



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

## ALTERNATIVNÍ A HYBRIDNÍ POHONY AUTOMOBILŮ

*ALTERNATIVE AND HYBRID POWERTRAINS OF CARS*

*BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

*BACHELOR'S THESIS*

*AUTOR PRÁCE*

AUTHOR

*PAVEL TRNĚNÝ*

*VEDOUCÍ PRÁCE*

SUPERVISOR

*PROF. ING. VÁCLAV PÍŠTĚK, DRSC.*

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Pavel Trněný

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:

### **Alternativní a hybridní pohony automobilů**

v anglickém jazyce:

### **Alternative and hybrid powertrains of cars**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzovat perspektivy aplikace alternativních a hybridních pohonů automobilů.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit a kriticky zhodnotit dostupné poznatky z oblasti perspektivy aplikace alternativních pohonů vozidel.

Soustředit a kriticky zhodnotit dostupné poznatky z oblasti perspektivy aplikace hybridních pohonů vozidel.

Seznam odborné literatury:

REIMPELL, J., STOLL, H., EDWARD, A. The automotive chassis - engineering principles. Arnold, London 1996.

ISBN 0-340-61443-9.

Gillespie, T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1992.

ISBN 1-56091-199-9.

Bosch, R. Automotive Handbook. 5th edition. 2002. Society of Automotive Engineers (SAE).

ISBN: 0837612438

Firemní literatura výrobců automobilů.

Internet.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 18.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá alternativními palivy pro spalovací motory, hybridními pohony automobilů a v neposlední řadě také elektromobily. Vytváří přehled v současné době používaných alternativních technologií pohonů automobilu.

## Klíčová slova

LPG, CNG, vodík, bioethanol, spalovací motor, elektromotor, akumulátor, hybrid, elektromobil, palivový článek, spalovací turbína, Wankelův motor, rekuperace, emise

## Abstract

This bachelor's thesis deals with alternative fuels for gas engine, hybrid powertrains of cars and finally electric cars. It creates overview in present day used alternative technologies of car powertrains.

## Keywords

LPG, CNG, hydrogen, bioethanol, gas engine, electric motor, accumulator, hybrid car, electric car, fuel cell, gas turbine, Wankel engine, recuperation, emissions



Bibliografická citace

TRNĚNÝ, PAVEL. Alternativní a hybridní pohony automobilů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 34 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.





Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píšťka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne ..... května 2011

.....  
Jméno a přímení



## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Václavu Píšťkovi, DrSc. za ochotu a pomoc při zpracování bakalářské práce.





## Obsah

<u>BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.....</u>	<u>1</u>
<u>Úvod.....</u>	<u>11</u>
<u>1Alternativní paliva pro spalovací motor.....</u>	<u>12</u>
<u>1.1LPG ( Liquid Petrol Gas).....</u>	<u>12</u>
<u>1.2CNG (Compressed Natural Gas).....</u>	<u>13</u>
<u>1.3Vodík.....</u>	<u>15</u>
<u>1.4Bioethanol (E85, E100).....</u>	<u>16</u>
<u>1.5Bionafta.....</u>	<u>17</u>
<u>2Hybridní pohon automobilů.....</u>	<u>18</u>
<u>2.1Spalovací motor s podporou elektromotoru.....</u>	<u>18</u>
<u>2.2Spalovací motor + elektromotor.....</u>	<u>20</u>
<u>2.3Elektromobil s prodlouženým dojezdem.....</u>	<u>21</u>
<u>3Speciální spalovací motory.....</u>	<u>23</u>
<u>3.1Spalovací turbína.....</u>	<u>23</u>
<u>3.2Wankelův motor.....</u>	<u>23</u>
<u>4Elektromobily.....</u>	<u>25</u>
<u>4.1Elektromobily napájené akumulátory.....</u>	<u>25</u>
<u>4.1.1Akumulátory používané v elektromobilech.....</u>	<u>25</u>
<u>4.1.2Elektromotory používané pro pohon elektromobilů.....</u>	<u>26</u>
<u>4.2Elektromobily napájené vodíkovým palivovým článkem.....</u>	<u>27</u>
<u>4.2.1Princip funkce a konstrukce palivového článku.....</u>	<u>28</u>
<u>4.2.2Základní typy palivových článků.....</u>	<u>28</u>
<u>4.2.3Typy zásobníků vodíku.....</u>	<u>29</u>
<u>5Speciální pohony automobilů.....</u>	<u>31</u>
<u>5.1Solární pohon.....</u>	<u>31</u>
<u>5.2Stlačený vzduch.....</u>	<u>31</u>
<u>Závěr.....</u>	<u>33</u>



## ÚVOD

Nejrozšířenějším druhem pohonu v dnešních automobilech je spalovací motor. Ten se dokázal prosadit díky nízké hmotnosti a měrné spotřebě paliva oproti parnímu pohonu a jednoduchému tankování a vyššímu dojezdu oproti elektromotoru.

Spalovací motor jako takový má ale i své nevýhody. Jednou z nich je omezený rozsah otáček, při kterých dokáže pracovat dostatečně efektivně. S tím souvisejí v dnešní době stále více sledované emise skleníkových plynů. Díky těmto náročným požadavkům se začalo u spalovacích motorů prosazovat především vstřikování paliva a přeplňování motoru pomocí turbodmychadla, které pro získání vyššího plnicího tlaku využívá energie výfukových plynů. Tyto ani další moderní řešení včetně pokročilé elektroniky ale nedokáží zcela eliminovat nevýhody spalovacího motoru. To vede k hledání jiných možností pohonu automobilů. Dalším problémem, který přímo nesouvisí s konstrukcí spalovacího motoru, jsou zmenšující se zásoby ropy ve světě a s tím související nárůst její ceny na světových trzích. Je jenom otázkou času, kdy vzroste cena ropy natolik, že umožní prosazení jiných pohonů do běžných automobilů.

