



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 A VÝVOJOVÉ TENDENCE V KONSTRUKCI HYBRIDNÍCH POHONŮ PRO OSOBNÍ AUTOMOBILY

THE PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF PASSENGER CAR HYBRIDS  
ENGINES.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR ŠTĚNIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV RAUSCHER, CSc.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Štěnička Petr

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 a vývojové tendence v konstrukci hybridních pohonů pro osobní automobily**

v anglickém jazyce:

**The present state and development trends of passenger car hybrids engines.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Získání přehledu o zadané problematice. Stanovení základních vývojových trendů.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení, výkonových a ekonomických parametrů motorů. Shrnutí současného stavu proveďte tabulkovou a grafickou formou. Na závěr uveďte hlavní vývojové tendence.

Seznam odborné literatury:

- [ 1 ] Jan, Z., Ždánský, B.: Automobily 3 (motory), Avid s.r.o. Brno, 2000
- [ 2 ] Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, BOSCH, Stuttgart 2003, ISBN 3-528-07040-4
- [ 3 ] Časopisy s tematikou vozidlových motorů
- [ 4 ] Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Rauscher, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 31.10.2007

L.S.



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Petr Štěníčka

Současný stav a vývojové tendence v konstrukci hybridních pohonů pro osobní automobily

BP, ÚADI, 2008, str. 37

Tato bakalářská práce pojednává o současném stavu a vývojových tendencích hybridních pohonů osobních automobilů. Obsahuje stručný historický přehled hybridních automobilů, jejich rozdělení, hlavní součásti a přehled současně vyráběných typů. Celá práce je zaměřena na popis principů tohoto typu pohonu a je zde také uvedeno srovnání výhod a nevýhod hlavních konstrukčních řešení.

**Klíčová slova:** hybridní pohon, alternativní pohon, ekologická vozidla, rekuperace energie, energetické zásobníky, micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, palivový článek, setrvačnick, vysokoenergetické kondenzátory, plynová turbína

## **Summary**

Petr Štěníčka

The present state and development trends of passenger car hybrids engines.

BT, IAE, 2008, 37 p.

This bachelor's thesis treats of the present state and development trends of hybrid propulsion of passenger cars. It contains brief historical summary of hybrid cars, their general partition, its main components and a summary of types produced nowadays. The whole thesis is focused on main principles of this propulsion and there is also a comparison of advantages and disadvantages of main constructional solutions.

**Key words:** hybrid propulsion, alternative drive, ecological cars, energy recovery, energy accumulators, micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, fuel cell, fly-wheel, supercapacitors, gas turbine

**Bibliografická citace mé práce:**

ŠTĚNIČKA, P. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci hybridních pohonů pro osobní automobily*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Rauscher, CSc.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jaroslava Rauschera CSc. a s použitím uvedené literatury.

V Brně 19. Května 2008

Petr Štěnička

### **Poděkování**

Tímto bych poděkovat především mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Rauscherovi CSc. za jeho cenné připomínky a rady.

## **Obsah**

Abstrakt .....	3
Summary .....	3
Bibliografická citace .....	4
Čestné prohlášení .....	5
Poděkování .....	6
Obsah .....	7
<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Historický přehled .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Rozdělení hybridních pohonů .....</b>	<b>13</b>
3.1 Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu .....	13
3.1.1 Sériové uspořádání hybridních pohonů .....	14
3.1.2 Paralelní uspořádání hybridních pohonů .....	15
3.1.3 Smíšené uspořádání hybridních pohonů .....	16
3.2 Rozdělení hybridních pohonů podle pohonné koncepce .....	18
3.2.1 Koncepce spalovací motor + akumulátor + elektromotor .....	18
3.2.2 Plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor .....	19
3.2.3 Koncepce spalovací motor + setrvačnick .....	20
3.3 Rozdělení hybridních pohonů podle stupně hybridizace .....	21
3.3.1 Koncepce micro-hybrid .....	21
3.3.2 Koncepce mild-hybrid .....	22
3.3.3 Koncepce full-hybrid .....	23
<b>4. Hlavní komponenty hybridního pohonu .....</b>	<b>23</b>
4.1 Pohonné jednotky .....	23
4.1.1 Spalovací motory .....	23
4.1.2 Elektromotory .....	24
4.2 Energetické zásobníky a zdroje .....	26



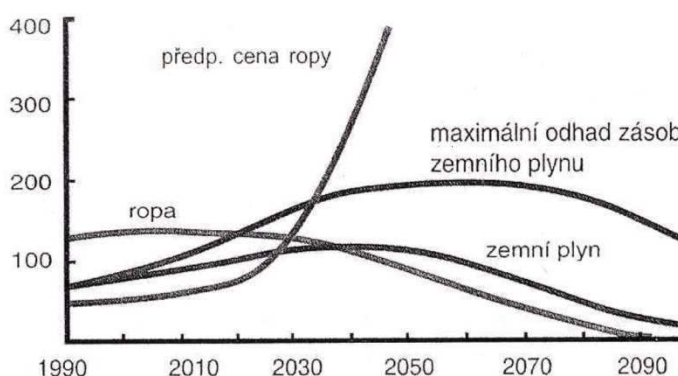
---

4.2.1 Elektrochemické akumulátory .....	26
4.2.1.1 olověný akumulátor .....	26
4.2.1.2 akumulátor nikl-kadmium .....	27
4.2.1.3 akumulátor nikl-metalhydrid .....	27
4.2.1.4 akumulátor lithium-ion .....	28
4.2.1.5 akumulátor lithium-polymer .....	28
4.2.1.6 akumulátor zinek-vzduch .....	28
4.2.2 Mechanické akumulátory .....	28
4.2.3 Vysokoenergetické kondenzátory .....	29
4.2.4 Palivové články .....	29
4.3 Řídící jednotka .....	30
4.4 Převodová ústrojí .....	31
<b>5. Srovnání současných hybridních vozů .....</b>	<b>33</b>
<b>6. Závěr .....</b>	<b>35</b>
Seznam použitých obrázků a tabulek .....	36
Seznam použité literatury .....	37

## 1. Úvod

S růstem objemu výroby dopravních prostředků v současné době velmi úzce souvisí problematika spotřeby fosilních paliv a v neposlední řadě také otázka ekologičnosti jejich provozu.

Ropa, jako surovina pro výrobu benzínu, nafty a leteckého kerosinu, slouží v současné době k pohonu drtivé většiny dopravních prostředků. Experti dnes odhadují, že již v relativně blízké době (zhruba v roce 2030) klesnou zásoby ropy na hranici asi 8,5 % celkového dnešního množství. V letech 2050 - 2100 pak budou dle posledních prognóz vytěžena všechna dnes známá ložiska ropy. Tyto výpočty sice kalkulují pouze se známými a ověřenými zásobami ropy a neberou v úvahu nové geologické průzkumy a dosud neotevřená, ale už objevená ložiska, avšak přesto jsou tato čísla alarmující.



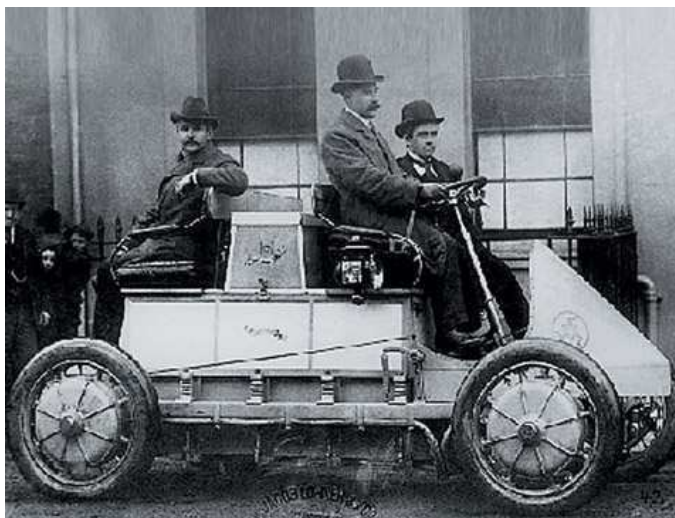
Obr. 1.1 - odhadované zásoby fosilních paliv [1]

Dalším celosvětovým problémem je znečišťování životního prostředí. Dopravní provoz se na znečištění podílí především tvorbou oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a oxidů dusíku a síry (NO<sub>x</sub> resp. SO<sub>x</sub>), přičemž právě oxid uhličitý se největší měrou podílí na vzniku známého skleníkového efektu.

Tyto a jiné důvody vedou k hledání nových, alternativních metod pohonů dopravních prostředků. Zkoumají se stále nová konstrukční řešení a hybridní pohon vozidla je jedním z těch dnes často diskutovaných.

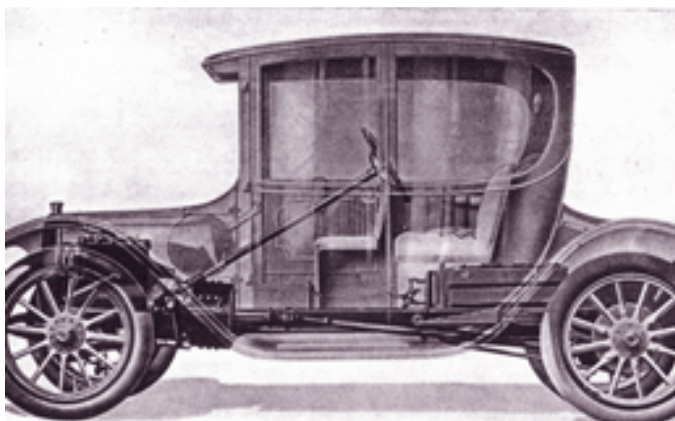
## 2. Historický přehled

Již v roce 1901, zaměstnanec firmy Lohner Coach Factory, Ferdinand Porsche navrhl svůj automobil Mixte, první hybridní vůz vycházející z jeho dřívějšího elektricky poháněného automobilu System Lohner-Porsche. Mixte překonal hned několik rakouských rychlostních rekordů a také v roce 1901, řízen samotným Ferdinandem Porsche, vyhrál Exelberg Rally. Vůz používal benzínový motor pohánějící generátor, který napájel elektromotory umístěné přímo v nábojích kol. Dále byl vybaven malým blokem akumulátorů pro zvýšení spolehlivosti. Tento automobil dosahoval nejvyšší rychlosti 50 km/h a dojezdu 50 km.



