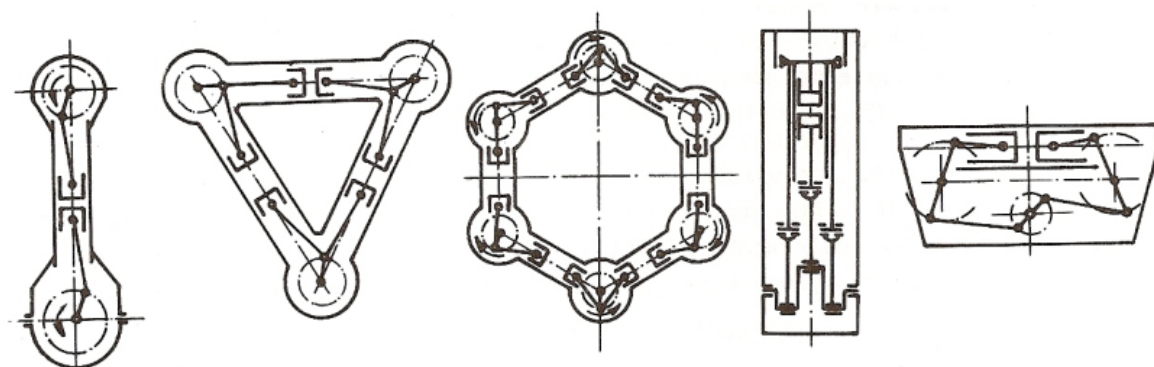
VI. Konstrukční provedení

Podle celkového konstrukčního provedení se pístové spalovací motory většinou dělí podle [20]:

- počtu zdvihů připadajících na jeden pracovní oběh - na čtyřdobé a dvoudobé
- počtu pístů v jednom pracovním válci na - jednopístové a dvoupístové

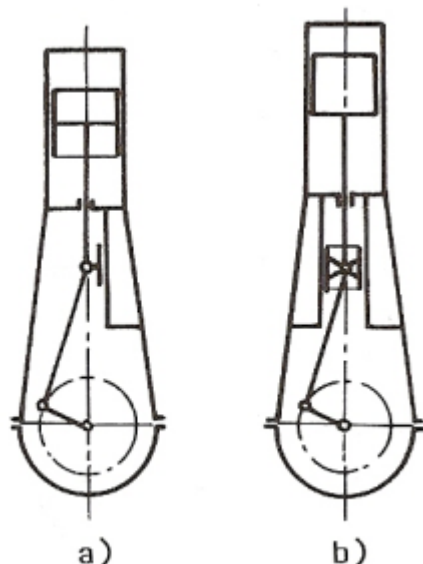


Obrázek 1:Schéma motoru s jedním pístem ve válci [20]



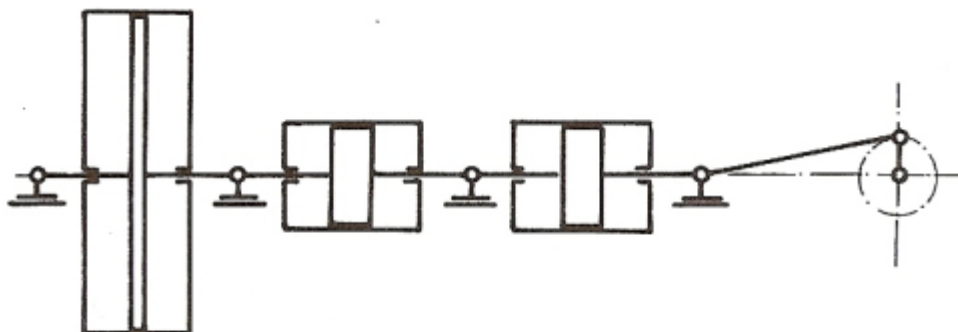
Obrázek 2:Schéma motoru s protiběžnými písty [20]

- počtu pracovních ploch jednoho pístu - na jednočinné a dvojčinné



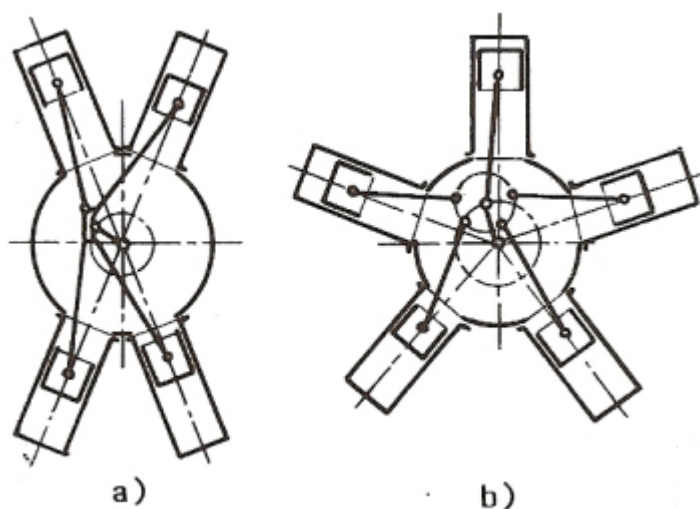
Obrázek 3: Schéma stojatých křížákových motorů [20]

- a) jednočinný motor s jednostranným křížákem
- b) dvojčinný motor s oboustranným křížákem



Obrázek 4: Schéma ležatého dvojčinného tandemového motoru [20]

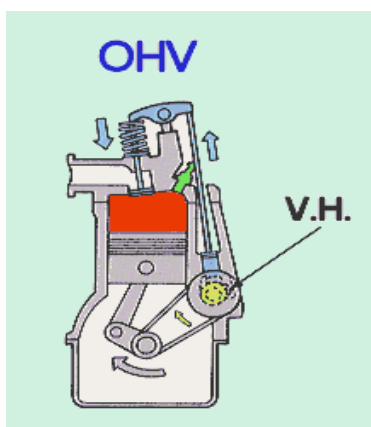
- pohybu pístu - na zdvihové a rotační
- způsobu chlazení - na chlazené kapalinou nebo vzduchem
- průměru pracovního válce - na malé ($D < 150$ mm), střední ($D = 150$ až 500 mm) a velké ($D > 500$ mm)
- počtu válců na[20]:
 - jednoválcové s jedním spalovacím prostorem bez ohledu na počet pístů
 - dvou a víceválcové, nejčastěji se třemi až dvanácti, popř. i šestnácti, osmnácti a dvaceti válci
 - mnohoválcové se 24, 32 až 42 a ojediněle i více válci



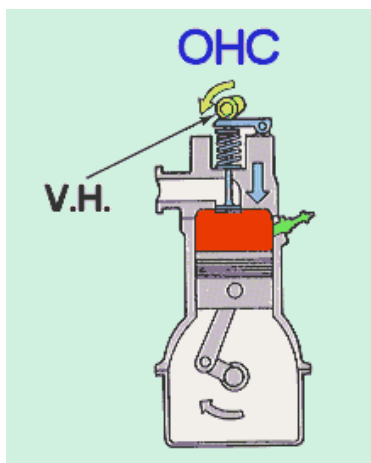
Obrázek 5: Schéma motoru s mnoha válci [20]

- a) křížový motor s válci do X, stojatý
b) hvězdicový motor s 5 řadami válců

- polohy a uspořádání válců
- druhu klikového mechanismu na křížákové a bez křížáků
- počtu a polohy klikového hřídele na jedno-, dvou- i vícehřídelové s hřídeli vodorovnými, svislými i šikmými
- podle smyslu otáčení klikového hřídele a možnosti jeho změny na pravotočivé a levotočivé, vratné a nevratné
- rychloběžnosti, vyjadřované zpravidla střední pístovou rychlostí c_s na:
 - volnoběžné s $c_s < 7.5 \text{ m/s}$ při $D < 160 \text{ mm}$
a $c_s < 6.5 \text{ m/s}$ při $D > 160 \text{ mm}$
 - rychloběžné s $c_s > 7.5 \text{ m/s}$ resp. $6,5 \text{ m/s}$
- způsobu plnění válců na nepřepřňované s přirozeným nasáváním, přeplňované např. turbodmychadlem
- podle konstrukce rozvodu pracovní látky na[20]:
 - ventilové: OHV, OHC, DOHC, SV



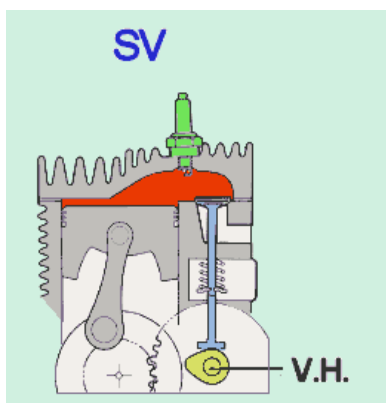
Obrázek 6: OHV (Over Head Valve) [22]



Obrázek 8:
OHC (Over Head Camshaft) [22]

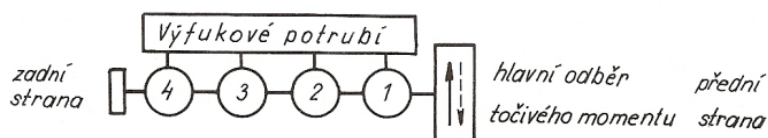


Obrázek 7: DOHC (double OHC)
se dvěma OHC pro jeden válec [21]



Obrázek 9: SV (Side Valve) se stojatými ventily umístěnými na jedné straně válce, ovládanými rozvodovým hřídelem uloženým v klikové skříni [22]

- šoupátkové - s různým provedením rozvodových šoupátek (dnes již nepoužívané) – čtyřdobé motory
- kanálové - s jedním, dvěma nebo třemi systémy kanálů, ovládaných jedním nebo dvěma písty (dvoudobé motory)
- se smíšeným rozvodem ventilovým (OHV) a kanálovým (dvoudobé motory)
- podle počtu ventilů v jedné hlavě na 2, 3 (obě možnosti), 4, 5, 6 ventilové
- podle strany výfukového potrubí - na pravé a levé. To má význam z hlediska obsluhy, která se umísťuje na opačnou stranu.