# 1 ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO SPALOVACÍ MOTOR

Hlavním přínosem alternativních paliv není ani tak nižší ekologická zátěž, jako jejich ekonomický přínos především ve výrazném snížení provozních nákladů vozidla.

## 1.1 LPG ( LIQUID PETROL GAS)

Je směs plynů propanu a butanu vyráběná z ropy nebo ze zemního plynu. Pro pohon vozidel se používá ve zkapalněném stavu. Většina vozidel se dnes vyrábí jako bivalentní, tzn. že motor vozidla je schopen spalovat jak benzín tak LPG. Start motoru probíhá výhradně na benzín a LPG se pak připojí buď automaticky nebo ručně v závislosti na zbývajícím množství paliva v nádrži.

Výhoda LPG oproti benzínu či naftě spočívá v nižších emisích skleníkových plynů a nižších provozních nákladech při zachování výkonových parametrů vozidla. Provozní náklady oproti zážehovému motoru jsou až o 50% nižší při minimální zásahu do konstrukce vozidla. Návratnost investice při přestavbě vozu na spalování LPG je asi po ujetí 70 000 km.

Další výhodou je zvýšení dojezdu vozidla díky zachování stávající palivové nádrže na benzín. Nevýhodou přestavby je nutnost demontáže rezervního kola z důvodu umístění nádrže na jeho místo.

[2]

Škoda Octavia 1.6 LPG



Obr.1 Schéma Škoda Octavia 1.6 LPG [13]

### Technické údaje

- Palivo - benzín/LPG
- Objem motoru - 1.595 cm<sup>3</sup>
- Max. výkon - 75,00 kW
- Max. točivý moment - 148 Nm / 3800 1/min
- Exhalační norma - Euro 5
- CO<sub>2</sub> emise - kombinované - 168 g/km
- Pohotovostní hmotnost s řidičem - 1.330 kg
- Maximální rychlost - 190 km/h
- Zrychlení 0-100 km/h - 13,0 s
- Objem palivové nádrže - 55 l (benzín) 44 l (LPG)
- Spotřeba - město - 9,8 l/100km
- Spotřeba - mimo město - 5,7 l/100km
- Spotřeba - kombinovaná - 7,2 l/100km
- Spotřeba - město LPG - 12,3 l/100km
- Spotřeba - mimo město LPG - 7,3 l/100km
- Spotřeba - kombinovaná LPG - 9,2 l/100km

Motor 1.6 MPI LPG zachovává normální benzinový pohon a přidává k němu výhodu ve formě pohonu na LPG. Mezi těmito palivy lze jednoduše volit prostřednictvím spínače na středové konzole. Při spalování benzínu dosahuje motor výkonu 75 kW, při pohonu na LPG 72 kW. Palivová nádrž na LPG má prstencový tvar a je zabudována do prohlubně v podlaze vozu místo rezervního kola.

[1]

## 1.2 CNG (COMPRESSED NATURAL GAS)

Jde o stlačený zemní plyn, který je vedlejším produktem při těžbě ropy. Nachází se ve formě plynových kapes u nalezišť ropy. Ve vozidlech se skladuje v tlakových nádržích při tlaku 20 - 25 MPa.

Podobně jako u LPG se používá konstrukce vozidel jako bivalentní. Úpravy vozidla, ovládání a provozní náklady jsou podobné jako u přestavby na LPG popsané výše.

Při použití CNG je pokles výkonu při provozu na plyn výraznější.

Další rozdíl je v možnostech tankování. Zatímco u LPG je síť čerpacích stanic dostatečně hustá (řádově stovky), síť čerpacích stanic na CNG je zatím nedostatečná (řádově desítky veřejných stanic).

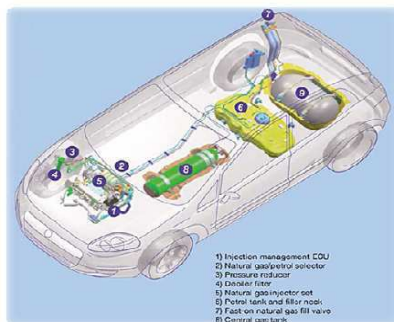


U CNG ale existují dvě možnosti plnění nádrže vozidla:

- rychlá: pomocí veřejné čerpací stanice
- pomalá: pomocí domácí čerpací stanice, připojené k domovní přípojce plynu

Zejména druhá možnost pak umožňuje efektivní využití přestavby na plyn pro každodenní jízdy na kratší vzdálenosti, a tím i nezávislost na veřejných čerpacích stanicích.

### FIAT PUNTO EVO



NÁZEV PARAMETRU	FIAT PUNTO EVO 1.4 8V CNG
TYP MOTORU	4-válcový motor, spalující benzin/CNG
OBJEM MOTORU	1368
VÝKON MOTORU	57 Kw/ 77 PS
MAX. TOČIVÝ MOMENT	104 Nm při 3000 otáčkách
POČET PŘEVODOVÝCH STUPŇŮ	5 stupňová převodovka
SPOTŘEBA PALIVA BENZÍN	7,9 / 5,4 / 6,3
SPOTŘEBA PALIVA CNG	5,4 / 3,5 / 4,2
EMISNÍ LIMIT	EURO 5
OBJEM PALIVOVÉ NÁDRŽE CNG	13 kg
OBJEM PALIVOVÉ NÁDRŽE BENZÍN	45 l
EMISE	115 (g/km)
DOJEZD VOZIDLA NA CNG	cca 310 km
DOJEZD VOZIDLA NA BENZÍN	cca 710 km
CELKOVÝ DOJEZD VOZIDLA	cca 1020 km
MAX. RYCHLOST VOZIDLA	162 / 156 (CNG)
ROZVOR VOZIDLA	2510 mm
OBJEM ZAVAZADLOVÉHO PROSTORU	200 / 570 l

[3]

### 1.3 Vodík

V přírodě se obvykle vyskytuje vázaný na jiné prvky, a proto je nutné ho z těchto sloučenin nějakým způsobem získat. Vodík se dnes nejčastěji vyrábí ze zemního plynu.