Obr. 2.1 - automobil Mixte [5]

V roce 1915 firma Woods Motor Vehicle představuje svůj vůz Dual Power. Toto vozidlo poháněl čtyřválcový motor a paralelně zapojený elektromotor. Do rychlosti 25 km/h poháněl vozidlo jen elektromotor napájený akumulátorem, poté se zapojil spalovací motor a tak vozidlo dosáhlo rychlosti 55 km/h. Těchto automobilů bylo do roku 1918 vyrobeno okolo 600 kusů.



Obr. 2.2 - automobil Dual Power [6]

V 60. a 70. letech 20. století se na vývoji hybridních pohonů významně podílel muž jménem Victor Wouk, který si svou prací získal titul duchovního otce hybridních vozů. V 70. letech nainstaloval prototyp hybridního pohonu (s 16 kW elektromotorem) do vozu Buick Skylark 1972, v němž použil mnoho dodnes používaných konstrukčních řešení.



Obr. 2.3 - Victor Wouk a jeho hybridní Buick Skylark [7]

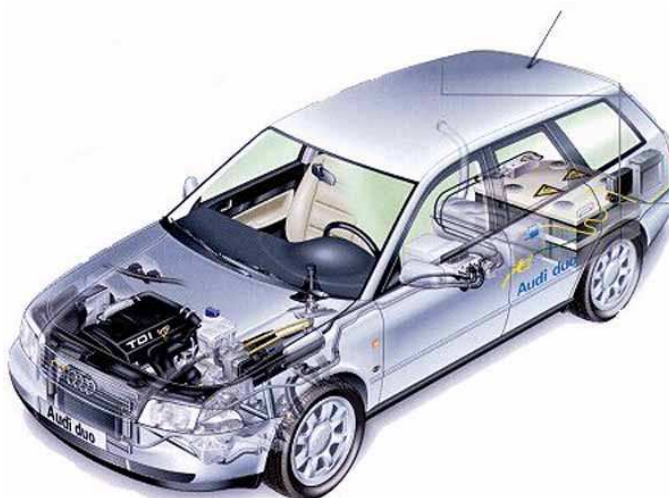
Regenerativní systém brzdění, jeden ze základních principů současných hybridních vozů, vyvinul v roce 1978 elektroinženýr David Arthurs. Použil při tom běžně dostupných elektrosoučástí, které nainstaloval do vozu Opel GT. Jeho vlastní konstrukce byl pouze generátor, upravený sériový motor a regulátor napětí baterií. Vůz dosahoval spotřeby pouze 3,14 l/100 km a model z roku 1980 dokonce pouze 2,8 l/100 km.



Obr. 2.4 - hybridní Opel GT [8]

V roce 1989 automobilka Audi představuje první generaci automobilu Audi Duo, experimentální paralelní hybridní vůz, vycházející z modelu Audi 100 Avant quattro. Tento vůz byl vybaven Ni-Ca akumulátorem a elektromotorem o výkonu 9,4 kW, který poháněl kola zadní nápravy. Přední kola byla poháněna zážehovým pětiválcem o objemu 2,3 litru a výkonu 101 kW. Záměrem bylo navrhnout vůz, který by byl poháněn elektromotorem ve městě a mimo město motorem spalovacím. Mód pohonu mohl řidič zvolit sám. Tento model se však příliš neosvědčil, spotřeba vozu při pohonu spalovacím motorem byla větší než běžného vozu Audi 100 se stejným motorem. O dva roky později byla vyvinuta druhá generace, kterou poháněl trojfázový asynchronní elektromotor o výkonu 21,3 kW a zážehový čtyřválcový motor o objemu 2,0 litry. V této verzi elektromotor opět sloužil k pohonu zadních

kol, avšak spalovací motor tentokrát přes diferenciál Torsen poháněl všechna čtyři kola. Automobilka Audi ve vývoji hybridních pohonů pokračuje dodnes.



Obr. 2.5 Audi duo III.generace [9]

Komerčně úspěšnými se však hybridní vozy staly až v 90. letech, kdy byly představeny modely Toyota Prius a Honda Insight. Poprvé se hybridní vozy staly finančně dostupnými vozy designově odpovídajícími standartním automobilům při znatelném snížení spotřeby paliva. Toho bylo dosaženo technickým pokrokem v oblasti elektromotorů, akumulátorů energie, ale především použitím důmyslné elektronické řídicí jednotky, která optimálně reguluje chod obou motorů pro dosažení optimální spotřeby paliva.



Obr. 2.6 - Toyota Prius 1.generace [10]



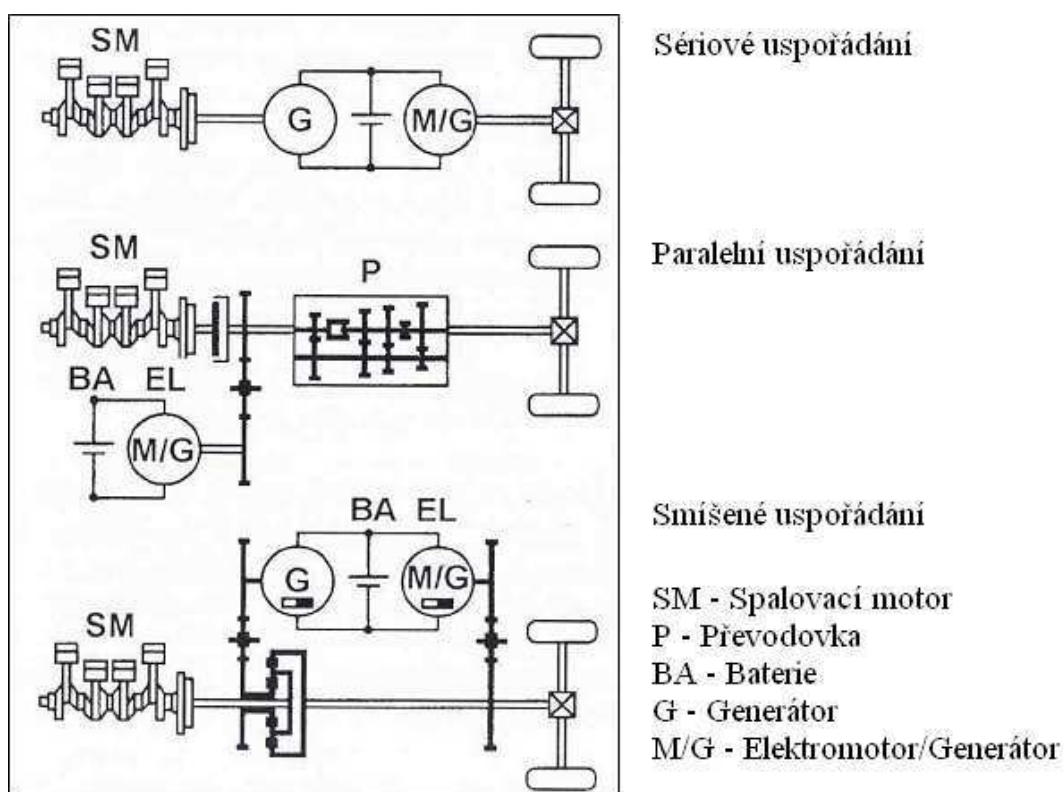
Obr. 2.7 - Honda Insight [11]

### 3. Rozdělení hybridních pohonů

Pod pojmem hybridní pohon se v automobilové branži rozumí pohon, na kterém se podílí více než jedna hnací jednotka, bez ohledu na to, jakého druhu energie využívají. Princip hybridního pohonu je založen především na využití výhod jednotlivých pohonů při různých pracovních stavech vozidla. Nejvhodnější kombinací se v současné době jeví být spalovací motor a elektromotor, který umožňuje městský provoz bez emisí, spalovací motor mimo město umožňuje dobré jízdní výkony a velké dojezdy. Navíc je drtivá většina hybridních systémů schopna tzv. rekuperace energie, neboli využití ztrátové energie brzdění. U systémů s elektromotorem je při brzdění kinetická energie ukládána v akumulátorech, u systémů používajících setrvačnick je tato energie předávána právě setrvačnicku. V podstatě můžeme říci, že hybridní automobil hospodaří s energií během jízdy. Hybridní pohony můžeme rozdělit podle několika kritérií.