Obrázek 10: Motor řadový, 4-válcový, pravotočivý, pravý [20]

Tabulka 1: Uspořádání válců [20]

Motory	Značka	Počet válců	Pro účely
1 stojaté		1 až 12	pro různé účely
2 ležaté		1 až 2 (6)	průmyslové
3 šikmé		1 až 6	pro speciální účely
4 visuté		1 až 6	letadlové
5 stojaté s protilehlými válci		2 až 12	letadlové
6 ležaté s protilehlými válci		2 až 12	dráhové (letadlové)
7 vidlicové (s válci do V)		2 až 16(24)	pro různé účely
8 visuté vidlicové (válce do A)		2 až 12	letadlové
9 vějířové (s válci do W)		12 až 18(24)	letadlové a spec.
10 křížové (s válci do X)		12 až 32	pro zvl. účely
11 hvězdicové (s válci pa-prskovitě kolem osy hřídele)		3	malé letadlové
12 hvězdicové (5, 7, 9, 11)		5 až 18(42)	většinou letadlové
13 s rovnoběžnými řadami válců (dvouhřidelový s válci do U)		8 až 12(18)	lokomotivní
14 stojaté s válci do H		16 až 40	letadlové
15 ležaté s válci do H			
16 stojaté dvouhřidelové s protiběžnými písty		4 až 10(12)	letadlové a lokomotivní
17 ležaté dvouhřidelové s protiběžnými písty		4 až 6	pro různé účely
18 s válci do Y (tříhřidelové)			
19 trojúhelníkové (tříhřidelové s protiběžnými písty)		9 až 18	lodní a lokomotivní
20 čtyřúhelníkové (čtyřhřidelové s protiběžnými písty)		24	letadlové
21 šestiúhelníkové (šestihřidelové s protiběžnými písty)		30	pro různé účely

VII. Účel a použití motoru

Podle účelu a způsobu použití se motory třídí na[20]:

- průmyslové (pojmenování motorů k jinému účelu než pro dopravní prostředky)
 - stacionární (motor nepohyblivě uložený na pevném základě, stejně jako jím poháněný stroj)
 - mobilní (lehce přemístitelný průmyslový motor na přenosném rámu)[20]
- dopravní (motory pro pohon všech dopravních prostředků)
 - vozidlové
 - dráhové
 - lodní
 - letadlové
 - speciální (např. motory pro vojenské účely aj.)[20]

2.2 Dosavadní alternativy

2.2.1 Modifikované spalovací motory

a) Biogenní paliva

Biomasa, ze které je získáván bioplyn, je vlastně akumulovanou sluneční energií. Biologicky je bioplyn velmi rychle odbouratelný. Dalším jeho znakem je velký energetický potenciál, který několikrát převyšuje současnou spotřebu základní energie. Energetický potenciál biomasy je téměř desetinásobkem ročního objemu světové produkce ropy a plynu dohromady! Spalováním biomasy se neprodukuje žádný přídavný CO_2 . Během spalování se uvolní totiž jenom tolik plynu, kolik ho biomasa během růstu rostlin ze vzduchu spotřebovala. Biomasa může být získávána buď záměrně (výsledek výrobní činnosti), nebo jde o využití odpadů výroby (zemědělské, lesnické, potravinářské apod.).[1]

Biomasa záměrně pěstovaná: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina, olejniny.[1]

Odpadní: sláma, nezkrmitelné zbytky, odpady ze sadů, dřevařského průmyslu a lesní produkce.[1]

Bioplyn lze z biomasy získat několika způsoby a to[1]:

- termochemickým způsobem (zplynováním biomasy)
- biochemickým způsobem (methanolové kvašení, při němž je nutno vyloučit kyslík)

Zápalná teplota je (jako u zemního plynu) 650 až 750°C. Zvýšením podílu methanu na 90 %, se vyrovná kvalitě zemního plynu.[1]

b) Zemní plyn

Hlavní složkou zemního plynu je methan CH_4 . Dalšími složkami jsou např. propan, butan, vyšší uhlovodíky, sirovodík H_2S , CO_2 . Zemní plyn má vynikající odolnost vůči klepání (oktanové číslo 130), proto má většina zážehových motorů kompresní poměr až 13:1. Přesto má v motoru měkké spalování, z čehož plyne, že hlučnost motoru je většinou nižší. Může být také vyšší stupeň přepřívání, proto je měrný výkon přepřívovaných motorů větší. Zemní plyn bezesporu přispívá i k ekologické jízdě. Při „čistém“ spalování zemního plynu dochází k výraznému snižování ozónu, smogu a plynů vyvolávajících skleníkový efekt, ani nejsou produkovány pevné částice a síra.[1]

Zemní plyn má poměrně malý obsah uhlíku, z čehož plyne, že je tvorba CO_2 menší, než u srovnatelných fosilních paliv. Relativně malá je také produkce NO_x . Zemní plyn se tímto stává palivem, jehož spalováním je produkováno nejméně emisí. Zemní plyn je stlačován na 20 MPa umístován do speciálních vysokotlakých nádrží.[1]

Zemní plyn je lehčí než vzduch a v atmosféře se vypaří. Jeho zápalná teplota je téměř dvakrát vyšší než u benzínu.[1]

Další alternativou je zkapalněný zemní plyn – LNG. Skladuje se v Dewarově kryogenní, vakuově izolované nádobě s dvojitou stěnou při teplotě pod -160°C. Zkapalňování zemního plynu je poměrně nákladné a technicky náročné. Při zkapalňování se odstraní dusík, ethan a další zbytkové složky, takže konečným produktem zkapalňování je čistý methan (99 %). LNG je ve vozidle skladován v kapalném stavu. Tomu odpovídá také tvar a provedení tlakových nádrží ve vozidle (nádrže jsou tlakové, válcového tvaru).[1]

c) Vodíkový motor

Vodíkové spalovací motory byly testovány již od 20. let minulého století (vzducholodní motory, Ricardo a Maybach). Vodík hoří velmi rychle řetězovou rozvětvenou reakční kinetikou. Jeho plamen je vlivem vysoké výhřevnosti stabilní i při velmi chudé směsi s dobrou účinností. Tu lze využít pro omezení emisí oxidů dusíku.[25]

Nevýhodou spalování vodíku je malá objemová výhřevnost směsi. Ta je daná nízkou hustotou vodíku. Použití chudých směsí vyžaduje proto přeplňování a pokud možno vstřík vodíku do válce až během sání, nejlépe ke konci sacího zdvihu. Mohlo by se zdát, že ještě výhodnější je dodat palivo až během komprese, ale pokusy TU v Liberci dokázaly, že tato možnost způsobuje zvýšení emise oxidů dusíku, což je dáno nedostatečnou homogenitou směsi a jejím lokálním přehřátím.[25]

Z hlediska měrné spotřeby energie je zápalnost vodíkovzdušných směsí velmi dobrá. Vzniká zde však nebezpečí zapálení směsi spaliny z vnitřní recirkulace v motoru. To způsobuje zášlehy plamene do sacího traktu.[25]

2.2.2 Elektrická vozidla na baterii

Elektrická vozidla na baterii při svém provozu prakticky neprodukují žádné škodlivé emise, mají nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku. Nevýhodou je menší jízdní výkon, omezený dojezd, vyšší cena a možná snad větší nebezpečí při havárii.[1]

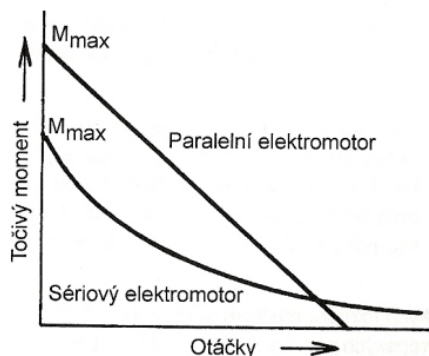
Elektrická vozidla se dělí na dvě skupiny a to pro silniční provoz a pro dopravu uvnitř podniků.[1]

a) Elektromotor

Důležitými výhodami je kompaktní stavba, vysoká účinnost při relativně malé hmotnosti, možnost krátkodobé přetížitelnosti, nízká hladina hluku, kterou motory při provozu disponují, nízké udržovací náklady a výhodná cena.[1]