Vodík jako palivo pro přímé spalování ve spalovacím motoru je jednou z nejlepších možností, jak se v nejbližší době zbavit závislosti na ropě a jiných fosilních palivech.

Při spalování vodíku vzniká jenom vodní pára, v případě využívání vodíku obsaženého v bioethanolu pak  $\text{CO}_2$ , jehož množství ale přibližně odpovídá tomu, které pohltila biomasa v průběhu svého růstu. Zásoby surovin, ze kterých je možné vodík vyrobit jsou obnovitelné (biomasa, voda) a tudíž nevyčerpatelné.

Při spalování vodíku v konvenčním spalovacím motoru je dosaženo asi polovičního výkonu oproti spalování benzínu. Z toho plyne nutnost použití spalovacího motoru s dostatečně velkým zdvihovým objemem pro dosažení odpovídající dynamiky.

Dalším nezanedbatelným problémem vodíku je jeho malá atomová velikost, která způsobuje neustálé úniky ze skladovacích nádrží. Vodík je možné skladovat jako stlačený nebo v kapalném stavu při nízkých teplotách.



Obr.2 BMW 7 Hydrogen [14]

Technické údaje:

Motor: vidlicový dvanáctiválec 5972 cm<sup>3</sup>  
Maximální výkon: 191 kW  
Akcelerace z 0 na 100 km/h: 9,5 s  
Dojezd na nádrž: 700 km  
Maximální rychlost: 230 km/h (elektronicky omezena)

[4]

### 1.4 BIOETHANOL (E85, E100)

Bioethanolem je nazýván ethanol vzniklý alkoholovým kvašením biomasy.

Ve vozidlech se bioethanol většinou nepoužívá jako čistý, ale je do něj přidáván benzin. Benzin se používá z důvodu degradace ethanolu v důsledku jeho oxidace na vzduchu, což se projeví na snížené kvalitě ethanolu (v důsledku chemické reakce se z něj vylučuje voda). Nejčastějším palivem tohoto typu je E85, které je tvořeno 85 % bioethanolu a 15 % benzínu.

Většina automobilů spalujících bioethanol je ale konstruována tak, aby mohly spalovat E85 a benzin v libovolném poměru (toto je důležité zejména z důvodu nedostatečného pokrytí čerpacími stanicemi s E85 v některých zemích). Tomu je uzpůsobena řídicí jednotka vozidla, která upravuje parametry spalování podle aktuálního poměru bioethanolu a benzínu v nádrži.

Vozidlo využívající palivo E85 dosahuje vyššího výkonu než vozidlo spalující benzin (nárůst výkonu je až 25%). Tohoto je dosaženo vyšším oktanovým číslem v porovnání s benzinem, které umožňuje zvýšení kompresního poměru a z toho plynoucí vyšší výkon. Toto je ale provázeno vyšší měrnou spotřebou paliva (asi o 10 %). Vyšší spotřeba je ale vyvážena nižší cenou paliva E85 a nižšími emisemi.

Proti bioethanolu ale hovoří fakt, že k jeho výrobě jsou v dnešní době využívány zemědělské plodiny, jejichž využíváním pro výrobu bioethanolu se zvyšuje cena základních potravin. Dalším faktem je, že zdroje planety nejsou schopné vyprodukovat dostatečné množství surovin pro jeho výrobu a celosvětové použití.

Koenigseg CCXR



Obr.3 Koenigseg CCXR [15]

Technické údaje:

Maximální výkon: 1018 hp při 7200 min<sup>-1</sup>

Maximální krouticí moment: 1060 Nm při 6100 min<sup>-1</sup>

Akcelerace: 0-100 km/h za 3,1 s

0-200 km/h za 8.9 s

Maximální rychlost: 400+ km/h

Spotřeba paliva:

Dálnice: 18 l/100 km (E85/E100),

Kombinovaná: 22 l/100 km (E85/E100)

Emise: Euro IV

[5]

### 1.5 BIONAFTA

Bionafta je palivo na bázi metylesterů nenasycených mastných kyselin rostlinného původu. Používá se jako alternativa ke klasické naftě. „Vyrábí se rafinačním procesem zvaným transesterifikace“. Toto palivo nevyžaduje žádné úpravy vznětového motoru. Bionafta nachází uplatnění jako palivo pro zemědělské stroje a jako příměs do klasické nafty.

[23]



## 2 HYBRIDNÍ POHON AUTOMOBILŮ

Hybridní automobily spojují výhody jak elektromotoru, tak spalovacího motoru a eliminují jejich nevýhody. Hybridní koncepce pohonu automobilu zároveň umožňuje rekuperaci energie, a tím i podstatné snížení spotřeby paliva. Rekuperace energie spočívá ve využití energie, která je u konvenčních automobilů vyplývána při brzdění (přeměněna v teplo). U hybridních automobilů je tato energie krátkodobě uložena ve voze a při opětovném zrychlování použita pro pohon vozidla. Pro systémy, které jsou schopny tuto přeměnu provést, se používá označení KERS (Kinetic Energy Recovery System). Rekuperovanou energii je nutné někde akumulovat. Pro akumulaci energie je možné použít několika způsobů:

a) akumulátory - umožňují i dlouhodobější akumulaci energie. Jejich nevýhodou je omezený počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a snižující se kapacita v průběhu životnosti;

b) setrvačnick - výhodou setrvačnicku je akumulace přímo kinetické energie, tudíž odpadají ztráty způsobené přeměnou kinetické energie na elektrickou a z elektrické na kinetickou. Pro dosažení maximální účinnosti bývá setrvačnick uložen v magnetických ložiskách, což zároveň umožňuje dosažení vysokých otáček. Tím je možné akumulovat velké množství energie při zachování kompaktních rozměrů setrvačnicku. Energií v setrvačnicku je možné efektivně akumulovat pouze po omezenou dobu;

c) kondenzátory - jsou vhodné pro krátkodobou akumulaci elektrické energie. Jejich velkou výhodou je možnost velmi rychlé akumulace elektrické energie a její následné uvolnění s minimálními ztrátami. Hlavní nevýhoda kondenzátorů spočívá v jejich vysokých pořizovacích nákladech.