#### 3.1 Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu

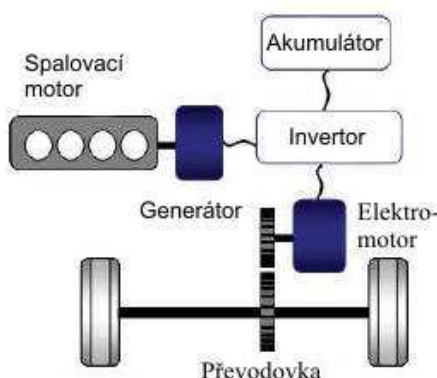
Nezávisle na různém uspořádání převodů a spojek lze podle toku výkonu rozdělit hybridní pohony na tři základní skupiny. Hlavní rozdíl různých systémů tvoří sériové, paralelní nebo smíšené uspořádání. Uspořádání hybridních pohonů dle toku výkonu je na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 - sériové, paralelní a smíšené uspořádání hybridních pohonů [1]

### 3.1.1 Sériové uspořádání hybridních pohonů

Sériové hybridní vozidlo je, podobně jako elektromobily, poháněno výhradně elektromotorem. U této koncepcce je ovšem navíc použit spalovací motor, který spolu s generátorem slouží jako zdroj elektrické energie. Výhodou tohoto řešení je, že spalovací motor může být provozován v optimálním rozsahu otáček, či dokonce jen při otáčkách konstantních. Tím odpadají nevhodné režimy pracovní charakteristiky, jako je volnoběh nebo spodní rozsah částečných zatížení a motor tak pracuje s maximální možnou účinností a vykazuje minimální hodnoty emisí. Při provozu je automobil poháněn pouze elektromotorem. Až v momentu, kdy akumulátory nemohou pokrýt momentální spotřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován a akumulátory tak dobíjí. Výhodou této koncepcce jsou tedy optimální provozní podmínky spalovacího motoru, nevýhodou je zde ovšem vícenásobná přeměna energie. Vzhledem k účinnosti nabíjení akumulátoru dosahuje mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou hodnot okolo 55%.



Obr. 3.2 - sériové uspořádání hybridních pohonů [12]

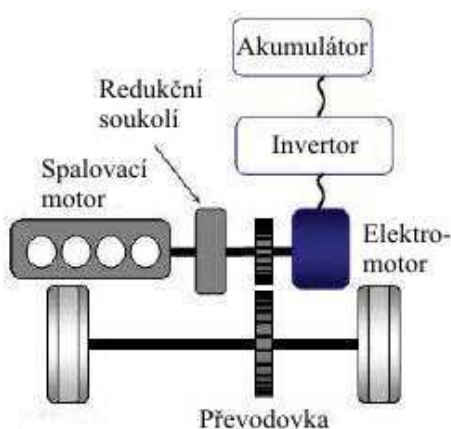
Sériové uspořádání bylo použito například automobilkou Volvo u koncepcce Volvo ECC (Environmental Concept Car). Tento vůz byl představen v roce 1992 jako studie rodinného, ekologicky příznivého automobilu 21. století. Hnací jednotku tvořil elektromotor, jemuž dodávaly energii akumulátory dobíjené i za jízdy generátorem. Pohon generátoru zajišťovala plynová turbína na naftu. Výhodou turbíny jsou malé rozměry i hmotnost, nízké škodlivé emise, klidný a tichý běh a jednoduchá konstrukce. Tato hybridní poháněcí soustava byla pojmenována HSG (High Speed Generation), neboť její stěžejní částí je rychloběžný generátor, vyrábějící střídavý proud při otáčkách padesátinásobně vyšších než je obvyklé. Pohání jej spalovací turbína otáčkami až  $90\,000\text{ min}^{-1}$  a tvoří s ním skupinu se společným hřídelem, uloženým jen ve dvou ložiscích. Vzduch nasávaný turbínou současně chladí generátor a naopak tepla výfukových plynů se využívá k vyhřívání interiéru vozidla. Toto řešení zdrojové soustavy si samozřejmě vyžádalo komplikovanou regulaci a použití moderních materiálů zaručujících při vysokém měrném zatížení dostatečnou životnost. Stabilními zdroji energie jsou niklo-kadmiové akumulátory umístěné ve středovém tunelu podlahy a napříč pod zavazadlovým prostorem. Pro spouštění turbíny a provoz příslušenství v klidu sloužil klasický olovený akumulátor 12 V. Aby charakteristika této poháněcí soustavy odpovídala konvenčním motorům Volvo, bylo při vývoji rozhodnuto doplnit ji samočinnou dvoustupňovou převodovkou. V průměrných provozních podmínkách vůz dosahoval zhruba polovičních hodnot výfukových exhalací oproti běžným automobilům.



Obr. 3.3 – Volvo ECC [13]

### 3.1.2 Paralelní uspořádání hybridních pohonů

U paralelního uspořádání jsou oba motory propojeny s hnacími koly a podle jejich konkrétního zapojení se buď každý samostatně, či společně starají o pohon vozu. Výhodou tohoto řešení je, že při provozu vozidla spalovacím motorem nedochází ke ztrátám energie vlivem její vícenásobné přeměny, jak je tomu u uspořádání sériového. U této koncepce je pro pohon spalovacím motorem nutný mechanický přípojovací prostředek a převodovka. Převodovka konvenčního typu je společná také pro elektrickou poháněcí větev. Při provozu postačuje analogicky měnit otáčky elektrického stroje ve vztahu k motoru spalovacímu, a to tak, aby spalovací motor pracoval v co neoptimálnější rozsahu. Tyto požadavky nejlépe splňuje elektromotor nakrátko se silným budícím polem, přičemž maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám motoru spalovacího. Současným zapnutím obou zdrojů energie je možno při nízkých otáčkách motoru zvýšit tažnou sílu. V kombinovaném provozu zůstává spalovací motor trvale zapnut, teprve při velkém zrychlení, například při předjíždění, se připojí elektromotor, čímž se zvýší krátkodobě požadovaný špičkový výkon. Tímto převýšením točivého momentu poskytuje paralelní hybrid výkonovou rezervu odpovídající výkonu velkoobsahového spalovacího motoru. Překážkou zavedení sériového uspořádání jsou vysoké náklady přídatných komponentů a omezená životnost. Zlepšení stavu zde slibují nové technologie v oblasti akumulátorů energie.



Obr. 3.4 - paralelní uspořádání hybridních pohonů [12]



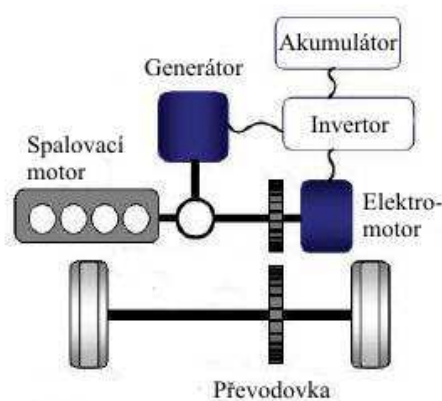
Paralelní uspořádání využívá například aktuální koncept Volkswagen Golf TDI Hybrid. Tato studie je vybavena tříválcovým naftovým motorem 1,2 TDI o výkonu 55 kW (75 k) a točivém momentu 190 Nm, jenž je doplněn klasickým hybridním systémem s akumulátory a elektromotorem. Samotný elektromotor přitom poskytuje výkon až 20 kW (30 k). Hybridní Golf pak pracuje na stejném principu jako většina ostatních automobilů s hybridním pohonem, tedy při akceleraci a při nízké rychlosti vypomáhá elektromotor, hnaný energií z akumulátorů, které se dobíjejí při jízdě, případně získávají energii rekuperací při brzdění. O přenos výkonu na přední kola se pak stará sedmistupňová automatická převodovka DSG, která je naladěna k optimálnímu řazení s ohledem na minimální spotřebu. Hybridní Golf TDI díky tomu dosáhne kombinované spotřeby 3,4 l na 100 km při průměrné produkci jen 90 gramů oxidu uhličitého na 100 km. Nízká spotřeba je také dílem aerodynamických optimalizací. Mezi nejzajímavější z nich patří vnitřní vložky disků kol podobné těm používaným ve Formuli 1. Golf TDI Hybrid umožňuje přepínat mezi režimy čistě elektrickým, čistě vznětovým nebo kombinovaným. Vznětový motor je doplněn funkcí „start – stop“, která automaticky vypíná spalovací jednotku v případě, že vozidlo zastaví.



Obr. 3.5 – VW Golf TDI Hybrid [14]

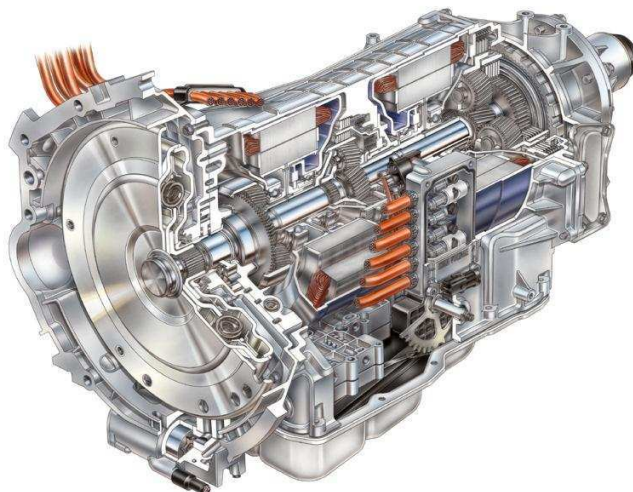
### 3.1.3 Smíšené uspořádání hybridních pohonů

Nevýhody základních koncepcí paralelního a sériového uspořádání vedly k vývoji smíšeného hybridního systému. Smíšené uspořádání tedy kombinuje výhody předešlých dvou koncepcí a jejich nevýhody minimalizuje. Jeho vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojkami či volnoběžkami je libovolně rozmanité. Může to být například sériový hybrid s propojovací spojkou spalovacího motoru přímo na hnaná kola. Pokud vede tok výkonu spalovacího motoru paralelně po různých cestách ke kolu, hovoří se o principu větvení výkonu. Tak se například část výkonu spalovacího motoru stará o pohon vozidla a přebytečný výkon slouží k dobíjení akumulátorů. V náhonu elektromotorů bývá obvykle zařazena planetová převodovka. Další převodovka pro spalovací motor není nutná, ten pracuje v rozsahu obvyklých otáček nezávisle na elektrickém pohonu. Celková účinnost smíšeného uspořádání je ze všech tří koncepcí nejvyšší, ovšem za cenu zvýšení výrobních nákladů.