•Stejnoseměrný motor s cizím buzením

Stejnoseměrný motor s cizím buzením má dobré tahové charakteristiky, jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu a plynulý přechod z jízdy na brzdění. Toto jsou důvody, proč jsou již dlouhou dobu používány u elektrických vozidel, kde mohou být napájeny přímo z baterie. Magnetický tok je buzen budícím vinutím ve statoru. Proud do vinutí, které je umístěno na rotoru, je přiveden přes kartáče a komutátor. Ten zajišťuje periodickou změnu proudu do cívky kotvy. Kotva tedy rotuje ve vnějším magnetickém poli. Točivý moment působí stále ve směru rotace. Podle toho, je-li kotva a budící vinutí zapojeno sériově nebo paralelně, rozeznáváme sériový, nebo paralelní elektromotor.[1]



Obrázek 11: Charakteristiky paralelního a sériového stejnosměrného elektromotoru [1]

Výhody stejnosměrných motorů[1]:

- technicky vyzrálé
- jednoduché a cenově výhodné řízení

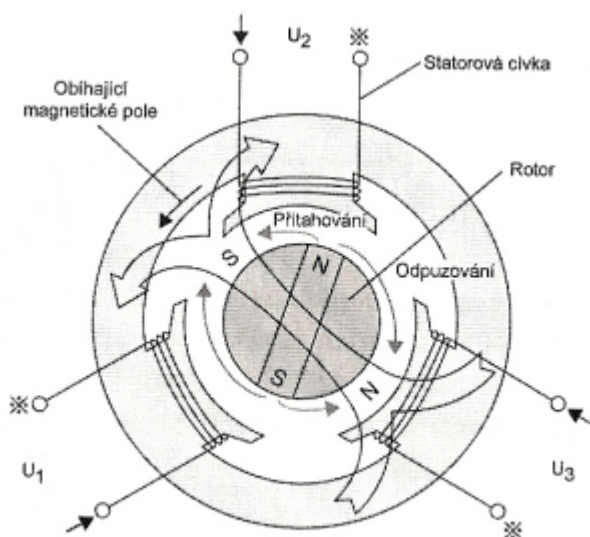
Nevýhody[1]:

- komutátor a kartáče jsou náchylné k poruchám a musí být udržovány
- maximální obvodová rychlost je omezena rotační frekvencí asi na $7\,000\text{ min}^{-1}$
- účinnost a hustota výkonu je menší než u střídavých motorů

• *Asynchronní motor*

Jeho podstatnou výhodou je to, že odpadá vinutí kotvy a kolektor. Magnetický tok je do statoru také přiváděn budícím vynutím, avšak prostřednictvím rotačního napětí, které má proměnnou amplitudu a frekvenci. Ta musí být odvozena ze stejnosměrného napětí trakční baterie.[1]

Stejný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý (cyklickým zapínáním tyristoru). Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu podstatně menší a lehčí. Motor je dále jednodušší konstrukce, robustní, bezúdržbový a silně přetížitelný, může dosáhnout až $20\,000\text{ otáček min}^{-1}$. [1]



Obrázek 12: Synchronní motor s permanentním buzením [1]

Tyto motory dělíme podle toho, zda se rotor otáčí asynchronně, nebo synchronně s točivým polem. Tedy na motory asynchronní, nebo synchronní.[1]

Zvláštní tvar střídavého asynchronního motoru je transversální motor.[1]

•*Transversální motor*

U něho je proud přiváděn v obvodovém směru do rotoru a magnetický tok statoru není kolmý k ose rotoru, ale paralelní.[1]

Střídavé motory mají následující výhody[1]:

- technicky dokonalé
- kompaktní a robustní stavba – bezúdržbová
- umožňují vysoké otáčky až $15\,000\text{ min}^{-1}$

Nevýhody[1]:

- nákladné řízení a tím o něco vyšší cena

•*Řízený reluktanční motor*

Tyto motory jsou založeny na technice reluktačních krokových motorů. Ty lze jednoduše a levně vyrobit, ale v minulosti byly málo využívány pro svoji nerovnoměrnost, tj. závislost točivého momentu na poloze rotoru. Dnes již může být tato nevýhoda vyrovnána odpovídajícím řízením.[1]

Reluktační motor se rozbíhá asynchronně a pak běží synchronně. Pojem reluktance odkazuje na magnetický odpor, který rotor v magnetickém poli představuje.[1]

Další výhody jsou[1]:

- vysoký točivý moment při nízkých otáčkách
- robustní konstrukce
- malé náklady na údržbu
- stabilní běh motoru při vypadnutí jedné, nebo více fází
- vysoká přetížitelnost a malý ohřev
- vysoká účinnost a výhodná cena

Nevýhody[1]:

- točivý moment není rovnoměrný
- mohou nastat zvýšené emise hluku

•*Stejnoseměrný motor bez kartáčů*

Tento motor, oproti běžnému permanentně buzenému stejnosměrnému motoru, má zaměněny pozice statoru a rotoru. Ve vnějším statoru (zde jsou jinak permanentní magnety) se nalézají vinutí a permanentní magnety jsou v rotoru. Stavba se tedy podobá permanentně buzenému synchronnímu motoru.[1]

Tandemový elektromotor s integrovaným planetovým převodem se skládá ze dvou stejných pohonných elektroagregátů s integrovaným planetovým převodem. Byl vyvinut pro použití pohonu sériového hybridu a bateriového elektrovozidla. Převodové číslo planetového převodu je 2,75. Motor má vnější průměr 300 mm, rozjezdový moment $2 \times 1250\text{ Nm}$ a jmenovitý výkon 100 kW. [1]

Tabulka 2: Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů (nejlepší = 10) [24]

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Rozsah P_{konst}	Přetížitel- nost	Spolehli- vost	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

b) Bateriové systémy a energetické zásobníky

Trakční baterie jsou stěžejním komponentem celého elektropohonu. Na trakční baterie pro vozidla jsou kladeny tyto požadavky[1]:

- možnost rychlého nabíjení (akumulátor), bezúdržbovost, životnost 5 až 10 let
- umožnění jízdního výkonu více než 50 000 km
- dosažení energetické hustoty alespoň 200 Wh/kg, hustota výkonu asi 100 W/kg
- cena baterie by neměla přesahovat 150 Euro/kWh

Používány jsou také olovo-gel baterie i plynotěsné baterie nikl-kadmium.[1]

•Olověný akumulátor

Katoda (záporná elektroda) se skládá u olověného akumulátoru v nabitém stavu z čistého olova, anoda (kladná elektroda) z kysličníku olova. Mezi oběma elektrodami je napětí asi 2 V. Elektrolytem je zředěná kyselina sírová. Když je akumulátor vybíjen, dyfundují ionty olova do elektrolytu a reagují tam na sulfát olova.[1]

V baterii olovo-gel je elektrolyt obsahující kyselinu sírovou jako gel. Tím klesá energetická hustota, ale baterie je plynotěsná a tím bezúdržbová.[1]

Jeden z posledních typů olověného akumulátoru je založen na principu technologie spirálových článků (3x větší životnost oproti klasickým akumulátorům).[1]

•Baterie nikl-kadmium

Baterie nikl-kadmium mají pro elektrovozidla velký význam. Jsou vyráběny jako malé, plynotěsné, uzavřené knoflíkové články. Jako velké baterie jsou dosud používány ve tvaru otevřených článků.[1]

•Baterie nikl-metalhydridová

Je podobná baterii nikl-kadmiové. Její anoda je na bázi sloučenin niklu, záporná elektroda je ze slitiny pohlcující vodík. Elektrolytem je zředěný roztok hydroxidu. Mezitím je separátor, naplněný basickým elektrolytem, většinou ředěným roztokem vápenného nebo lithiového hydroxidu.[1]

•Baterie lithium iontová

Katoda lithium-iontové baterie je složena z Li_2MnO_2 , nebo LiCoO_2 a nebo LiNiO_2 . Anoda je z uhlíkové matrice přepravené z grafitisovaných částí koksu. Elektrolyt je z vodivé soli (např. LiPF_6) a rozpouštědla.[1]

•Baterie vysokoteplotní

Vysokoteplotní baterie, také zvané vysokoenergetické baterie, musí pracovat při teplotě mezi 250 a 330 °C. Patří sem např. baterie sodík-síra a sodík-niklchlorid. Baterie sodík-niklchlorid je nazývána jako ZEBRA-baterie (Zero-Emission Barteri). U obou typů baterií katodu netvoří pevná deska, ale tekutý sodík. Anoda je z pevného niklchloridu nebo síry a je potopena do viskózní tekutiny, např. niklchloridových částic smíšených s roztavenou solí. Obě elektrody jsou odděleny izolační keramikou.[1]

Teplota baterie je regulována přídavnou elektrickou vložkou.[1]

Vysokoteplotní baterie mají oproti olověným bateriím tyto výhody[1]:

- mohou vytvořit 3x větší zásobu energie
- jsou bezúdržbové
- odpadní teplo je využito k jejímu ohřevu
- nevykazují žádné chemické samovybíjení

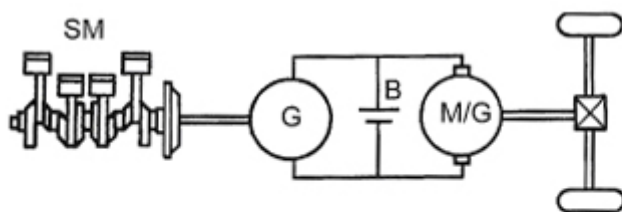
Nevýhody[1]:

- pracovní teplota musí být stále udržována
- životnost je relativně malá

2.2.3 Hybridní pohon

Možným řešením většiny problémů a nevýhod předchozích pohonů je hybridní pohon. Tak nazýváme pohon vozidla s více než jedním poháněcím zdrojem a příslušnými zásobníky energie. Výhodné a účelné řešení je v kombinaci vždy dvou různých systémů pohonu tak, aby převládaly výhody při rozdílných provozních stavech proti zvýšenému technickému nákladu hybridního pohonu. Nejvhodnější kombinací je spalovací motor a elektromotor. Elektromotor umožňuje městský provoz bez emisí a spalovací motor poskytuje mimo město dobrý jízdní výkon a velký dojezd.[1]

- Sériové uspořádání

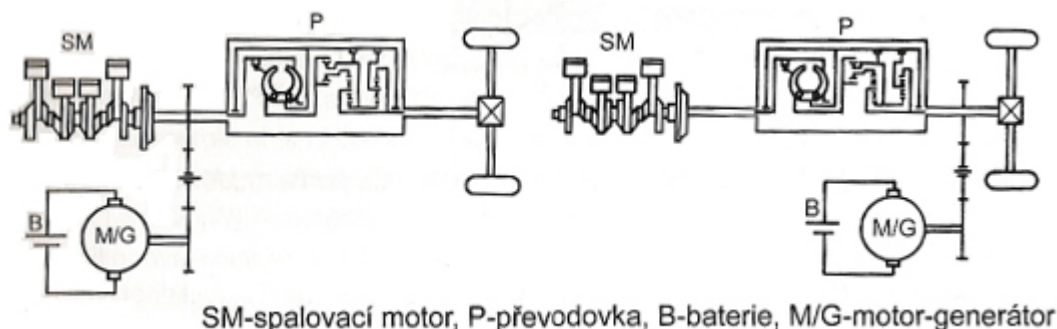


SM-spalovací motor, G-generátor, B-baterie, M/G-motor-generátor

Obrázek 13: Sériové uspořádání hybridního pohonu

- Zde není žádné mechanické spojení mezi spalovacím motorem a koly. Elektrický proud pro elektromotor je vyráběn generátory. [23]

- Paralelní uspořádání



Obrázek 14: Paralelní uspořádání hybridního pohonu

- Zde jsou spojeny elektrický i spalovací motor mechanicky s koly, takže výkon obou motorů se může počítat. Přídavné spojky a převodovka jsou nevýhodou ve srovnání se sériovým hybridním pohonem. [23]

2.2.4 Elektrická vozidla s palivovými články

Palivový článek je vhodný jako alternativa zásobníku energie elektrovozidla. Touto cestou jsme schopni vyrobit vozidlo s nulovými emisemi. Automobil na palivový článek není odkázán na fosilní paliva a má poměrně velkou účinnost.[1]

Palivovému článku je (oproti bateriím) stále přiváděn redukční prostředek-palivo a oxidační prostředek zvenčí. Článek sám zůstává nezměněn. To je pro vozidlo neocenitelná výhoda. Palivový článek dodává v podstatě neomezené množství energie, dokud je účastná chemická substance přiváděna zvenjšku. Účinnost zařízení s palivovým článkem je bezmála dvakrát větší oproti běžnému spalovacímu motoru.[1]

a) Stavba a funkční princip palivového článku

V palivovém článku dochází na základě elektrochemických procesů k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. V tomto směru se tedy podobají bateriím, ovšem, jak již bylo zmíněno, aktivní chemické látky jsou sem přiváděny zvenjšku. Obě elektrody se při činnosti článku téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení zůstává také nezměněno. Jestliže zajistíme trvalý přívod aktivních látek, palivový článek může pracovat prakticky neomezeně dlouho. Z toho plyne, že zde již nehovoříme o pojmu „kapacita článku“.[1]

Princip činnosti palivového článku je jednoduchý. Na zápornou elektrodu, které říkáme palivová (anoda), se přivádí aktivní látka (palivo). To zde oxiduje, jeho atomy se zbavují jednoho nebo několika elektronů z valenční sféry a uvolněné elektrony představující elektrický proud pohybující se vnějším obvodem ke kladné elektrodě (katodě). Na kladné elektrodě, kam se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce, atomy okysličovadla volné elektrony přijímají, za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem.[1]

b) Základní komponenty palivových článků

Základními členy každého palivového článku jsou dvě elektrody (záporná - anoda a kladná - katoda) a elektrolyt. Jejich struktura závisí většinou na použitém palivu, nebo na vlastnostech okysličovadla. Palivem mohou být plynné, kapalné i tuhé látky. Z plynů to může být např. vodík, z kapalin CH_3OH a z tuhých látek některé kovy (sodík, hořčík atd.).[1]

Jako okysličovadlo se nejčastěji používá kyslík z okolního vzduchu, ale mohou jím být také kapaliny a tuhé látky.[1]

Hlavním faktorem je velikost aktivního povrchu elektrody, protože palivo se k ní přivádí v rozpuštěném elektrolytu. Záporná elektroda je pak od kladné oddělena separátorem, který propouští pouze vybrané ionty.[1]

c) Nádrže na paliva

Pro provoz palivového článku ve vozidle může být vodík ve stavu čistém jako prvek, anebo ve vázané formě např. jako methanol. Za teploty okolí může být methanol naplněn a transportován v nádrži. Zásobování čistým vodíkem je složitější.[1]

•Tlaková nádrž

Nádrže lze plnit a transportovat při normální teplotě okolí. Pro tlakové nádoby, ventily a většinu dalších komponentů platí stejná pravidla jako pro skladování zemního plynu a technických plynů, např. propanu.[1]

Většina tlakových nádrží používaných před léty má tlustou stěnu z oceli nebo hliníku. Konstrukce je sice robustní a může snášet vysoké tlaky, ale je nepřiměřeně těžká. Modernější tlakové nádrže mají vnitřní vrstvu z kovu, většinou z hliníku. Ty jsou pomocí skleněných nebo uhlíkových vláken vyztuženy. Obal (oplašťování) pokrývá válcovou část. Koncová část zůstává nezesílena. Vhodnějším typem se stala nádrž, která má celý vnější plášť zakryt uhlíkovými vlákny.[1]

•Nádrž na tekutý vodík

Velikost těchto zásobníků je ovlivněna velmi silnou tepelnou izolací. Tlakové nádoby jsou vyráběny z kompozitních materiálů na bázi aramidových nebo uhlíkových vláken a syntetických pryskyřic. Mají třetinovou hmotnost oproti ocelovým, jednodušší konstrukci a také cena je nižší.[1]

Velký technický problém je v tom, že při dlouhodobém parkování se vodík stále odpařuje. To vyžaduje bezpečnostní opatření, která vedou ke značným ztrátám paliva.[1]

•Nádrž na metalhydrid

Vlastností některých kovů je, že mohou vytvořit hybridy, a proto mohou také pojmout velké množství vodíku. Vodík je do kovů absorbován při nízkých teplotách a jeho uvolňování je možné i za předpokladu, že kov, který jej uvolňuje, nezmění svou teplotu.[1]

Materiálem pro tyto zásobníky bývá hořčík anebo slitiny, které jsou tvořeny dvěma či více prvky z následujícího seznamu: železo, vanadium, chrom, magnesium, titan, kobalt, nikl, zirkon, lanthan a paladium.[1]

•Nádrž na methanol

Kvůli jedovatosti par CH_3OH není možný běžný způsob tankování. A ani nádrž na methanol nemůže být stejná, jako v případě nádrží na benzín, či naftu.[1]

•Porovnání druhů nádrží

Jestliže porovnáme vozidlo, které jezdí na vodík, a vozidlo, které používá jako zdroj energie například naftu, tak zjistíme, že vodíkový systém potřebuje, aby nádrž byla zhruba osmkrát těžší a sedmkrát větší v porovnání s nádrží na naftu.[1]

Vodík v tekutém skupenství má zhruba třikrát větší hustotu než vodík v plynném skupenství, který je ještě navíc stlačen na 35 MPa. Ale i tak jsou rozměry těchto nádrží příliš velké.[1]

Metalhydridy ukládáme do nádrží, které nepovažujeme za vysokotlaké. Z toho plynou také nízké nároky na jejich stavbu a polohu ve vozidle.[1]

Methanol má, v porovnání s benzínem, při stejném objemu zhruba poloviční energetický obsah. Musíme ale započítat také hmotnost a objem reformeru. Tím se dostávají hodnoty methanolové nádrže s reformerem na pozici horší oproti nádržím tlakovým.[1]

Ve vozidlech pracujících s palivovými články a čistým vodíkem, je vodík spotřebován skoro dokonale.[1]

U systému reformace (přeměna výchozí látky obsahující vodík na čistý vodík) je množství zužitkované energie závislé na součtu energie pro výrobu plynu a na druhu paliva. Nejvyšší účinnosti můžeme dosáhnout při použití ethanolu.[1]

3 Problémy s běžnými spalovacími motory a jejich nevýhody

3.1 Vedlejší účinky spalovacích motorů na životní prostředí

Výsledným produktem činnosti motoru není pouze mechanická práce, ale také mnoho vedlejších produktů. Mezi ně patří „odpadní plyny“, které změní po vykonání pracovního oběhu své chemické složení, jsou ohřáty nad teplotu okolí a odejdou do atmosféry.[20]

Při hodnocení vykonané práce je nutné vzít v úvahu díly všech vedlejších účinků, které vznikaly během výroby samotného stroje, všech jeho součástí, provozních kapalin atd. Dalším hlediskem je, že po uplynutí životnosti stroje je nutné jej ekologicky zlikvidovat.[20]

Není možné tyto vedlejší účinky opomíjet.