### 2.1 SPALOVACÍ MOTOR S PODPOROU ELEKTROMOTORU

U tohoto typu hybridního ústrojí je dominantním pohonem spalovací motor (obvykle zážehový, spalující benzin) a jako pomocný je k němu připojen elektromotor. Hlavním úkolem elektromotoru v tomto typu pohonu je poskytnout dodatečný kroutící moment v nízkých otáčkách a zároveň při brzdění generovat elektrický proud. Pro zvýšení efektivity tohoto systému bývá ještě spalovací motor vybaven systémem start-stop,



kteřý vypíná spalovací motor při zastavení vozidla a po zařazení rychlosti jej opět startuje. Toto opatření má významný vliv na snížení spotřeby v městském provozu, ale vyžaduje zástavbu dostatečně dimenzovaného startéru a akumulátorů. Tento typ vozidla není schopen čistě elektrické jízdy.

Často se u hybridních automobilů používají převodovky s plynule měnitelným převodovým poměrem tzv. CVT, které umožňují spalovacímu motoru pracovat v efektivním rozsahu otáček s maximální účinností.

Provedení s pouze asistujícím elektromotorem se používá u levnějších vozů.

Honda Insight



Obr.4 Honda Insight [16]

Technické údaje:

Maximální výkon spalovacího motoru: 65 kW při 5800 min<sup>-1</sup>

Maximální kroutící moment elektromotoru: 121 Nm při 4500 min<sup>-1</sup>

Maximální výkon elektromotoru: 10 kW při 1500 min<sup>-1</sup>

Maximální kroutící moment elektromotoru: 92 Nm při 0-500 min<sup>-1</sup>

Akcelerace z 0-100 km/h: 12,5 s

Spotřeba paliva: město 4,6 l

mimo město 4,2 l

kombinovaná 4,4 l

Emise CO<sub>2</sub>: 101 g/km

[6]



### 2.2 SPALOVACÍ MOTOR + ELEKTROMOTOR

Tato koncepce již umožňuje jak jízdu na spalovací motor, tak i jízdu na čistě elektrický pohon. Čistě elektrická jízda je ale možná jen řádově několik kilometrů, a to zpravidla jen omezenou rychlostí (obvykle do 30 km/h). I to ale stačí na to, aby vůz mohl popojíždět v koloně a nemusel zapínat spalovací motor, a tím šetří palivo. Nebo je možné oba pohony používat současně v situacích, kdy je zapotřebí vyššího výkonu (např. při akceleraci při předjíždění). V takové situaci se ke spalovacímu motoru přiřazuje elektromotor. Hybridní ústrojí sestává ze spalovacího motoru, planetové převodovky, generátoru, elektromotoru, akumulátorů a řídicí jednotky hybridního pohonu.

Toyota Prius



Obr.5 Toyota Prius [17]

Spotřeba: Město (l/100 km) 3,9  
Mimo město (l/100 km) 3,7  
Kombinovaná (l/100 km) 3,9

Emise Euro 5

CO<sub>2</sub> Město (g/km) 90

CO<sub>2</sub> Mimo město (g/km) 86

CO<sub>2</sub> Kombinované (g/km) 89



Dynamika:

Maximální rychlost (km/h) 180

Zrychlení z 0 na 100 km/h (s) 10,4

Pohon:

Typ motoru řadový zážehový čtyřválec

Rozvodový mechanismus: 16 ventilů DOHC, VVT-i

Zdvihový objem (cm<sup>3</sup>): 1798

Maximální výkon (kW/min<sup>-1</sup>): 73/5200

Maximální výkon (k): 136

Maximální točivý moment (Nm/min<sup>-1</sup>) 142/4000

Kompresní poměr: 13,0:1

Vrtání x zdvih (mm x mm): 80,5 x 88,3

Typ elektromotoru: synchronní s permanentními magnety

Maximální výkon elektromotoru (kW): 60

Maximální točivý moment elektromotoru (Nm): 207

Napětí elektromotoru (V): 650

[7]

### 2.3 ELEKTROMOBIL S PRODLOUŽENÝM DOJEZDEM

Tento typ hybridního automobilu již využívá jako primárního pohonu elektromotor. Spalovací motor plní funkci generátoru elektrického proudu nebo pomocného zdroje točivého momentu při prudké akceleraci, popřípadě při dálničních přesunech vyšší rychlostí. Tím, že spalovací motor plní především funkci generátoru, je možné, aby pracoval pouze v rozsahu otáček, ve kterém má maximální účinnost. Tato koncepce se oproti výše uvedeným blíží spíše k elektromobilu. Má dostatečně dimenzované akumulátory, které stačí na ujetí řádově několika desítek kilometrů na čistě elektrický pohon. I díky tomuto je možné dosažení nejnižší kombinované spotřeby paliva ve srovnání s ostatními hybridními systémy. Zároveň ale není na rozdíl od elektromobilu omezen kapacitou akumulátorů, protože dodatečnou energii může poskytnout spalovací motor.