Obr. 3.6 – smíšené uspořádání hybridních pohonů [12]

Smíšeného uspořádání využívá například automobil Toyota Prius. Toyota Prius se stala prvním sériově vyráběným hybridním automobilem uvedením na trh v roce 1997. Pro pohon první generace byla použita kombinace technicky vyspělého zážehového čtyřválcového motoru o objemu 1,5 l a výkonu 43 kW a 30 kW synchronního elektromotoru. Tato verze dosahovala průměrné spotřeby 3,6 l/100 km. Akumulátory v této verzi však byly příliš velké a těžké, což omezovalo užitnou hodnotu vozu. Současná třetí generace vozu je poháněna kapalinou chlazeným zážehovým řadovým čtyřválcem o objemu 1,5 l a výkonu 57 kW, uloženým vpředu napříč společně s elektromotorem a generátorem elektrické energie. Trakční střídavý synchronní elektromotor s permanentními magnety má výkon 50 kW a kroutící moment 115 Nm. Generátor elektrické energie je střídavý synchronní alternátor. Rozdělování energie z motoru na generátor a trakční elektromotor zajišťuje planetová elektronicky řízená plynulá převodovka E-CVT s rozdělovačem točivého momentu.



Obr. 3.7 – planetová převodovka E-CVT [15]

Akumulátory Ni-MH mají 168 článků po 1,2 V (celkem 201,6 V), jsou uloženy vzadu pod podlahou a mají hmotnost 39 kg. Pro evropskou verzi Toyoty Prius uvádí výrobce kombinovanou spotřebu 4,3 l/100 km.



Obr. 3.8 – Toyota Prius II. Generace [12]

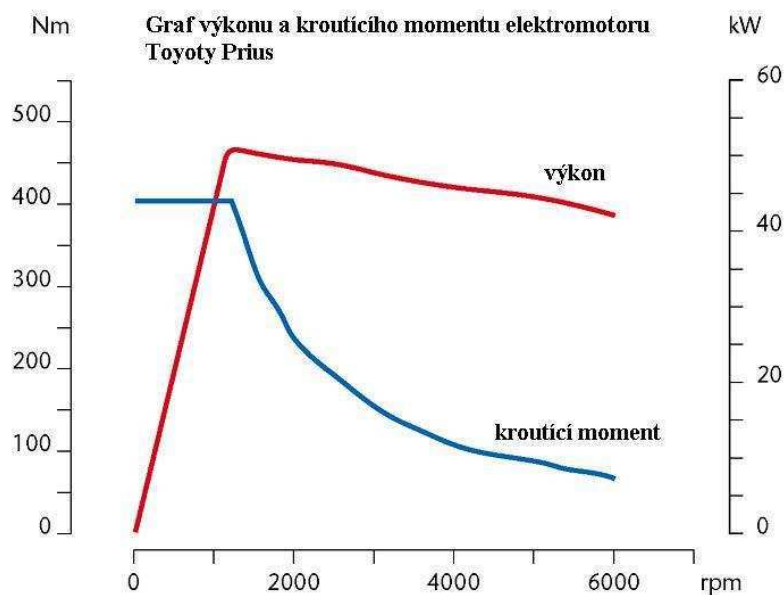
### **3.2 Rozdělení hybridních pohonů podle pohonné koncepce**

Jak je již uvedeno výše, princip hybridního pohonu je založen na využití výhod jednotlivých pohonů při různých pracovních stavech vozidla. Volba kombinace různých typů pohonu je tedy v podstatě libovolná, ovšem je účelné, aby výhody výsledného hybridního systému pohonu převládaly nad zvýšenými výrobními náklady. V současné době se v oblasti osobních vozidel testují a vyvíjejí hlavně tato konstrukční řešení:

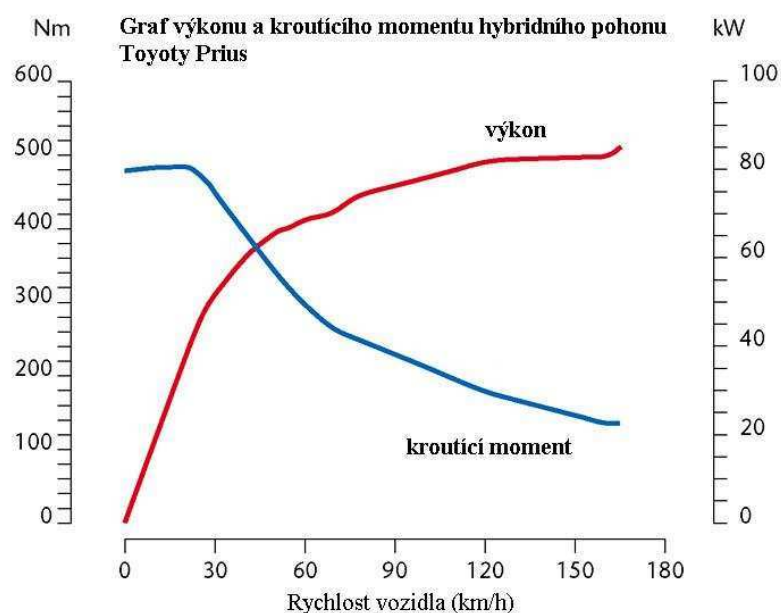
- spalovací motor + akumulátor + elektromotor
- plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor
- spalovací motor + setrvačnick

#### **3.2.1 Koncepce spalovací motor + akumulátor + elektromotor**

Tato kombinace se dnes jeví jako nejvhodnější vzhledem k výrobním nákladům a získaným výkonům. Ostatně se dnes pod pojmem “Hybridní pohon” všeobecně rozumí právě kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. Elektromotor neemituje žádné škodliviny a je velmi tichý. Další jeho velkou výhodou je to, že disponuje největším kroutícím momentem při nulových otáčkách, čímž se skvěle doplňuje s motorem spalovacím. V generátorovém provozu může kinetickou energii brzdění transformovat v energii kinetickou. Také spalovací motor může pracovat s velkou účinností, ovšem jen v úzkém rozsahu výkonu a otáček. Jeho výhoda je v tom, že energetická hustota paliva spalovacího motoru je mnohonásobně vyšší než energetická hustota současných baterií. Elektromotor tak umožňuje efektivnější městský provoz bez emisí, spalovací motor dobré jízdní výkony a velké dojezdy mimo město. Na grafech níže jsou uvedeny charakteristiky elektromotoru a hybridního pohonu vozu Toyota Prius.



Obr. 3.9 – charakteristiky elektromotoru Toyoty Prius [16]



Obr. 3.10 – charakteristiky hybridního pohonu Toyoty Prius [16]

### 3.2.2 Koncepce plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor

Velmi zajímavou alternativou pro použití v hybridních pohonech jsou turbíny. S tímto druhem pohonu automobilky experimentovaly již od padesátých let, ale do stádia sériové výroby se nedostaly. Největší úsilí do vývoje tohoto pohonu vložila automobilka Chrysler, která se čtvrtou generací těchto vozů dokonce testovala zájem zákazníků. Chrysler vyrobil 55 kusů turbínových vozů. Byly osazeny turbínou, která při 46 tisících otáčkách dávala výkon 130 k a monstrózní kroučící moment 580 Nm. Oproti předchozím verzím už měla lepší

spotřebu a hlavně rychlejší reakci na sešlápnutí plynového pedálu. Nekonečných sedm sekund u první generace se podařilo zkrátit na méně nekonečných 1,5 sekundy.



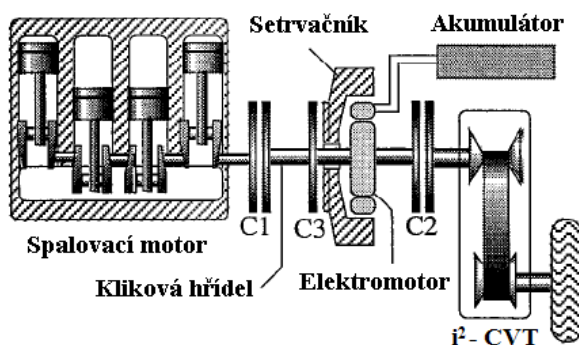
Obr. 3.11 – Chrysler Turbine Car 1963 [17]

I přes technologický pokrok jsou nevýhody turbín pro přímý pohon automobilů zatím nepřekonatelné. Turbína je nevhodná pro přímý pohon proto, že pracuje efektivně jen ve velmi úzkém rozsahu otáček. Byť jen malá změna otáček nebo zatížení se projeví dramatickým poklesem účinnosti a naopak nárůstem emisí. V hybridním systému se však dají zajistit stabilní podmínky: sériově zapojenou turbínu akumulátory odstíní od okamžitých požadavků na dodávanou energii. Turbína, pohánějící alternátor v hybridním vozu, by po dalším vývoji mohla vážit odhadem padesát kilogramů. Vývoji použití plynové turbíny v hybridním pohonu se zabývala například automobilka Volvo ve svém konceptu Volvo ECC, podrobnosti o něm jsou uvedeny v kapitole 3.1.1.