Dalším problémem je jistě to, že odpadní teplo, v kombinaci s plyny absorbujícími tepelné záření a omezujícími tak sálání z povrchu Země do vesmíru („skleníkové plyny“), má svůj díl na globálním oteplování. To má za následek tání ledovců a s tím spojené stoupání hladiny oceánů.[20]

Při spalování ovšem také vznikají plyny, které přímo škodí živým organismům, a sloučeniny, které jsou schopny vyvolat změny genetického kódu (mutaci). To má za následek i nádorové bujení.[20]

Další oblastí, kde negativně působí spaliny, je tvorba ozonu a tvorba fotochemického smogu. Mnoho účinků těchto plynů není doposud prokázáno, ale není možné čekat na výsledek celosvětového „experimentu“. Nezbytné je zmírnění spotřeby energie a snaha o co nejdokonalejší odstranění nežádoucích produktů v oblasti energetiky a dopravy.[20]

Spalovací motory nejsou největším znečišťovatelem životního prostředí, ale v lokálním měřítku ho zatěžují velmi značně (např. prostředí lidských sídlišť). [20]

3.2 Omezené zdroje energie

Energetické krize se nejvíce projevují v zemích s rozvinutým průmyslem a nedostatkem vlastních zásob fosilních paliv. Postupné vyčerpávání zásob fosilních paliv, především ropy, zemního plynu apod., způsobuje celkové zvyšování cen surovin.[1]

Škody vzniklé spalováním surovin chemických produktů nemůžeme také přehlížet, protože fosilní paliva jsou nejen zdrojem energie, ale i surovinami chemického průmyslu.[1]

Petrochemie a ropný průmysl vyrábí mnoho potřebných chemických výrobků (plasty, saponáty), dále agrochemikálie (dusíkatá hnojiva), které jsou založeny na uhlovodíkové surovině (ropě a zemním plynu).[1]

Nelze opomenout uran jako zdroj a nosič energie. Jeho zásoby jsou samozřejmě také omezené.[1]

Neméně zajímavé jsou zdroje „regenerativní energie“. Těmi jsou vítr, slunce, geotermie a biomasa. [1]

3.3 Budoucnost ropy

Ropa je v současnosti nejdůležitějším nosičem energie světového hospodářství.[26]

Mezinárodní agentura pro energii odhaduje úhrnný objem konvenčních zdrojů ropy kolem 3,5 bilionu barelů. Z toho již bylo vytěženo 1,1 bilionu barelů a zatím neobjeveno 1,2 bilionu. Další až dva biliony barelů ropy jsou uloženy v nekonvenčních zdrojích.[26]

4 Řešení

4.1 Poznatky z předchozích kapitol

- Řadu pohonných paliv lze získat z obnovitelných surovin (biomasy) i z fosilních surovin.[1]
Silniční vozidla mohou být biogenními palivy poháněna, je však nutné motor pro tento účel upravit, anebo mít motor určen pro použití tohoto paliva již výrobcem.[1]
- Přestavba motoru vozidla na bivalentní pohon se pohybuje v částkách od 4000 do 5000 Euro, podle typu vozidla. Při najetí asi 20 000 km/rok je úspora přibližně 750 Euro, takže náklady na rekonstrukci motoru budou amortizovány přibližně za šest let. Nejnákladnějšími částmi systému jsou speciální palivové nádrže a regulátory tlaku.[1]
- Biopaliva lze použít již s drobnými změnami modifikovaných motorů. Bionafta je vyráběna esterizací řepkového oleje. Všechny vedlejší produkty mohou být dále zpracovány. Motory provozované na biopaliva produkují méně škodlivých emisí než konvenční naftové motory. Díky uzavřenému uhlíkovému řetězci nevznikají žádné přídavné uhličitě oxidy.[1]
- Stejně tak jen s nepatrnými změnami modifikovaných zážehových motorů může být použit zemní plyn jako palivo. Ten je jako plyn pod tlakem nebo hluboko chlazený jako kapalina ve vozidle. Nutné jsou pak přídavné komponenty jako regulace tlaku a další.[1]
- Použití vozidel na zemní plyn má smysl pro vozový park s vlastní čerpací stanicí. Zemní plyn je podstatně levnější než benzín. Škodlivé emise plynových motorů jsou mnohonásobně nižší než u běžných zážehových motorů.[1]
- Vznětové a zážehové motory najdou ještě uplatnění mnoho let, proto je třeba tyto systémy dále rozvíjet.[1]
- Modifikované zážehové motory mohou být poháněny vodíkem. Lehce vznětlivá směs má však stále snahu nezapalovat se ve správném okamžiku. Problematické je ale také mazání pístu.[1]

Hospodárnost vodíkových motorů v současnosti není výhodná. Velké energetické náklady a velké množství škodlivých emisí při provozu vodíkového motoru má za následek, že vodíkový motor nemá žádné ekologické výhody.[1]

- Elektrický pohon má jistě svůj smysl v rámci městských provozů. Rozměry městských aglomerací jsou málokdy větší než 50 km. Proto má vývoj vozidel na baterie své opodstatnění. Je ovšem zapotřebí plošné pokrytí infrastruktury nabíjení baterií a možnost dobíjení baterií při brzdění.[1]

Protože motor má vysoký rozběhový moment a dále v širokém rozsahu otáček konstantní výkon, nepotřebují bateriová vozidla žádné vícestupňové převodovky, ale pouze jeden pevný převod.[1]

Důležité parametry těchto vozidel jsou: délka dojezdu, možnosti zrychlení a nejvyšší rychlost. Při velkých stoupáních jsou tato vozidla také omezena výkonem. [1]

4.2 Jakými směry se ubírají přední světové automobilky

Téměř všichni velcí automobiloví výrobci světa testují technologie alternativních pohonů automobilů. Cílem je ukázat realizovatelnost technologie palivových článků a získání zkušeností. V této kapitole se budu snažit popsat některé příklady jednotlivých výrobců.[1]

4.2.1 Osobní vozidla

Na počátku vývoje alternativních pohonů byly automobily, jejichž zdrojem energie byla baterie. Následovaly hybridní pohony a pohony elektromotorem se zdrojem proudu z palivového článku, který je napájen čistým vodíkem, nebo methanolem.[1]

a) Honda

Předchůdci Hondy FCX byly hybridní pohony[1]:

- Honda Insight
- IMA (Integrated Motor Assist).
- Civic – zážehový čtyřválec 1329 cm³, 85 kW a elektromotor 10kW

Honda FCX bylo komerčně vyráběné vozidlo na palivové články. Bylo zavedeno v roce 2002 a to jako první vozidlo světa na tento pohon. Automobil využívá vodík z nádrže a kyslík ze vzduchu pro výrobu proudu. Ten pohání elektromotor. Je zde použit ultrakondenzátor, který využívá brzdící energii pro zrychlování vozidla. [1]

- Honda FCX Clarity

Dalším vozem od automobilky Honda je vůz Honda FCX Clarity. Nelze jej koupit, pouze pronajmout, a to od listopadu 2008. Této možnosti využívají vládní úřady a velké korporace. Jako palivo zde slouží palivové články Honda Flow, které dodávají výkon až 100 kW. Startovat lze vůz až při -30°C. Palivové články jsou umístěny ve středovém tunelu. Výrobce udává dojezd až 620 km. Ve výbavě vozidla jsou vyhřívaná sedadla vpředu i vzadu. Maximální rychlost je stanovena na 160 km/h a energie je skladována v li-ion bateriích. [2]



Obrázek 15: Honda FCX Clarity [2]

b) Toyota

Toyota se celosvětově proslavila tím, že jako první uvedla na trh sériově vyráběný hybridní systém (THS). Ten se vyznačuje velmi nízkou spotřebou paliva, výfukovými emisemi a nadále svou recyklační schopností.[1]

- Typ THS a Prius má 1,5l benzinový motor a elektromotor s bateriemi Ni-MH.[1]
- Typ THS-C má dva elektromotory k pohonu obou náprav a benzinový motor o obsahu 24 l. Systém funguje tak, že řídí elektromotor zadní nápravy a koordinuje rozdělení proudu na čtyři kola, a tak optimalizuje výkon vozidla podle jízdní situace. Přední náprava je poháněna pouze při akceleraci. Zlepšení jízdních vlastností bylo dosaženo použitím nezávislých hydraulických řízení pro každé kolo a elektronicky řízeným brzdícím systémem.[1]
- Typ Estima má spotřebu 5,6 l benzínu na 100 km a emisní hodnoty uhlovodíků a oxidu dusíku jsou zhruba 75% pod současnou předepsanou hodnotou.[1]
- Typ THS-M je jednoduchý hybridní systém, jenž může najít uplatnění u mnoha typů vozidel. Při volnoběžném režimu vykazuje nulové emise. Je složen ze čtyř hlavních komponentů. Motorového generátoru, benzinového motoru, baterie a řídicí jednotky. Když vozidlo s THS – M systémem zastaví, zařadí pracovní systém stav „ Volnoběžný stop“, takže je benzinový motor automaticky zastaven. Když se vozidlo uvede zpět do chodu, dodá elektromotor nejprve potřebný pohon a zajistí také nový start benzinového motoru. Elektromotor pracuje při brzdění jako generátor a přeměněnou brzdňou energii dodává zpět do baterie. [1]