### Chevrolet Volt



Obr.6 Chevrolet Volt [18]

#### Technické údaje:

Baterie: Kapalinou chlazená lithium-iontová nabíjecí baterie 16kWh

Dojezd na baterii: až 60 km

Doba nabíjení baterie: do 3 hodin

Celkový dojezd: více než 500 km (s využitím záložního generátoru)

Generátor: spalovací motor 1,4 l běží při konstantních otáčkách

Brzdy: Elektro-hydraulické, regenerativní přední/zadní ventilované disky s ABS

Emise CO<sub>2</sub> na prvních 60 km: 0 g/km

Emise CO<sub>2</sub> v režimu prodlouženého dojezdu: pod 40 g/km

Maximální rychlost: 161 km/h

Výkon: 111 kW / 150 hp

Točivý moment: 370 Nm - okamžitý točivý moment

Akcelerace: 0-100 km/h za 9 s

[8]



### 3 SPECIÁLNÍ SPALOVACÍ MOTORY

Pístový spalovací motor má řadu nevýhod. Tou hlavní je, že píst vykonává přímočarý vratný pohyb, což má za následek vznik vibrací a dodatečných ztrát v klikovém mechanismu, způsobených setrvačnými silami. Konstrukteři se tento problém snažili vyřešit. Toto vedlo ke snaze vytvořit rotující spalovací motor, u kterého tento problém odpadá.

#### 3.1 SPALOVACÍ TURBÍNA

První směr vývoje rotačního spalovacího motoru vedl ke spalovacím turbínám. Spalovací turbína jako taková má velký výkon a vysokou účinnost při kompaktních rozměrech. Nevýhodou spalovací turbíny je vysoká měrná spotřeba paliva. Hlavní nevýhodou spalovací turbíny, která zabraňuje rozšíření turbíny jako pohonu pro silniční vozidla, jsou její vysoké provozní otáčky. Pro přímý pohon vozidel jsou vysoké otáčky nevhodné, protože by byl nutný velmi vysoký převodový poměr, který by způsobil velké ztráty a zároveň velké opotřebení součástí. Další nevýhoda spalovací turbíny spočívá v prodlevě mezi stisknutím pedálu plynu a zvýšením otáček turbíny, které je řádově několik sekund.

Jinou možností využití spalovací turbíny by bylo její použití jako pohonu pro elektrický generátor. Turbína by se v tomto případě spouštěla pouze, pokud by napětí akumulátorů kleslo pod určitou úroveň. Důvody, proč se turbína ani pro tento způsob zástavby ve vozidle zatím nepoužívá, jsou její složitá konstrukce, náročná údržba a vysoké pořizovací náklady. V důsledku dosaženého pokroku v tomto oboru se ale možná spalovací turbíny jako pohon generátoru dokáží prosadit.

#### 3.2 WANKELŮV MOTOR

Druhý směr vývoje se zaměřil na spalovací motory s krouživým pohybem pístu. Do praxe se prosadil tzv. Wankelův motor. Wankelův motor spojuje výhody turbíny a pístového spalovacího motoru. Wankelův motor má podobně jako spalovací turbína kompaktní rozměry a vysoký výkon. Maximálního výkonu dosahuje však již při podstatně nižších otáčkách než spalovací turbína tj. asi při 9 000 min<sup>-1</sup>, tudíž není nutná taková redukce otáček.



Díky krouživému pohybu pístu se podařilo částečně eliminovat setrvačné síly a díky tomu se Wankelův motor podstatně lépe vytáčí a má nižší vibrace než pístový spalovací motor. Další podstatnou výhodou Wankelova motoru je jednoduchá konstrukce. Na rozdíl od pístového spalovacího motoru nepotřebuje žádný ventilový rozvod, protože o řízení průtoku palivové směsi a výfukových plynů se stará samotný píst. Problém Wankelova motoru spočívá v obtížném utěsnění spalovacího prostoru a s tím spojenou vysokou spotřebou maziva.

O Wankelově motoru se dnes spíše uvažuje jako o pohonu pro elektrický generátor zabudovaný ve vozidle pro zvýšení dojezdu elektromobilu, kde by se využilo kompaktních rozměrů, nízké hmotnosti a vysokého výkonu takové jednotky.

### Mazda RX8



Obr.7 Mazda RX-8 [19]

Technické údaje:

Objem motoru:  $2 \times 654 \text{ cm}^3$

Maximální výkon: 170 kW při 8200 min<sup>-1</sup>

Akcelerace z 0 na 100 km/h: 6,4 s

Maximální rychlost: 234 km/h

Spotřeba paliva: 10,5 l/100 km

[9]



## 4 ELEKTROMOBILY

Elektrický pohon automobilu má v dnešní době jeden základní problém, který brání jejich širšímu uplatnění v automobilech. Tímto problémem je způsob akumulace elektrické energie ve vozidlech. V současné době jsou náklady na výrobu takových zásobníků příliš vysoké.

### 4.1 ELEKTROMOBILY NAPÁJENÉ AKUMULÁTORY

Dnes používané akumulátory mají několik nepříjemných vlastností, které znemožňují jejich výraznější prosazení. První z těchto nevýhod je nízká kapacita akumulátorů, která neumožňuje srovnatelný dojezd s vozidly se spalovacím motorem. Toto by ale nebyl až takový problém, pokud by bylo možné akumulátory buď dostatečně rychlým způsobem nabít nebo vyměnit za jiné plně nabité. Elektromobily jako takové i přes tyto nevýhody mají šanci prosadit se především v městském, případně příměstském provozu. V takovém režimu jízdy totiž není nutný ani tak velký dojezd automobilu, jako spíše možnost využívat při opakovaném rozjíždění a brzdění rekuperaci energie pro nabíjení akumulátorů. Obrovský potenciál elektromobilů ve městech spočívá v nulových emisích.

#### 4.1.1 AKUMULÁTORY POUŽÍVANÉ V ELEKTROMOBILECH

Akumulátory v elektromobilech jsou konstruovány jako vysokonapěťové (zpravidla 200-300V). Aby se zvýšila jejich životnost a výkon, bývají tyto akumulátory chlazeny kapalinou. Velkou nevýhodou dnes používaných akumulátorů je jejich velká hmotnost, která má negativní vliv na jízdní vlastnosti automobilu.