### **3.2.3 Koncepce spalovací motor + setrvačnick**

Hybridní pohon pouze se spalovacím motorem a setrvačnickem vyvinula například Technická univerzita v Eindhoven. Setrvačnick o hmotnosti 19 kg je uložen ve vakuovaném prostoru. Přenos energie na kola se děje pomocí převodovky  $i^2$ -CVT. Převodovka má tento název, protože převodový stupeň v pracovním rozsahu probíhá dvakrát. Pět volně stavitelných třecích spojok poskytuje velkou možnost pohonu devíti převodových stupňů dopředu. Pod rychlost 120 km/h může například spalovací motor krýt ztráty jen valením, odpor vzduchu vozidla a ztráty hnacího obvodu. Pro dynamiku jízdy (brzdění a zrychlení) je využito pouze setrvačnicku.

Podobné vozidlo bylo vyvinuto na ETH Zürich s názvem Hybrid III, využívá stejné převodovky  $i^2$ -CVT, avšak setrvačnick je konvenční nízkootáčkový se zabudovaným elektromotorem s velkým rotorem, který pracuje rovněž jako generátor nebo motor. Vůz může ve spojení s odpovídajícími akumulátory pracovat čistě jako elektromobil.



ETH Hybrid III

Obr. 3.12 – hybridní systém ETH Hybrid III [18]

### 3.3 Rozdělení hybridních pohonů podle stupně hybridizace

Stupněm hybridizace se zde rozumí, v jak velké míře je v automobilu použito principů hybridního pohonu. Vzhledem k vysokým výrobním nákladům hybridního pohonu není vždy marketingově účelné zvolit plnohodnotný hybridní systém. Hybridní pohony tak můžeme dělit do kategorií:

- koncepce micro-hybrid
- koncepce mild-hybrid
- koncepce full-hybrid

#### 3.3.1 Koncepce micro-hybrid

Nejjednodušší formou hybridního pohonu je tzv. micro-hybrid, doplněný o jednotku startér/generátor, která umožňuje funkci Stop & Go. Ta při zastavení vypíná chod motoru a následně ho spouští při rozjezdu. Toto řešení s řemenem poháněnou jednotkou startér/generátor dnes používají například vozy Citroën C3, Ford Fiesta nebo BMW řady 1. Zde odpadá elektrická podpora spalovacího motoru, přičemž snížení spotřeby a s tím i množství CO<sub>2</sub> ve výfuku, se pohybuje kolem šesti procent.



Obr. 3.13 – startér Bosch BMW řady 1, Centrální řídicí jednotka systému Stop & Go

### 3.3.2 Koncepce mild-hybrid

O stupeň výš můžeme zařadit tzv. mild-hybrid, který pro podporu spalovacího motoru využívá úzký elektromotor umístěný v hnací větvi mezi ním a převodovkou. Ten opět pracuje buď jako spouštěč motoru nebo jako generátor, využívající k dobíjení akumulátorů energii vznikající při brzdění vozu. Vzhledem k jeho malému výkonu však není elektromotor použitelný pro čistě elektrický pohon.

Tuto koncepci využívá například jeden z průkopníků moderních hybridních technologií, Honda Insight. Jde o dvousedadlový vůz, uvedený na trh v roce 2000. Pohonnou jednotku předních kol tvoří sériová hybridní jednotka složená z tříválcového zážehového spalovacího motoru o obsahu 995 cm<sup>3</sup> a výkonu 50 kW při otáčkách 5700 min<sup>-1</sup>, z elektromotoru a pětistupňové převodovky. Motor měl na svou dobu řadu vylepšení, jako například variabilní časování sacích ventilů, výfukové potrubí integrované do hlavy válců a další. Bez zajímavosti není systém spalování, který umožňuje při otáčkách nižších než 3000 min<sup>-1</sup> spalování chudé směsi až 25:1. Elektromotor (jen 60 mm široký) je stejnosměrný, bezkartáčový o výkonu 6 kW, umístěný přímo na klikové hřídeli mezi motorem a převodovkou. Akumulátor o napětí 144 V je Ni-MH (nikl-metalhydrid) se 120 články o hmotnosti 20 kg. Elektromotor nikdy nepohání vůz samotný, je řídicí jednotkou aktivován při akceleraci, při deceleraci pak ve funkci generátoru dobíjí akumulátor. Nejvyšší rychlost je 178 km/h při současném pohonu elektromotorem, zrychlení 0-100 km/h za 12 s. Pohotovostní hmotnost je 850 kg a užitečná 190 kg (pro 2 osoby).



Obr. 3.14 – pohonná jednotka vozu Honda Insight [13]

### **3.3.3 Koncepce full-hybrid**

Jako tzv. full-hybrid označujeme koncepci, kde je spalovací motor podporován relativně silným elektromotorem. Ten kinetickou energii brzdění mění na elektrickou, kterou dobíjí akumulátory a zvládne i samostatný pohon auta. Díky podpoře elektromotoru může pak být v autě použit motor s menším objemem, s nižšími mechanickými ztrátami, což se v celkové energetické bilanci výrazně projevuje na úspoře paliva. Ovšem toto řešení vyžaduje vysoké finanční náklady na výrobu takového vozu.

## **4. Hlavní komponenty hybridního pohonu**

V této kapitole jsou uvedeny a rozebrány vybrané komponenty hybridních pohonů.

### **4.1 Pohonné jednotky**

Důležitými parametry pro posouzení systému motor – zásobník jsou energetická hustota a výkonová hustota vztažené buď na jednotku hmotnosti, nebo na jednotku objemu. Energetická hustota [Wh/kg] v podstatě vyjadřuje kapacitu zásobníku – akumulátoru a je jedním ze základních kritérií. Výkonová hustota [W/kg] slouží k posouzení dynamických vlastností vozidla. Výkonová hustota a energetická hustota celého systému motor – zásobník musí být tak vysoká, aby hmotnost vozidla a tím i zrychlující hmoty vozidla zůstaly malé. Při nízkém výkonu a hustotě energie budou velké zrychlující hmoty vozidla, a tím také poroste nutný výkon a spotřeba energie.

#### **4.1.1 Spalovací motory**

Spalovací motor se pro zavedení ve vozidle jeví zvláště dobře vzhledem k objemovému výkonu a energetické hustotě paliva. Ze spalovacích motorů jsou v hybridních vozech používány především motory zážehové, nebo velmi úsporné motory vznětové. Zážehové motory sice spotřebují více paliva, avšak v hybridním pohonu pracují mimo nevýhodné částečné zatížení, takže tato nevýhoda není tak významná. Mimoto má většina vznětových motorů vyšší emise  $\text{NO}_x$ , jsou těžší a hlučnější. Motory jsou obvykle relativně malé stavby. U sériového uspořádání závisí výkon spalovacího motoru na velikosti baterie.





Obr. 4.1 – pohonná jednotka vozu Honda Civic Hybrid [20]

Vzhledem ke specifickým pracovním podmínkám mohou být pro hybridní vozidla použity také další spalovací motory, které pro konvenční vozidla vzhledem k jejich vysoké spotřebě v rozsahu částečného zatížení nejsou optimální, například plynová turbína nebo Stirlingův motor. Tyto spalovací motory spalují palivo kontinuálně. Plynové turbíny mají vysokou výkonovou hustotu, proto mohou být relativně malé, jsou tiché a mohou pracovat s více druhy paliv. Stirlingův motor má účinnost ještě o něco vyšší, ovšem je dosud používán jen pro stacionární provoz a nejsou velké zkušenosti s jeho zástavbou do vozidel. Teoreticky však tyto motory slibují další snížení výfukových emisí. Dále se uvažuje o použití vodíkového pohonu či lineárního spalovacího motoru.

#### **4.1.2 Elektromotory**

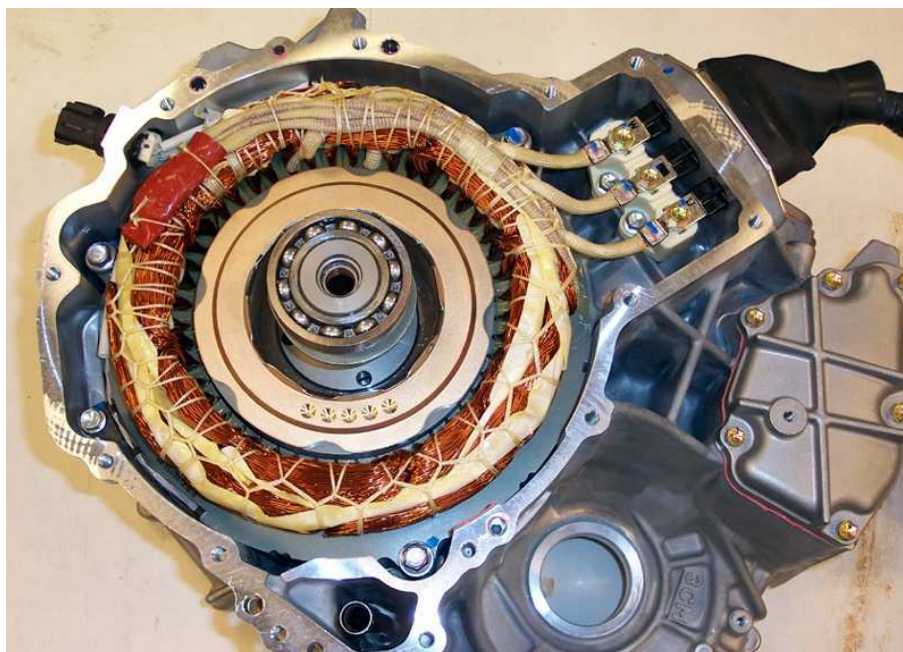
Vozidla s hybridním pohonem používají především elektromotory asynchronní třífázové a elektromotory s permanentním buzením, především kvůli jejich malým rozměrům.