- Typ MR2

Toyota MR2 má upravený hybridní pohon Hybrid Synergy Drive. To by mělo zajistit vysoký výkon i nízkou spotřebu (4 l/100 km). [3]



Obrázek 16: Toyota MR2 [3]

c) Daimler Chraiser

Mercedes-Benz v roce 2010 začne prodávat model S 400 BlueHybrid. Ten má kombinovanou spotřebu 7,9 l/100 km. Hybridní verze by tak měla být nejúspornějším autem ve své třídě. Tento vůz je založen na benzinovém šestiválci S 350.[4]

- Mercedes-Benz S 400 BlueHybrid

Motorem bude vidlicový šestiválec o objemu 3,5 litru z modelu S 350. Nejvyšší výkon pro hybridní verzi je zhruba 205 kW, k čemuž musíme ještě přičíst výkon 15 kW, který dodá elektromotor. Celkový výkon automobilu je tedy 220 kW. Maximální točivý moment je 385 Nm. Automobil používá pro přenos výkonu na zadní kola automatickou převodovku se sedmi převodovými stupni.[4]

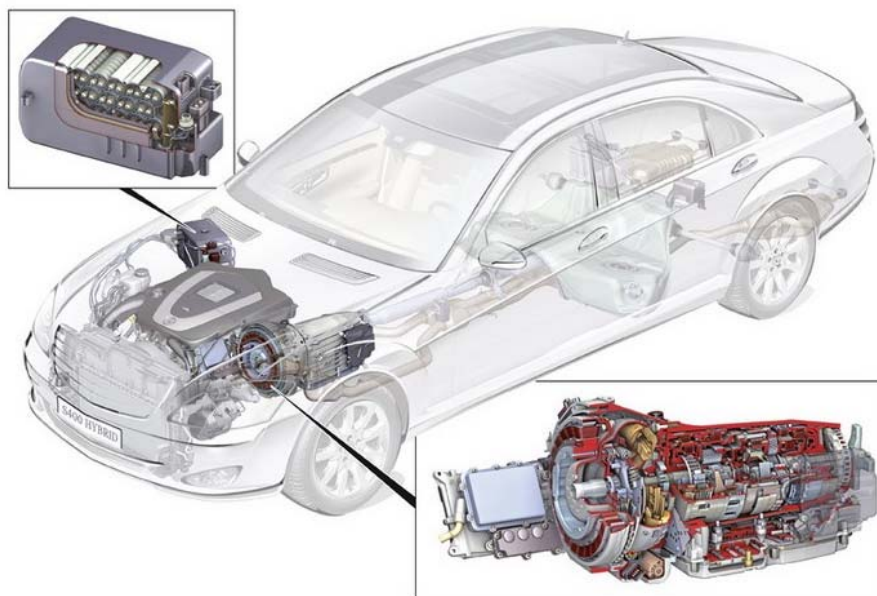
Elektromotor slouží jako startér i jako generátor energie při brzdění. Může být také použit jako přídavný zdroj energie pro dynamickou jízdu. Benzinový motor je vybaven funkcí stop start. Na spotřebu nejnáročnější fáze provozu spalovacího motoru (rozjezd), je tedy záležitostí pouze elektromotoru [4].

Pro uložení elektrické energie slouží lithiové baterie. Ty jsou výhodnější i z hlediska velikosti. Např. oproti NiMH bateriím vůbec nezasáhnou do kapacity úložného prostoru. Tyto baterie jsou také napojeny na 12V okruh elektroinstalace, takže mohou být využity pro napájení různých elektrických prvků v interiéru.[4]

Úpravy spalovacího motoru byly také výrazné. Např. ovládání ventilů je založeno na principu, kdy expanze trvá déle než komprese, což bylo možné dosáhnout delším otevřením sacího ventilu při přechodu ze sání do komprese. Tak bylo dosaženo lepší tepelné účinnosti a tím nižší spotřeby paliva a snížení emisí. Beze změny nezůstala ani hlava, písty a vačky. Spolu se snížením spotřeby se zvedl výkon a to o 5 kW.[4]

Vozidlo zrychlí z 0 na 100 km/h za 7.2 s. Maximální rychlost se pohybuje na hranici 250 km/h. Oproti předchozímu modelu (S 350) je kombinovaná spotřeba o 2,2l/100 km nižší a emise CO₂ klesly o 21%. Rozdíl vah obou modelů je pouhých 75 kg.[4]

Již v červnu 2009 bude v západní Evropě zahájen prodej tohoto vozidla. [4]



Obrázek 17: Mercedes-Benz S 400 BlueHybrid [5]

d) BMW

Z historie BMW [1]:

- 1972 Mnichovská olympiáda – BMW prezentuje první elektrovozidlo
- Mnichov – první veřejná čerpací stanice vodíku
- 2001 IAA Frankfurt – představena studie BMW 745 h a MINI Cooper poháněné vodíkem

Vozidla BMW:

- BMW 745 h má osmiválcový motor o obsahu 4,4 l. Palivem je zde vodík i benzín. Pro každý druh paliva má samostatnou nádrž i s rozvodem. S vodíkem dosahuje výkonu 135 kW a maximální rychlosti 215 km/h. Válcová vodíková nádrž je umístěna v zavazadlovém prostoru a umožňuje dojezd 300km, k tomu se přičte 650km dojezdu na benzínový provoz, takže celkový dojezd je 1000 km. Na vodíkové nádrži je prezentována elektricky ovládaná plnicí klapka. Ta ještě zlepšuje komfort tankování.[1]
- BMW 750 hl je poháněno opět vodíkem i benzinem. Je to 12 válec obsahu 5,379 l. Výkon se pohybuje okolo 150 kW. Nejvyšší rychlost je 226km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h je 9,6 s. Průměrná spotřeba vodíku je asi 2,8 kg/100 km. [1]
- BMW Hydrogen 7

Tekutý vodík je zde umístěn v nádrži. Ta je tvořena ze dvou dvoumilimetrových stěn z nerezové oceli. Ty jsou odděleny 30mm silnou stěnou vakua. Při jejím testování byla například nádrž naplněna vroucí kávou. Trvalo přes 80 dní, než káva vystydlá na takovou teplotu, že se dala pít. Vývoj tohoto vozu byl dokončen již v roce 2006. Je zde použit spalovací šestilitrový dvanáctiválcový motor. Jeho výkon se pohybuje okolo 191 kW. Maximální točivý moment je 390 Nm a zrychlení z 0 na 100 km/h výrobce udává 9,5 s. Elektronický omezovač rychlosti zastaví nárůst rychlosti při 230 km/h.[6]

Vlivem velké rychlosti spalování vodíku vzrostly i požadavky na přesnost činnosti ventilů. BMW disponuje systémem VALVETRONIC a double-VANOS, která však dovede celý systém bezchybně řídit.[6]

Přepínání mezi chodem motoru na vodík a benzín je velmi jednoduše vyřešeno pomocí tlačítka na volantu.[6]

Start tohoto vozidla je vždy na vodík. Druh paliva nemá žádný vliv na jízdní vlastnosti vozidla a ty tím pádem zůstanou při obou druzích paliva stejné.[6]

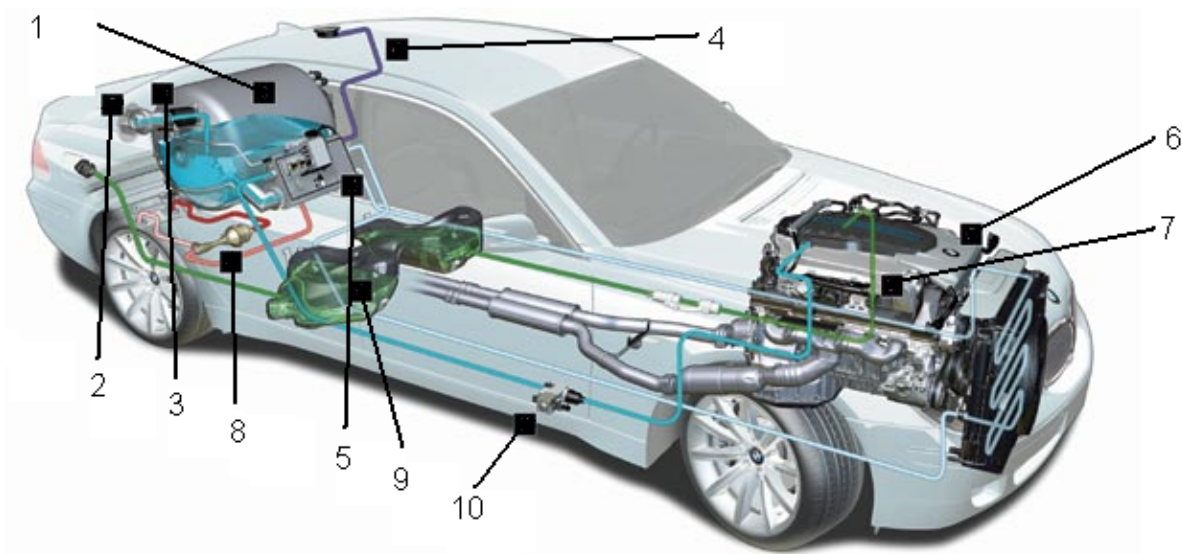
Také tankování vodíku je jednoduché.