*Olověný akumulátor* - olověný akumulátor je tvořen dvěma elektrodami, katoda nabitého akumulátoru je z čistého olova, anoda je z oxidu olova. Elektrolyt tvoří naředěná kyselina sírová. Napětí jednoho článku je přibližně 2V. Olověné akumulátory jsou nejstarším používaným typem akumulátoru. Pro pohon elektromobilů se dnes již prakticky nepoužívají z důvodu vysoké hmotnosti a malé hustoty energie na jednotku objemu.

*Ni-Cd* - akumulátor je tvořen oxidem niklu a kadmíem, funkci elektrolytu plní roztok hydroxidu draselného. Napětí jednoho článku dosahuje 1,2 V. Ni-Cd akumulátor má



vyšší životnost, kapacitu a nižší hmotnost než olověný akumulátor. Většinou se vyrábí ve vzduchotěsném provedení, které zaručuje bezúdržbovost.

*NiMh* - anoda tohoto akumulátoru je vyrobena sloučeninou niklu, záporná elektroda je tvořena slitinou pohlcující vodík. Jako elektrolyt slouží roztok hydroxidu. Svorkové napětí jednoho článku NiMh akumulátoru je 1,3–1,4V. Pro pohon elektromobilů je tento akumulátor spolu s Li-ion akumulátory nevhodnější.

*Li-ion* - katoda je tvořena sloučeninou lithia, anoda uhlíkovou matricí. Elektrolyt tvoří vodivá sůl. Životnost Li-ion akumulátoru dosahuje podobně jako u NiMh akumulátoru až 1000 cyklů. Napětí jednoho článku se obvykle pohybuje mezi 3,6-3,7 V. Výhodou Li-ion článků je, že nemají paměťový efekt (tzn. že se jejich kapacita nesnižuje, tím že by se nabíjely i pokud nejsou úplně vybity) oproti jiným typům akumulátorů. Li-ion akumulátory jsou v dnešní době nejpokročilejším typem akumulátorů s největším potenciálem pro pohon elektromobilů. Jejich nevýhodou je vysoká cena, která značně prodražuje celý automobil.

[2]

### 4.1.2 ELEKTROMOTORY POUŽÍVANÉ PRO POHON ELEKTROMOBILŮ

Na elektromotory používané ve vozidlech je kladeno velké množství požadavků na jejich vlastnosti. Základním požadavkem je dosažení vysoké účinnosti v širokém spektru pracovních otáček. Dalším důležitým požadavkem je nízká hmotnost a vysoký výkon a vhodný průběh kroutícího momentu, který s tímto výkonem úzce souvisí.

*Asynchronní* - tento typ elektromotoru je napájen střídavým trojfázovým napětím. Po konstrukční stránce sestává z rotoru a statoru. Stator je vyroben z plechů nalisovaných k sobě. Jsou v nich vyfrézované drážky, do kterých se zakládá trojfázové vinutí zapojené do hvězdy. Rotor tvoří podobně jako stator nalisované plechy a v jejich drážkách trojfázové vinutí.

*Stejnoseměrný s cizím buzením* - Rotor je tvořen permanentními magnety, na statoru je vinutí. Stejnoseměrné motory vyžadují na rozdíl od střídavých motorů použití komutátoru. Výhodou stejnosměrného motoru je, že má největší moment v nízkých otáčkách, což je výhodné při rozjezdu vozidla. Z tohoto důvodu je vhodné použít kompaktní zapojení budícího vinutí a kotvy. Výhodou tohoto motoru je i plynulý přechod z motorického do generátorového chodu, což se používá při rekuperaci energie při brzdění.

[2]



Tesla model S



Obr.8 Tesla Model S [20]

Technické údaje:

Zrychlení z 0 na 96 km/h 5,6 s

dojezd na jedno nabití 256 až 480 km (volitelná kapacita akumulátorů 46 nebo 70 kWh)

maximální rychlost 196 km/h

pohotovostní hmotnost 1735 kg

[10]

## 4.2 ELEKTROMOBILY NAPÁJENÉ VODÍKOVÝM PALIVOVÝM ČLÁNKEM

Tento typ elektromobilů využívá jako zdroj elektrické energie vodíkový palivový článek. Pro aplikaci ve vozidlech se používají tzv. reverzibilní palivové články (to znamená, že mohou být použity pro výrobu elektrické energie z vodíku, ale také mohou fungovat opačně, tzn. elektrickou energii vyrobenou např. rekuperací převést na vodík).



### 4.2.1 PRINCIP FUNKCE A KONSTRUKCE PALIVOVÉHO ČLÁNKU

Palivový článek podobně jako akumulátor sestává ze dvou elektrod. Na zápornou elektrodu (katodu) je přiváděno palivo (v tomto případě vodík). Na kladnou elektrodu (anodu) je přiváděno okysličovadlo. Elektrody jsou navzájem odděleny membránou, která zabraňuje přímému průchodu volných elektronů mezi elektrodami a umožňuje tím usměrnění elektronů přes elektrický obvod, a tím využití elektrické energie. Oproti akumulátorům je velkou výhodou, že elektrody se aktivně nepodílejí na chemických reakcích (slouží pouze jako katalyzátor), tudíž ani nedochází k jejich opotřebení.

### 4.2.2 ZÁKLADNÍ TYPY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

*Polymer-elektrolyt* - tuhý polymer na bázi uhlíku a fluoru plní funkci membrány mezi elektrodami. Elektrody jsou tvořeny porézním grafitickým papírem povlakovaným platinou.

*Alkalický* - elektrolytem je hydroxid draselný. Palivem je čistý vodík, jako redukční činidlo je nutné použít pouze čistý kyslík. Elektrody jsou vyrobeny ze spékaného práškového niklu s příměsí uhlíku a povlakované platinou. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 60-80°C.

*Methanolvý palivový článek* - konstrukce tohoto typu článku je podobná jako u předchozích typů. Rozdíl spočívá v tom, že na anodu je přiváděn methanol namíchaný s vodou ve formě kapaliny nebo páry. Na katodu se přivádí normální vzduch.