- Elektromotory asynchronní třífázové

Podstatná výhoda třífázového asynchronního tkví v tom, že odpadá vinutí kotvy a kolektor, což umožňuje dosáhnout až 20 000 ot./min. Oproti stejnosměrnému motoru je při stejném výkonu podstatně menší a lehčí, lze zde počítat s výkonovou hmotností asi 1 kg /kW. Kromě toho je asynchronní motor jednodušší a robustní konstrukce, bezúdržbový a silně přetížitelný. Jistá nevýhoda spočívá v nákladech na elektronickou regulaci. Stejnosměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý. Obvykle se toho dosahuje cyklickým zapínáním tyristoru, přitom se pravoúhlý průběh mění přibližně na sinusový. K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být regulovatelná frekvence a napětí. Splnění regulačních požadavků vyžaduje vysoké náklady na výkonový obvod. Zpětné získání energie při brzdění je možno realizovat s vysokou účinností.

- Synchronní elektromotory s permanentním buzením

Tato varianta umožňuje také velmi malý zastavěný objem v automobilu. Magnetické pole vybuze permanentními magnety je bezdrátové, což vede k vysoké účinnosti. U tohoto motoru není ovšem regulace zeslabením pole možná, proto musí být použito vícenásobného regulátoru výkonu akumulátoru, nebo víceúrovňové převodovky. Umožňuje-li stejnosměrný pohon nastavení pole 1:3, musí být u synchronního motoru s buzením permanentními magnety (při stejném maximálním momentu a maximálních otáčkách) nastavení výkonu regulátoru střídavého proudu vyšší o faktor 3.

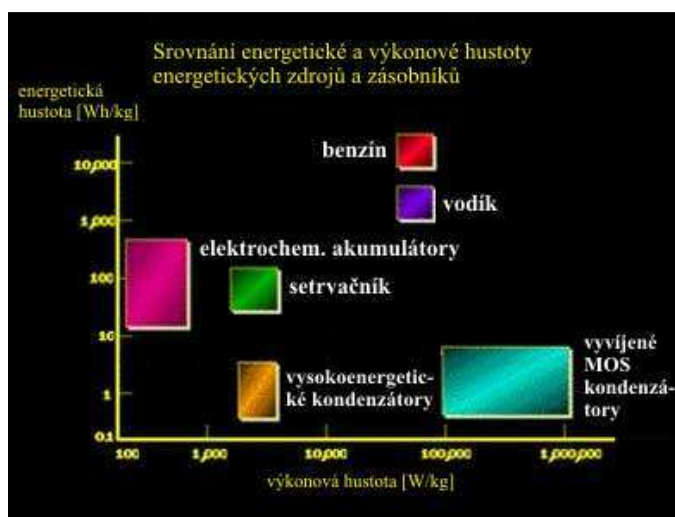


Obr. 4.2 - synchronní elektromotor s permanentním buzením Toyota Prius [12]

## 4.2 Energetické zásobníky a zdroje

Technicky důležitá kritéria energetického zásobníku pro silniční vozidla jsou:

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



Obr. 4.3 – srovnání energetické a výkonové hustoty zásobníků a zdrojů energie [12]

### 4.2.1 Elektrochemické akumulátory

U hybridních vozidel jsou zavedeny stejné typy elektrochemických akumulátorů jako u bateriových elektrických vozidel. Je však třeba zohlednit to, že baterie hybridních vozidel jsou často nabíjeny a vybíjeny pouze částečně. Pro trakční elektrochemické akumulátory hybridních vozidel přicházejí v úvahu následující typy :

- olověný akumulátor
- akumulátor nikl-kadmium
- akumulátor nikl-metalhydrid
- akumulátor lithium-ion
- akumulátor lithium-polymer
- akumulátor zinek-vzduch

#### 4.2.1.1 Olověný akumulátor

Činnou hmotu na kladné elektrodě tvoří oxid olovičitý a porézní olovo na záporné elektrodě. Elektrolytem je kyselina sírová a voda. Napětí jednoho článku je 2 V. Kladné a záporné desky jsou odděleny separátory, které jsou dnes tvořeny tkanivý jemných látek z umělých hmot. Zlepšení elektrické vodivosti iontů se docílilo zavedením kapsových separátorů z mikroporézní umělé hmoty. Tyto separátory uzavírají kladné desky do jakýchsi kapes, čímž také snižují náchylnost ke zkratu. Podstatného zlepšení všech vlastností akumulátoru bylo docíleno zpevněním olova vápníkem místo antimonem. Výhodou je vyšší elektrická vodivost a tedy i výkon, značné prodloužení životnosti a podstatné zmenšení

spotřeby vody. Novější typ sériově vyráběného olověného akumulátoru je založen na principu technologie spirálových článků. Oproti klasickým bateriím má třikrát větší životnost. Nosné části desek jsou z čistého olova, elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě separátorů. Vodík a kyslík vyvíjející se při nabíjení a vybíjení jsou rekombinovány na vodu a akumulátor je tak bezúdržbový. Nabíjecí proud může dosáhnout až 100 A při napětí 14,4 V.



Obr. 4.4 – olověný akumulátor se spirální technologií [21]

Prakticky jedinou výhodou olověných akumulátorů je jejich nižší cena oproti jiným typům akumulátorů. Nevýhodou je pokles kapacity při nízkých teplotách a při vzrůstu vybíjecích proudů, nízká měrná energie a výkon, velká citlivost na vybíjecí a nabíjecí režim.

#### **4.2.1.2 Akumulátor nikel-kadmium**

Jedná se o plně recyklovatelné a bezúdržbové akumulátory. Mají velkou životnost, 10 let nebo 2000 cyklů a vysokou energetickou hustotu. Kladné elektrody jsou tvořeny hydroxidem hliníku, záporné hydroxidem kademnatým. Elektrolytem je hydroxid draselný ředěný destilovanou vodou. Tyto akumulátory nemají tak výraznou závislost kapacity na teplotě a vybíjecím proudem jako akumulátory olověné, ale vyznačují se většími ztrátami a větší spotřebou vody.

#### **4.2.1.3 Akumulátor nikel-metalhydrid**

Má podobné vlastnosti jako akumulátor nikel-kadmium. Materiálem záporné elektrody je však slitina lanthanu, kobaltu, hliníku a manganu, která při nabíjení vytváří metalhydrid a nahrazuje tak škodlivé kadmium. Ni-MH akumulátory jsou tak ekologické a dosahují ještě vyšší hodnoty měrné energie. Jsou však dražší a citlivější na nabíjecí a vybíjecí režim. Životnost je oproti Ni-Cd akumulátorům poloviční.

Například Ni-MH akumulátor Toyoty Prius II je složen z 28 článků, jeho napětí činí 201,6 V a dosahuje kapacity 6,5 Ah při hmotnosti 39 kg.



Obr. 4.5 – Ni-MH akumulátor Toyota Prius II [22]

#### **4.2.1.4 Akumulátor lithium-ion**

Materiálem katody jsou  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  či  $\text{LiNiO}$ . Napětí článku se pohybuje v rozmezí 3 – 4 V. Energetická hustota dosahuje hodnoty až 130 Wh/kg. Životnost je až 1000 cyklů. Nevýhodou je vysoká cena.

#### **4.2.1.5 Akumulátor lithium-polymer**

Anoda je z lithiové a katoda z kovové fólie se zakotveným organosulfanovým polymerem. Podle použitého materiálu elektrod může článek dosahovat napětí 1,8 až 3 V. Energetická hustota dosahuje 150 Wh/kg při 200 W/kg. Pracovní teplota je v rozsahu 40-150 °C. Za podmínek rychlého nabíjení může být dosaženo nabíjecí účinnosti až 90%.

#### **4.2.1.6 Akumulátor zinek-vzduch**

Dosahují hustoty energie až 220 Wh/kg a přitom jsou o 30% lehčí než například akumulátory sodík-síra. Elektrolyt je tvořen vodným roztokem hydroxidu sodného. Požadovaný odběr výkonu vyžaduje jeho chlazení, při nízkých teplotách musí být ohříván.

### **4.2.2 Mechanické akumulátory**

U hybridních pohonů osobních automobilů se v rámci mechanických akumulátorů uvažuje hlavně o využití setrvačníků. Setrvačník je rotační těleso zpravidla deskovitého tvaru. Jeho zásobní kapacita závisí především na maximálních otáčkách a rozložení hmotnosti. V praktickém použití ve vozidle je kinetická energie brzdění předávána setrvačnicku a později je buď přímo, nebo pomocí generátoru využita pro další jízdu. Výhodou použití setrvačnicku jako zásobníku energie je v tom, že nedochází ke ztrátám energie vlivem chemického procesu, jak je tomu u akumulátorů chemických a dosahuje mnohem větší životnosti. Další jeho předností je to, že je schopen energii předávat a ukládat mnohem rychleji, u chemických akumulátoru je schopnost přijímat v krátkém čase velké množství energie omezená. Protože vozidlo při svém pohybu koná různé pohyby, při nichž dochází ke změně osy rotace setrvačnicku, vznikají dynamické jevy (precese a nutace), které by ovlivňovaly dynamické

vlastnosti vozidla. Nejvhodnější umístění osy setrvačnicku je napříč vozidlem, kdy žádné síly uvedeného druhu nevznikají, ovšem to klade zvýšené nároky na zástavbu pohonu do vozu. Dalšími konstrukčními problémy jsou:

- náplň plynu uzavřeného prostoru setrvačnicku
- chlazení vnitřního prostoru setrvačnicku
- utěsnění skříně setrvačnicku v okolí vstupní a výstupní hřídele
- technický problém regulace celého systému a vyřešení komplexního působení jednotlivých agregátů tohoto hybridního systému

Dále nelze opomenout, že při delším odstavení vozidla je velký obsah energie setrvačnicku ztracen. Příklady použití setrvačnicku v osobním hybridním vozidle jsou uvedeny v kapitole 3.2.3.