Řidič ovladačem v kabině otevře vodíkovou nádrž, do té zastrčí pistoli vodíkové trysky a všechno ostatní již probíhá automaticky. Doba naplnění nádrže je přibližně osm minut.[6]

- Strategie firmy BMW:

BMW patří ke společenství Berlin Clear Energy Partnership (CEP), které je podporováno německou vládou. Automobilka BMW se snaží docílit sjednocení automobilových výrobců a dodavatelů paliv za účelem rozšíření alternativních zdrojů pro automobilový průmysl. Dvoupalivový motor napomáhá tomu, aby se mohla začít budovat hustší infrastruktura těchto paliv. Kromě spalovacího vodíkového motoru automobilka pokračuje ve výzkumných pracích, zaměřených na palivový článek. V něm vidí BMW budoucnost automobilového průmyslu.[6]

Automobilka BMW také zahájila spolupráci s americkou agenturou pro vesmírný výzkum NASA. Výsledkem této spolupráce by měla být nová úsporná technologie. První takto získané prototypy by měly být hotovy během pěti let. [7]



Obrázek 18: BMW Hydrogen 7

- má dvě nádrže, jednu pro benzín a druhou pro tekutý vodík

1-vodíková nádrž, 2-kryt vodíkové nádrže, 3-spojka nádrže, 4-bezpečnostní přetlakové zařízení, 5-pouzdro vedlejšího systému, 6-spalovací motor, 7-odsávací zařízení, 8-systém řídicí vypařování vodíku, 9-benzínová nádrž, 10-zpětný tlakový ventil [8]

e) Ford

- Ford Focus FCV

Ford Focus FCV (Fuel Cell Vehicle) je poháněný palivovými články. Prvním automobilem na palivové články byl model P2000 HF.

Energie je zde získávána přímo z vodíku. Ten je stlačen na 250 barů a je umístěn přímo ve vozidle. Kyslík je získáván ze vzduchu. Účinnost přeměny chemické energie v elektrickou je zde přes 90%.[9]

Výkon elektromotoru je 67 kW a točivý moment je 190 Nm. Zrychlení vozidla z 0 na 100 km/h je 14 s a maximální rychlost se pohybuje okolo 128 km/h.[9]

Jediným vedlejším produktem při spalování je vodní pára. Toto vozidlo tedy vykazuje nulové emise. Vodík lze získat z regenerativních zdrojů, a proto je považován za ideální alternativní palivo. [9]



Obrázek 19: Ford Focus FCV [10]

f) Volkswagen

- **VW Golf Twin drive**

Golf Twin drive pracuje na základě tzv. plug-in hybridu. Ten může za určitých okolností jezdit pouze na elektřinu.[11]

Bez spalovacího motoru může tedy elektromotor pohánět automobil zhruba na vzdálenost 50 km. Jeho výkon je udáván 60 kW a maximální rychlost 120 km/h. Z čehož plyne, že mnohdy nebude vůbec potřeba spalovací motor používat. Tím mám na mysli například každodenní jízdu do práce či po městě. Baterie se dají následně dobít z elektrické sítě.

Spalovací motor je dvoulitrový turbodiesel s výkonem 90 kW.

Společný výkon obou motorů je 128 kW.

Motor je vybaven funkcí start-stop a baterie lze dobít i při brzdění automobilu.[11]

V roce 2010 by chtěl mít výrobce hotovou experimentální sérii 20 vozidel Golf Twin drive. Ta dostane k dispozici německá vláda. [11]



Obrázek 20: VW Golf Twin drive [12]

g) Mazda

Historie Mazdy ve vývoji palivového článku a jeho využití

- 1991 základní studie použití palivového článku
- 1992 vyvinut první prototyp palivového článku pro malý automobil
- 1997 dokončen vývoj nového článku a vyvinuto vozidlo FC – EV,
- 1998 podílí se na spolupráci s firmami Ford, DaimlerChrysler a Ballard,
- 1999 vyvinuta druhá generace vozu Demio – EVENT. Objem svazku palivových článků byl redukován o 20% oproti první generaci.[1]

- **Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid**

Jako pohon slouží hybridní ústrojí. Jedná se o Wankelův motor, jenž může střídavě pracovat také na vodík.

Úplně nové je zde však propojení tohoto motoru s poháněnou přední nápravou. Novinkou je také kombinace motoru s elektromotorem. [13]

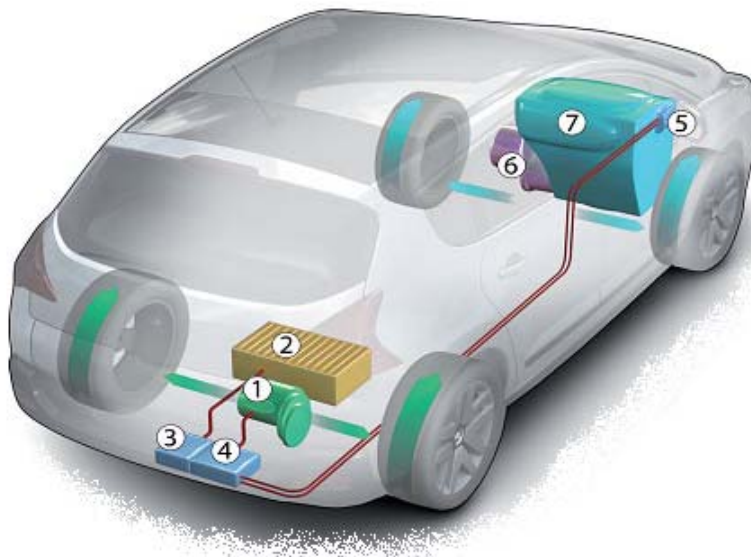


Obrázek 21: Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid [14]

h) Peugeot

- Peugeot HYmotion4

Jedná se o čtyřdveřové sportovní kupé, ve kterém je osazen 1,6l benzinový motor. Jeho výkon je 216 koní. Tímto motorem je poháněna přední náprava. Zadní nápravu pohání elektromotor o výkonu 70 kW. Společný výkon obou pohonů je 313 koní a poskytuje zrychlení z 0 na 100 km/hod za 4,4s. Při kombinaci obou pohonů je udávána spotřeba 4,5 l/100 km. Automobil může fungovat buď čistě na elektřinu, na benzín, anebo v kombinaci obou pohonů společně. Elektromotor funguje při brzdění jako generátor a ukládá energii do lithium-iontových baterií. [15]



Obrázek 22: Peugeot HYmotion4

1-elektropohon zadních kol, 2-vysokonapětové baterie, 3-výkonová řídicí jednotka, 4-výkonová elektronika, 5-vysokonapětový spínač, 6-elektronicky řízená šestirychlostní manuální převodovka, 7-2 litrový HDI FAP motorový pohon předních kol [16]

i) Opel a General Motor

- Opel Hydrogen 3

Tento automobil obsahuje jako základní stavební prvek vysoce výkonnou baterii. U předchozího modelu sloužila baterie i k pokrytí výkonových špiček. U modelu Hydrogen 3 je již systém palivových článků tak modernizován, že energie baterie již není potřeba. V rámci tohoto pokroku byla snížena hmotnost vozu skoro o 100 kg.