*Palivový článek s kyselinou fosforečnou* - na katodu je přiváděn vzduch. Na anodu může být přiváděn buď zemní plyn nebo methanol. Pracovní teplota je přibližně 200°C. Tento typ palivového článku není tak citlivý na kvalitu vodíku. Pro pohon vozidel jsou však tyto články méně vhodné z důvodu vysoké pracovní teploty.

Palivový článek jako takový ale neakumuluje sám o sobě energii. Slouží pouze jako převodník mezi chemickou energií vodíku a elektrickou energií. Vodík je proto nutné ve vozidle skladovat jinde. K tomuto účelu se používá několik typů zásobníků.

[2]



### 4.2.3 TYPY ZÁSObNÍKŮ VODÍKU

*Nádrž na kapalný vodík* - pro skladování vodíku se používají tlakové nádoby izolované proti únikům tepla (tekutý vodík se skladuje přibližně při  $-253^{\circ}\text{C}$ ). Nádrže na kapalný vodík jsou méně stabilní než klasické tlakové láhve, což může zvyšovat riziko v případě nehody.

*Methaldehydová nádrž* - vodík je v tomto případě uložen v pórech kovu. Jako nosný materiál se používá magnesium nebo slitiny titanu, vanadia, chromu, železa, kobaltu... Během nabíjení zásobníku difundují atomy vodíku do prostorů krystalové mřížky v methalhydridu. Při tomto procesu je uvolňováno velké množství tepla, proto je nutné zajistit jeho dostatečný odvod. Pro čerpání vodíku z tohoto zásobníku je pak nutné zásobník ohřát, tím se vodík uvolní. Pro tento ohřev je možné využít např. odpadní teplo z palivového článku.

*Nádrž na methanol* - vyžaduje oproti standardní nádrži na benzin nebo naftu jinou konstrukci. Materiál musí odolávat silně korozivnímu methanolu. Další nevýhodou methanolu jsou jeho jedovaté výpary a z toho plynoucí nutnost zabránit kontaktu s obsluhou vozidla.

Výhodou elektromobilů s palivovými články je zachování stávajícího způsobu tankování paliva. Další podstatnou výhodou je nižší hmotnost díky absenci těžkých akumulátorů. Problém těchto vozidel v dnešní době spočívá ve vysoké ceně palivových článků (pro jejich výrobu se dnes používají velmi nákladné materiály a množství vyrobených palivových článků je malé, proto není možné snížit jejich výrobní náklady pomocí hromadné výroby) a nákladné výrobě vodíku.

[2]





Honda FCX Clarity



Obr.9 Honda FCX Clarity [21]

Technické údaje

Počet cestujících		4
Motor	Max. výkon	95kW (129 k)
	Max. točivý moment	256 N·m
	Typ	Střídavý synchronní motor (výr. Honda)
Soustava palivových článků	Typ	PEFC (palivový článek s polymerní membránou, výr. Honda)
	Výkon	100 kW
Palivo	Typ	Stlačený vodík
	Skladování	Vysokotlaká vodíková nádrž (35 MPa)
	Kapacita nádrže	171 litrů
Rozměry (D x Š x V)		4 760 x 1 865 x 1 445 mm (187,4 x 73,4 x 56,9 palců)
Max. rychlost		160 km/h (100 mil/h.)
Skladování energie		Lithio-iontová baterie
Dojezd vozu		570 km (354 mil)

\* Při jízdě v režimu LA4 (výpočty Honda)

Zdroj: Honda Motor Co., Ltd.

[11]



## 5 SPECIÁLNÍ POHONY AUTOMOBILŮ

### 5.1 SOLÁRNÍ POHON

Solární pohon má pro pohon vozidel řadu nevýhod. První nevýhodou je omezené množství sluneční energie dopadající na jednotku plochy. S tímto přímo souvisí i nízká účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou. Třetím problémem je nestálost slunečního svitu. Toto všechno má za následek nedostatečný přísun energie pro pohon vozidla. Tuto energii je ale možné využít pro jiné účely než pro pohon vozidla. Je možné, ať už u hybridních automobilů nebo u elektromobilů, ušetřit část energie, která je nutná pro pohon sekundárních systémů (např. klimatizace, palubní přístroje...).

### 5.2 STLAČENÝ VZDUCH

Pohon automobilu pomocí stlačeného vzduchu je jednou ze zajímavých možností pohonu automobilů obzvláště v městských aglomeracích. Problém pohonu na stlačený vzduch spočívá v nízké účinnosti (ta je nižší než u spalovacího motoru). Toto ale vyvažují nulové vypouštěné emise a velmi jednoduchá konstrukce motoru. Velkou výhodou jsou nízké provozní náklady.

MDI MiniFlowAir



Obr.10 MDI Mini Flow Air [22]



Technické údaje:

Hmotnost: 550 kg

Dojezd: 180 km

Maximální rychlost: 110 km/h

[2]



## ZÁVĚR

Docházející ropa a zhoršující se klimatické podmínky budou mít za následek širší uplatnění alternativních a hybridních pohonů automobilů. V nejbližší době se pravděpodobně ve větší míře dokáží prosadit.

Alternativní paliva všeho druhu představují v dnešní době velmi zajímavou možnost snížení provozních nákladů při minimálních vstupních nákladech.

Současné hybridní automobily sice dokáží svoji spotřebu snížit, ale toto snížení je doprovázeno velkými vstupními náklady, a tudíž investice do hybridního automobilu není ekonomicky výhodná. Hybridní automobily jako takové ale umožnily pokrok ve vývoji automobilů a z něj pak mohou těžit jiné, pokročilejší technologie.

V nejbližší budoucnosti se podle mého názoru nejvíce dokáží prosadit elektromobily s prodlouženým dojezdem. Tato koncepce umožňuje při zachování stávajícího způsobu tankování podstatné snížení emisí, spotřeby a tím i nákladů na ujetý kilometr.