### **4.2.3 Vysokoenergetické kondenzátory**

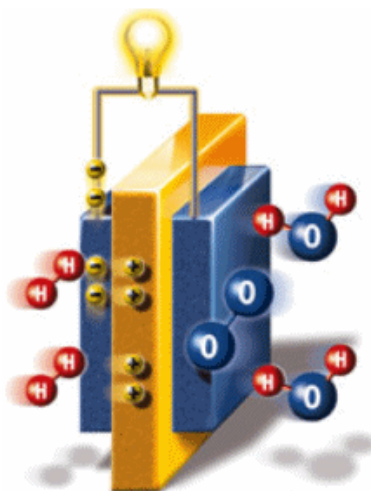
Jedná se o kodenzátory s vysokou životností pro opakované použití, které jsou díky své vysoké výkonové hustotě schopny pokrýt výkonové špičky při akceleraci a velkém zatížení. Elektrochemické akumulátory sice dosahují poměrně vysoké energetické hustoty, ale jejich výkonová hustota je velmi malá. Vysokoenergetické kondenzátory (někdy také označované jako superkondenzátory nebo zkratkou EDLC – Electric Double Layer Capacitor) uchovávají energii ve formě elektrostatické energie. Technologie výroby je rozmanitá. Existují kondenzátory na bázi keramiky, klasické svitkové nebo metalické kondenzátory s různými dielektriky pro střední frekvence do řádu  $10^5$  Hz a pro nízké a střední frekvence a pro nízké frekvence jsou to elektrolytické nebo tantalové kondenzátory. Princip jejich funkce je založen na využití vlastností elektrické dvojvrstvy. Mezi elektrodami z porézního uhlíku je tekutý nebo gelový elektrolyt, kde porézní uhlík zajišťuje extrémně velký měrný povrch a zaručuje velmi nízký odpor přírodních elektrod. Tím je zaručena vysoká rychlost nabíjecího a vybíjecího provozu, současně s nízkými ohmickými ztrátami za provozu. Průrazné napětí elektrické dvojvrstvy je velmi nízké, takže typické napětí superkondenzátorové buňky nepřesahuje 2,3 V.

Pro průmyslové aplikace bývají typické sérioparalelní kombinace základních buněk. Některé firmy jako Siemens, Maxwell a jiné vyrábějí sérioparalelní kombinace jako jeden mechanický celek. V současné jsou dostupné superkondenzátory dosahující energetické hustoty 15 Wh/kg při výkonové hustotě 4 kW/kg. To jsou hodnoty dokazující oprávněné uplatnění vysokoenergetických kondenzátorů jako nosičů energie hybridních automobilů. Světové prvenství v zavádění těchto nosičů energie u osobních automobilů má Japonsko.

### **4.2.4 Palivové články**

Palivový článek je elektrochemické zařízení, uskutečňující přímou přeměnu chemické energie vodíku a kyslíku na energii elektrickou, vodu a teplo. Tato přeměna se děje katalytickými reakcemi na elektrodách a je v podstatě založena na obráceném principu elektrolýzy vody. Palivový článek se skládá z elektrolytu, elektrod a elektrického okruhu. Elektrolyt musí být iontově vodivý, v našem případě se jedná o proton vodič. Pro elektrický proud musí být dielektrikem, elektrony tedy propouštět nesmí. Vodík je přiváděn k anodě, na které se katalyticky štěpí na protony a elektrony. Protony přechází elektrolytem ke katodě, zatímco uvolněné elektrony přechází vnějším vedením a produkují elektrický proud. Ke katodě je přiváděn kyslík, který zde katalyticky reaguje s prostoupenými protony a elektrony za vzniku vody. Na obou elektrodách vzniká potenciální rozdíl kolem jednoho

voltu, který při zatížení článku poklesne obvykle na hodnoty 0,5 – 0,8 V. Aby bylo dosaženo potřebného vyššího napětí, jsou desítky cel sériově uspořádány do jednotlivých svazků stavebnicovým způsobem. Jednotlivé svazky mohou být opět libovolně propojovány sériově nebo paralelně podle požadavků na výstupní napětí a proud. Palivem do palivových článků může být vodík v plynném nebo kapalném stavu, dále nepřímá, vodík obsahující paliva. Z nich je vodík uvolňován tzv. reformovacím procesem. Mezi nejvýznamnější nepřímé zdroje vodíku patří zemní plyn, metan, propan a metanol, případně etanol.



Obr 4.6 – schéma principu palivového článku [23]

Nevýhodou použití palivového článku pro pohon vozidel je ztráta účinnosti při vysokém zatížení. Proto se uvažuje o hybridním uspořádání pohonu, obecně v kombinaci spalovací motor/alternátor – palivový článek – elektrochemický akumulátor – trakční elektromotor, pravděpodobná jsou uspořádání jen s jedním transformátorem zařazeným za zdrojem trakční energie. Akumulovaná energie přispěje ke krytí potřebných výkonových špiček, přičemž spalovací motor by byl zmenšen a palivový článek dimenzován na optimální velikost, zajišťující vysokou účinnost při provozu na plné vytížení.

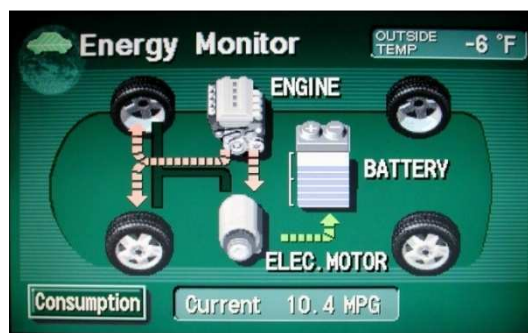
### 4.3 Řídicí jednotka

Centrální řízení a hlídání jízdních funkcí je odvozeno od tzv. řízení jízdy. Úkolem této řídicí elektroniky je rozdělení výkonu od výrobní strany (generátor, akumulátor) na spotřebiče (poháněcí motory, nabíjení akumulátoru) za všech jízdních situací. To se děje s ohledem na přání řidiče na aktuálně použitelný výkon v hranicích výkonu agregátů poháněcího systému. Podle požadavků a s ohledem na bezpečnost ve vozidle přebírá řídicí jednotka funkci kontroly vzhledem k aktuálním informacím o jízdě i s ohledem na zvláštní bezpečnostní funkce při kritických stavech. Pro poháněcí motor aktuálně vypočítané zrychlení, případně brzdny moment je přenášen elektronikou přes výkonový stupeň na elektromotor. Systém řízení musí zohledňovat i další přídatné funkce, jako ABS, ASR, regulaci jízdní stability a další. Vzhledem k nutnosti odvedení ztrátového tepla (2 až 3 kW pro přenášený výkon 50 kW) je nutné kapalinové chlazení řídicí jednotky. Automatická regulace celého systému pohonu a vyřešení komplexního působení jednotlivých prvků zůstávají největšími technickými problémy.

Funkci řídicí jednotky je možno demonstrovat například na řízení jízdy Toyoty Prius II. Celkové řízení pohonných jednotek je možné rozdělit do pěti fází:

- a) Rozjezd, pomalá jízda, apod. Spalovací motor je vypnutý, protože by běžel v nevhodném režimu. Vozidlo pohání jen elektromotor.
- b) Normální jízda. Výkon motoru pohání, pomocí rozdělovacího soukolí, kola vozu a také generátor, který dodává proud elektromotoru. Dělení výkonu se reguluje tak, aby účinnost celé soustavy byla co nejvyšší.
- c) Plná akcelerace. Při plném sešlápnutí plynového pedálu pohání vozidlo oba motory. Elektromotoru dodávají proud i baterie.
- d) Decelerace a brzdění. Kinetická energie vozidla je využita k pohonu elektromotoru/generátoru, který dobíjí baterie.
- e) Dobíjení baterií. Poklesne-li napětí baterií, začnou se dobíjet proudem z generátoru.

O okamžitém stavu řízení pohonných jednotek je řidič informován pomocí displeje.



Obr. 4.7 – informační displej Toyoty Prius II [12]

#### 4.4 Převodová ústrojí

U většiny starších hybridních vozidel jsou použity poloautomatické převodovky, u nichž je k přepínání z elektromotorického pohonu na pohon spalovacím motorem použito spojky, nebo také automatického elektrického přepínače. S plynulou převodovkou může spalovací motor běžet stále v nízkém rozsahu otáček a při vysokém výkonu v optimálním provozním rozsahu. Pro paralelní strukturu hybridního pohonu se zavádí převodovky planetové. Jsou složeny nejméně ze tří ozubených kol, z nichž je jedno uspořádáno ve středu, druhé kolo krouží a je rovněž ve styku s vnějším kolem s vnitřním ozubením. Jsou-li dva tyto členy poháněny, odvádí poslední pohyb s pevným převodem. Pro sčítání momentu jsou použity převody s čelním ozubením.