Nádrž na palivo má dvojitou stěnu. Prostor mezi stěnami je vakuován a z vnější strany nádrže je tenká hliníková fólie, která má chránit nádrž proti tepelnému záření. Nádrž je umístěna před zadní nápravou, pod zadním sedadlem. Tím bylo způsobeno, že sedadlo muselo být zvýšeno. Celý systém včetně nádrže, ventilů, držáků a výměníku tepla váží zhruba 90 kg.[1]



Obrázek 23: Opel Hydrogen 3 [17]

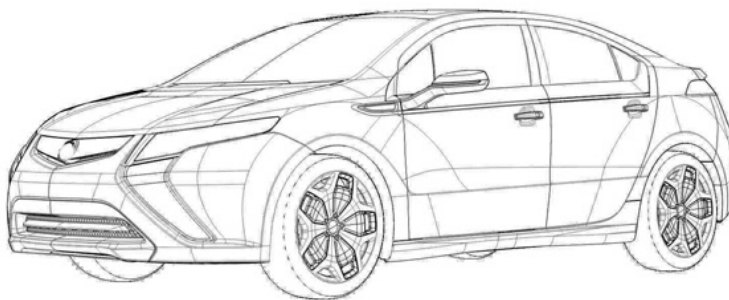
- Opel Ampera

Jedná se o automobil, který spadá do kategorie E-REV (Extended-Range Electric Vehicle).[18]

Automobil jezdí výhradně na elektřinu. Spalovací motor je v automobilu pouze jako přídatný zdroj energie. Automobilka uvádí, že tento automobil je schopen v ideálním případě jet se spotřebou 1,6 l benzínu na 100 km.[18]

Elektromotor má výkon 150 koní, maximální točivý moment 370 Nm. Baterie jsou zde lithium-iontové. Malý spalovací motor o obsahu 1,4 l a výkonu 100 koní pouze dobíjí baterie. Ty se dají také dobíjet z běžné 230 V sítě. Pokud automobil jede pouze na elektřinu, činí jeho dojezd asi 60 km. Pokud je do jízdy zapojen také spalovací motor, je zajištěn dojezd až 500 km. Maximální rychlost vozidla je 161 km/hod a zrychlení z 0 na 100 km/h je udáváno 9 s.[18]

Prodej tohoto modelu je plánován až na rok 2011. [18]



Obrázek 24: Opel Ampera [19]

5 Zhodnocení

5.1 Spalovací motor

Spalovací motory v budoucnu nebudou splňovat požadavky předpisů ohledně emisí a v uzavřených městských částech je tomu tak již dnes.[1]

5.2 Nejnovější norma

- EURO 5

Evropské emisní standardy jsou souborem nařízení a požadavků, které stanovují limity výfukových plynů všech automobilů vyráběných v členských zemích EU.

Cílem těchto standardů je postupné snižování obsahu oxidů dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a pevných částic (PM) v emisích.

Oxid uhličitý (CO₂) jako takový není součástí tohoto balíčku směrnic, ale příslušný legislativní návrh na tato omezení byl také schválen.[27]

Nová **emisní norma EURO 5 zasahuje více do oblasti vznětových motorů**. Snahou této normy je docílit srovnání, stran zplodin, těchto motorů s motory benzínovými. Je nutné si však uvědomit, že na naftu jezdí vozidla veřejné dopravy, nákladní automobily a třeba také vozidla záchranných služeb. Euro 5 snižuje, oproti současným normám, emisní limit o pětinu.

Mnoho benzínových motorů současně produkce tuto novou normu splňuje, a tak se bude jednat jen o 25% snížení limitů na HC a NO_x, emise CO zůstávají nezměněny. Novinkou je povinnost osazovat benzínové motory s přímým vstřikem filtry na olovnaté částice.[27]

Výjimkou jsou veřejně prospěšná vozidla, která mají na přechod na nové standardy o tři roky prodlouženou lhůtu. Přechod od Euro 4 k Euro 5 bude finančně podpořen z evropských fondů. Norma Euro 5 měla původně platit již od roku 2008, ale pod nátlakem automobilových výrobců byl termín o rok posunut. Tyto normy budou však muset zatím plnit pouze nová vozidla a starších modelů se tato omezení dotknou až v roce 2011. [27]

5.3 Směr, kterým se bude automobilový průmysl zřejmě ubírat

Nelze s jistotou předpovědět, jaký směr nabere automobilový průmysl v dalších letech, avšak na základě zájmu největších automobilových koncernů lze tento směr alespoň částečně odhadovat. V současnosti je nejpravděpodobnější, že v budoucnu ovládnou trh s automobily elektromobily s vnějším dobíjením akumulátorů ze sítě.

Mnohé automobilky plánovaly, že již v roce 2010 zahájí sériovou výrobu vozů na palivové články a ty se měly do roku 2020 stát běžnou součástí našeho života. Dnes již však víme, že tomu tak nebude a v co nejrychlejší proměnu pouhých plánů v realitu můžeme jenom doufat.[28]

Prosazení výše zmíněných elektromobilů by bylo zřejmě mnohem snazší než prosazení vozidel na vodíkové palivové články. Pravdou je, že elektromobil neprodukuje přímé emise, avšak elektrickou energii umíme vyrábět z obnovitelných zdrojů jen omezeně a ani tuto výrobu nelze označit za přímo „zelenou“.[28]

Nárůst spotřeby energie, která by byla způsobena dobíjením elektromobilů, by byl jistě také značný, ale žádný ze zdrojů o ní nemluví. Pravdou však je, že vyrobit velké množství elektromobilů je snazší, než postavit desítky nových elektráren, které by musely pokrýt zvýšenou poptávku po tomto druhu energie. Technologie výroby elektromobilů ale také není ještě zdaleka zcela dořešena. A tak nám asi nezůstane nic jiného, než se nechat překvapit až vývojem let. [28]

6 Seznam použitých zdrojů informací

- [1] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů*. 1. vyd. Praha : BEN-technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.
- [2] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 15.7.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/novinky/honda-ohlasuje-vodikovy-model-fcx-clarity-v-japonsku>>.
- [3] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 25.3.2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/tagy/hybrid-synergy-drive>>.
- [4] VAVERKA, Lukáš. *Auto.cz* [online]. 2008 , 18.9.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://news.auto.cz/nove-modely/mercedes-benz-400-s-bluchybrid-nejvetsi-mercedes-uz-pristi-rok-se-spotrebou-7-9-l-100-km.html>>.
- [5] *Auto.cz* [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/prilohy/paris_2008/foto.php?obr=http://img.auto.cz/auto/prilohy/paris_2008/grafika/fabric/me/mess490.jpg>.
- [6] KOZOUSOVÁ, Naděžda. *Automix.cz* [online]. 19.9.2006 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://magazin.automix.centrum.cz/novinky/clanek.phtml?id=8668>>.
- [7] JAVŮREK, Martin. *Automix.cz* [online]. 12.3.2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://magazin.automix.centrum.cz/clanek.phtml?id=13136>>.
- [8] *7-forum.com* [online]. 13.11.2006 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.7-forum.com/modelle/e65/images/hydrogen_7_grafik_p0031216-e.jpg>.
- [9] LASÍK, Jindřich. *Auto periskop* [online]. 28.5.2001 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.periskop.cz/cz/clanky/ford-focus-fcv-jezdi-na-vodik/>>.
- [10] *Hydrogencarsnow.com* [online]. 1.4.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.hydrogencarsnow.com/images/Ford/ford-focus-fcv-h2-car.jpg>>.
- [11] VOKÁČ, Luděk. *Auto.idnes.cz* [online]. 14.7.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://auto.idnes.cz/volkswagen-ma-hybridni-golf-do-vyroby-je-ale-daleko-f8j-/automoto.asp?c=A080703_151242_automoto_vok>.
- [12] *Acaa.mn* [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.acaa.mn/wp-content/uploads/2008/12/vw_golf_twin_drive_main510.jpg>.
- [13] VORLÍČEK, Štěpán. *Automix.cz* [online]. 6.10.2005 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://magazin.automix.centrum.cz/novinky/clanek.phtml?id=7290>>.
- [14] *Img5.ceskatelevize.cz* [online]. 2005 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://img5.ceskatelevize.cz/specialy/automotorevue/galerie/77/hi-1.jpg>>.

- [15] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 6.10.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/novinky/parizsky-autosalon-peugeot-hymotion4>>.
- [16] *Motoraauthority.com* [online]. 2006-2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.motoraauthority.com/content/images/p/e/peugeot_hymotion_001-1002.jpg>.
- [17] *Cartype.com* [online]. 15.9.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.cartype.com/pics/297/full/opel_hydrogen3_concept_draw_06.jpg>.
- [18] *Auto.idnes.cz* [online]. 12.3.2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://auto.idnes.cz/opelu-ampera-staci-mene-nez-dva-litry-benzinu-na-sto-kilometru-pbq-/ak_aktual.asp?c=A090310_165425_ak_aktual_fdv>.
- [19] *Blogcdn.com* [online]. 2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.blogcdn.com/www.autoblog.com/media/2009/02/opel_ampera_filtrado_07_opt.jpg>.
- [20] MACEK, Jan, SUK, Bohuslav. *Spalovací motory I*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1996. 242 s. ISBN 80-01-00919-X.
- [21] *Wikimedia.en* [online]. 4.10.2004 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Engine_movingparts.jpg>.
- [22] PATERA, Zdeněk. *Auta5p.eu* [online]. 5.1.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.auta5p.eu/informace/motory/motory.htm>>.
- [23] Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, VDI/Verlag, Düsseldorf, 1991
- [24] Ochs, M. et al.: Neue Hochintegrierte komponenten für Hybridantriebsysteme, Fortschritt-Berichte VDI Verlag, 15. Internationales Wiener Motorensymposium April 1994
- [25] MACEK, Jan. *Enviweb.cz* [online]. 9.12.2007 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.enviweb.cz/?secpart=obecne_archiv_ghcff/Vodikove_spalovaci_motory.html>.
- [26] *Lidovky.cz* [online]. Praha : 23.11.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.lidovky.cz/zasoby-ropy-vystaci-nejmene-na-dve-staleti-f24-/ln_ekonomika.asp?c=A081123_153436_ln_ekonomika_ter>.
- [27] CERMAN, Jiří. *Nazeleno.cz* [online]. 9.10.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/doprava/emise/euro-5-zdrazí-emisní-limity-automobily.aspx>>.
- [28] *Petrol.cz* [online]. 19.3.2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.petrol.cz/alternativa/clanek.asp?id=11517>>.