Vzdálenější budoucnost bude patřit elektromobilům, a to jak poháněným akumulátory, tak i vodíkovými palivovými články. Dá se v blízké době očekávat masivní rozvoj jak akumulátorů, tak hlavně palivových článků, které spolu se zavedením jejich hromadné výroby sníží jejich cenu. Tato cena akumulátorů, pohánějících elektromobil, tvoří přibližně polovinu jejich výrobních nákladů. U palivových článků je podíl na ceně vozu ještě mnohem vyšší.



Použité informační zdroje

- [1] ŠKODA AUTO a.s. [ online ]. 2011 [ citace 14. 4. 2011 ]<[http://www.skoda-auto.cz/CZE/model/newoctavia/facts/Pages/techdata\\_H4.aspx](http://www.skoda-auto.cz/CZE/model/newoctavia/facts/Pages/techdata_H4.aspx)>
- [2] KAMEŠ Josef. *Alternativní pohony automobilů* 1. vyd. Praha: BEN- technická literatura, 2004. 232 s. ISBN 80-7300-127-6
- [3] FIAT ČR spol. s. r. o. [ online ]. 2011 [ citace 9. 4. 2011 ] <[http://www.fiat.cz/dokums\\_raw/cng\\_modely\\_punto.pdf](http://www.fiat.cz/dokums_raw/cng_modely_punto.pdf)>
- [4] ŠVAMBERK, Jiří. Speciál představení- BMW Hydrogen 7. *Speciál Autohit- Eco Cars*, 2008, s. 74-77
- [5] Koenigsegg Automotive AB [ online ]. 2011 [ citace 22. 4. 2011 ] <<http://www.koenigsegg.com/our-cars-yesterday/all-cars/ccxr/>>
- [6] Honda Česká republika spol. s.r.o. [ online ]. 2011 [ citace 2. 4. 2011 ] <[http://auto.honda.cz/cs/download/cenik/cz\\_cenik\\_insight.pdf](http://auto.honda.cz/cs/download/cenik/cz_cenik_insight.pdf)>
- [7] TOYOTA Česká republika [ online ]. 2011 [ citace 19. 4. 2011 ] <[http://www.toyota.cz/cars/new\\_cars/prius/specs.aspx](http://www.toyota.cz/cars/new_cars/prius/specs.aspx)>
- [8] Chevrolet Česká republika [ online ]. 2011 [ citace 17. 3. 2011 ] <<http://www.chevrolet.cz/vyzkousejte-chevrolet/koncepty-a-budouci-modely/volt-produkcni-verze.html>>
- [9] Auto.cz [ online ]. 2011 [ citace 15. 4. 2011 ]<<http://www.auto.cz/mazda-rx-8-facelift-se-predstavi-frankfurtu-v-cr-prodavati-4248>>
- [10] Auto.cz [ online ]. 2011 [ citace 16. 4. 2011 ]<<http://www.auto.cz/tesla-motors-roadster-sport-3998>>
- [11] Honda Česká republika spol. s.r.o., 25. 6. 2007 [ citace 16. 4. 2011 ] <[http://auto.honda.cz/o-honde/novinky.html/63\\_99-vozdlo-hondy-s-koncepci-palivovych-clanku-/8](http://auto.honda.cz/o-honde/novinky.html/63_99-vozdlo-hondy-s-koncepci-palivovych-clanku-/8)>
- [12] MDI Motor Development International, 2010 [ citace 16. 4. 2011 ] <<http://www.mdi.lu/english/miniflowair.php>>
- [13] Obr.1 Schéma Škoda Octavia 1.6 LPG, <[http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionImages/Events/Frankfurt\\_2009/OctaviaLPG/IAA\\_OCLP\\_G\\_1.jpg](http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionImages/Events/Frankfurt_2009/OctaviaLPG/IAA_OCLP_G_1.jpg)>
- [14] Obr.2 BMW 7 Hydrogen, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2008-22/bm7hy07\\_483e6ce9e2b7d.jpg](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2008-22/bm7hy07_483e6ce9e2b7d.jpg)>



- [15] Obr.3 Koenigseg CCXR, <[http://www.koenigsegg.com/wp-content/themes/koenigsegg/\\_img/splash-ccxr-01-1080x550.jpg](http://www.koenigsegg.com/wp-content/themes/koenigsegg/_img/splash-ccxr-01-1080x550.jpg)>
- [16] Obr.4 Honda Insight, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-39/hoin21\\_4ca8afa17c640.jpg](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-39/hoin21_4ca8afa17c640.jpg)>
- [17] Obr.5 Toyota Prius, <[http://www.toyota.cz/Images/pri09\\_gal\\_008\\_prev\\_tcm423-892792.jpg](http://www.toyota.cz/Images/pri09_gal_008_prev_tcm423-892792.jpg)>
- [18] Obr.6 Chevrolet Volt, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-50/chve21\\_4d08a6d9194d9.jpg](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-50/chve21_4d08a6d9194d9.jpg)>
- [19] Obr.7 Mazda RX-8, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2009-30/marx8202\\_4a69b4e865de9.jpg](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2009-30/marx8202_4a69b4e865de9.jpg)>
- [20] Obr.8 Tesla Model S, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-51/tesla26\\_4d0f1b6393639.gif](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2010-51/tesla26_4d0f1b6393639.gif)>
- [21] Obr.9 Honda FCX Clarity, <[http://img.auto.cz/news/img/galleries/2007-46/hocl42\\_473d90d2c25ec.gif](http://img.auto.cz/news/img/galleries/2007-46/hocl42_473d90d2c25ec.gif)>
- [22] Obr.10 MDI Mini Air Flow, <<http://www.blogcdn.com/www.engadget.com/media/2008/10/mdi-mini-flow-air.jpg>>
- [23] cs.wikipedia.org [ online ]. 5. 4. 2011 [ citace 16. 4. 2011 ] <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bionafta>>