Obr. 4.8 – planetový převod Toyota Prius II [24]



Obr. 4.9 – řez převodovou skříní Toyota Prius II [25]

## 5. Srovnání současných hybridních vozů

V této kapitole jsou uvedeny současně vyráběné osobní automobily využívající hybridního pohonu a jejich specifikace. Jsou zde uvedeny informace o použitém spalovacím motoru a převodovce, spotřebě vozidla, množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> v tunách za rok a o užitém prostoru.





	2007 Honda Accord Hybrid	2007 Honda Civic Hybrid	2007 Lexus GS 450h	2007 Nissan Altima Hybrid
				
Objem motoru	3000 cm <sup>3</sup>	1300 cm <sup>3</sup>	3500 cm <sup>3</sup>	2500 cm <sup>3</sup>
Počet válců	6	4	6	4
Převodovka	automatická 5-ti stupňová	automatická(CVT)	automatická(S6)	automatická(CVT)
Náhon	přední kola	přední kola	zadní kola	přední kola
Spotřeba (město)	8,4 l /100 km	4,8 l /100 km	9,4 l /100 km	5,6 l /100 km
Spotřeba (mimo město)	6,7 l /100 km	4,6 l /100 km	8,4 l /100 km	6,5 l /100 km
Spotřeba (kombinovaná)	7,6 l /100 km	4,7 l /100 km	9 l /100 km	6 l /100 km
Tvorba CO <sub>2</sub>	6,8 tun/rok	4,4 tun/rok	8 tun/rok	4,7 tun/rok
Objem nádrže	64,7 l	46,6 l	65,1 l	75,7 l
Dojezd na 1 nádrž	767,5 km	891,4 km	646,8 km	1130 km
Vnitřní prostor	2915 l	2577 l	2775 l	2860 l
Objem zavazadelníku	311,5 l	283,2 l	226,5 l	283,2 l

Tab. 5.1 – srovnání osobních vozů s hybridním pohonem I [26]

	2007 Saturn Aura Hybrid	2007 Toyota Camry Hybrid	2007 Toyota Prius
			
Objem spalovacího motoru	2400 cm <sup>3</sup>	2400 cm <sup>3</sup>	1500 cm <sup>3</sup>
Počet válců	4	4	4
Převodovka	automatická(CVT)	automatická(CVT)	automatická(CVT)
Náhon	přední kola	přední kola	přední kola
Spotřeba (město)	8,4 l /100 km	5,9 l /100 km	3,9 l /100 km
Spotřeba (mimo město)	6,7 l /100 km	6,2 l /100 km	4,6 l /100 km
Spotřeba (kombinovaná)	7,8 l /100 km	6 l /100 km	4,3 l /100 km
Tvorba CO <sub>2</sub>	6 tun/rok	4,8 tun/rok	3,4 tun/rok
Objem nádrže	62 l	65,1 l	45 l
Dojezd na 1 nádrž	712,9 km	972 km	947,9 km
Vnitřní prostor	NA	2858 l	2717 l
Objem zavazadelníku	NA	311,3 l	452,8 l

Tab. 5.2 – srovnání osobních vozů s hybridním pohonem II [26]

kategorie SUV

	2007 Ford Escape Hybrid	2007 Lexus RX 400h	2007 Mercury Mariner Hybrid	2007 Toyota Highlander hybrid
				
Objem motoru	2300 cm <sup>3</sup>	3300 cm <sup>3</sup>	2300 cm <sup>3</sup>	3300 cm <sup>3</sup>
Počet válců	4	6	4	6
Převodovka	automatická(CVT)	automatická(CVT)	automatická(CVT)	automatická(CVT)
Náhon	všechna kola	všechna kola	všechna kola	všechna kola
Spotřeba (město)	7,35 l /100 km	7,6 l /100 km	7,35 l /100 km	7,6 l /100 km
Spotřeba (mimo město)	8,1 l /100 km	8,7 l /100 km	8,1 l /100 km	8,7 l /100 km
Spotřeba (kombinovaná)	7,6 l /100 km	8,1 l /100 km	7,6 l /100 km	8,1 l /100 km
Tvorba CO <sub>2</sub>	6 tun/rok	6,4 tun/rok	6 tun/rok	6,4 tun/rok
Objem nádrže	57 l	65,1 l	57 l	65,1 l

Tab. 5.3 – srovnání vozů kategorie SUV s hybridním pohonem [26]

## **6. Závěr**

Na automobilový průmysl je neustále zvyšován tlak na zavádění vozidel s nulovými výfukovými emisemi. Konstrukci takového vozidla však brání současná akumulátorová technika, která dosud nedosáhla potřebné úrovně. Jedním z možných řešení je použití hybridního pohonu, tedy použití více pohonných zdrojů, což při jejich vhodné kombinaci tvorbu výfukových emisí výrazně redukuje. Nevýhodou hybridních pohonů je však jejich větší konstrukční složitost, způsobená použitím dvou v podstatě kompletních pohonných systémů. Důsledkem je jak větší pravděpodobnost technické poruchy, tak značné zvýšení hmotnosti vozidla a nakonec i zvýšené výrobní náklady. Přesto se hybridní systémy jeví jako jedno z nejvhodnějších řešení konstrukce osobních automobilů do doby, než bude technicky možná výroba automobilů s emisemi nulovými. Nevýhodu vyšších pořizovacích nákladů hybridních vozů se dnes mnoho vyspělých zemí snaží z ekologických důvodů kompenzovat různými formami daňových úlev, finančních příspěvků či jiným zvýhodněním majitelů hybridních vozů.

## Seznam použitých obrázků a tabulek

### Obrázky

Obr. 1.1	odhadované zásoby fosilních paliv .....	9
Obr. 2.1	automobil Mixte .....	10
Obr. 2.2	automobil Dual Power .....	10
Obr. 2.3	Victor Wouk a jeho hybridní Buick Skylark .....	11
Obr. 2.4	hybridní Opel GT .....	11
Obr. 2.5	Audi duo III.generace .....	12
Obr. 2.6	Toyota Prius 1.generace .....	12
Obr. 2.7	Honda Insight .....	12
Obr. 3.1	sériové, paralelní a smíšené uspořádání hybridních pohonů .....	13
Obr. 3.2	sériové uspořádání hybridních pohonů .....	14
Obr. 3.3	Volvo ECC .....	15
Obr. 3.4	paralelní uspořádání hybridních pohonů .....	15
Obr. 3.5	VW Golf TDI Hybrid .....	16
Obr. 3.6	smíšené uspořádání hybridních pohonů .....	17
Obr. 3.7	planetová převodovka E-CVT .....	17
Obr. 3.8	Toyota Prius II. Generace .....	18
Obr. 3.9	charakteristiky elektromotoru Toyoty Prius .....	19
Obr. 3.10	charakteristiky hybridního pohonu Toyoty Prius .....	19
Obr. 3.11	Chrysler Turbine Car 1963 .....	20
Obr. 3.12	hybridní systém ETH Hybrid III .....	21
Obr. 3.13	startér Bosch BMW řady 1 .....	21
Obr. 3.14	pohonná jednotka vozu Honda Insight .....	22
Obr. 4.1	pohonná jednotka vozu Honda Civic Hybrid .....	24
Obr. 4.2	synchronní elektromotor s permanentním buzením Toyoty Prius .....	25
Obr. 4.3	Srovnání energetické a výkonové hustoty zásobníků a zdrojů energie .....	26
Obr. 4.4	olověný akumulátor se spirální technologií .....	27
Obr. 4.5	Ni-MH akumulátor Toyoty Prius II .....	28
Obr. 4.6	schéma principu palivového článku .....	30
Obr. 4.7	informační displej Toyoty Prius II .....	31
Obr. 4.8	planetový převod Toyoty Prius II .....	32
Obr. 4.9	řez převodovou skříní Toyoty Prius II .....	32

### Tabulky

Tab. 5.1	srovnání osobních vozů s hybridním pohonem I .....	33
Tab. 5.2	srovnání osobních vozů s hybridním pohonem II .....	34
Tab. 5.3	srovnání vozů kategorie SUV s hybridním pohonem .....	34

## Seznam použité literatury

- [1] VLK, F.: *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc. 1. vydání, 2004. ISBN 80-239-1602-5
- [2] KAMEŠ J.: *Alternativní pohony automobilů*. BEN – Technická literatura, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
- [3] VLK, F.: *Koncepce motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000. ISBN 80-238-5276-0
- [4] BOSCH : *Kraftfahr technisches taschenbuch*. VDI-Verlag, Düsseldorf 1993. ISBN 3-18-419114-1

## Internetové stránky

- [5] <http://www.7gen.com/article-summary/hybrid-electric>
- [6] <http://www.petersen.org>
- [7] <http://www.wired.com/science/discoveries>
- [8] <http://www.motherearthnews.com/Renewable-Energy>
- [9] <http://www.metricmind.com/photo.htm>
- [10] <http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-history>
- [11] <http://estore.honda.com>
- [12] <http://www.hybrid.cz>
- [13] <http://www.autoblog.com.es>
- [14] <http://www.autobloggreen.com>
- [15] <http://www.evworld.com>
- [16] <http://www.autorevue.cz>
- [17] <http://www.familycar.com/Classics/ChryslerTurboCar.htm>
- [18] <http://www.imrt.ethz.ch>
- [19] <http://www.automotorevue.cz/auto/clanek/1463/start-stop>
- [20] <http://www.theautochannel.com>
- [21] <http://www.johnsoncontrols.com>
- [22] <http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-battery-pack>
- [23] <http://www.enviros.cz>
- [24] <http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-transmission>
- [25] <http://www.privatenrg.com>
- [26] <http://www.fueleconomy.gov>