

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Hybridní pohony silničních vozidel

Bakalářská práce

Autor práce:

Štěpán Pícha

Vedoucí práce:

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Praha 2017

Čestné prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: "**Hybridní pohony silničních vozidel**" vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.*

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne: 30. 3. 2017

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval mému školiteli Ing. Jakubu Maříkovi, Ph.D. za odborné vedení a podnětné rady k vypracování mé bakalářské práce.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Pícha

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Hybridní pohony silničních vozidel

Název anglicky

Hybrid drives of road vehicles

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se hybridními pohony dopravních vozidel

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti hybridních pohonů dopravních vozidel
- vlastní rozbor problematiky hybridních pohonů dopravních vozidel
- předpokládaný vývoj v oblasti hybridních pohonů dopravních vozidel

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran formátu A4

Klíčová slova

hybridní pohon, bateriový článek, elektromotor, rekuperace

Doporučené zdroje informací

- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA, – HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.
- HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- KAMEŠ, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA AUTOMOBILŮ A TRAKTORŮ. *Speciální motorová vozidla : část: spalovací motory*. [Praha]: Česká zemědělská univerzita, 2010. ISBN 978-80-213-2337-7.
- M.F. M. Sabri et al., A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 53, 2016
- VLK, F. *Koncepce motorových vozidel : koncepce vozidel, alternativní pohony, komfortní systémy, řízení dynamiky, informační systémy*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 02. 2017

Abstrakt:

Vývoj hybridních vozidel je výsledkem snah o snižování emisí skleníkových plynů, snižování nákladů, ale i dalších nežádoucích produktů dopravy (kyslíčků dusíku, síry, pevných částic, hluku, vibrací a dalších). Jedna z cest je vývoj hybridních vozidel kombinujících elektrický a klasický spalovací motor. Na tomto principu byly vyvinuty různě komplikované systémy označované jako micro, mild, full a plug-in hybridy. Výkon hybridní pohonné jednotky je dále přenášen na vozidlo pomocí sériového nebo paralelního hnacího systému, případně kombinace obou. V práci jsou uvedeny základní technická řešení pohonných jednotek a systémů. Dále jsou uvedeny příklady automobilů s jednotlivými typy hybridních pohonů. Je provedeno srovnání ekonomické rentability vozidel s konvenčním a hybridním pohonem a diskutovány další výhody a nevýhody těchto pohonných systémů.

Klíčová slova:

Hybridní pohon; bateriový článek; elektromotor; rekuperace

Hybrid drives of road vehicles**Abstract:**

Development of hybrid vehicles is a result of efforts to minimize greenhouse gas emissions, transportation costs, and others negative side effects of transport (oxides of carbon, sulfur, nitrogen, solid particles, noise, vibrations and others). One of the possibilities to solve this problem is using of hybrid drivetrain vehicles that combine electrical and conventional combustion engines. Different drivetrain systems were developed on this principle, they are called micro, mild, full and plug-in hybrids. The propulsive power is next transferred by serial, parallel propulsion or by combination both of them on gear and wheels. The basic technical attitudes to the construction of these drivetrain units and mechanisms are summarized in this bachelor thesis next to the examples of commercial products using different types of propulsion. The conventional and hybrid vehicles operating cost-effectiveness comparison is presented together with the others advantages and disadvantages of these drivetrain mechanisms.

Key words:

Hybrid drivetrain; battery cell; electromotor; recuperation

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Hlavní souvislosti problematiky.....	1
1.2 Hlavní hybné momenty problematiky.....	2
2 Cíl a metodika.....	6
2.1 Zvažovaná rizika studie.....	6
2.2 Předpokládané výsledky.....	7
3 Hlavní druhy pohonných jednotek -motorů	7
3.1 Dvoudobý a čtyřdobý spalovací motor (na kapalné uhlovodíky)	7
3.2 Spalovací motory speciální konstrukce.....	7
3.3 Motory na plynná paliva	8
3.4 Elektrický pohon	8
3.5 Další druhy pohonu.....	9
4 Bateriové systémy a zásobníky energie	10
5 Hybridní systémy pohonu.....	13
6 Uspořádání hybridních pohonů a stupně hybridizace.	15
6.1 Posuzování stupně hybridizace	16
7 Rozdělení hybridních systémů	17
7.1 Rozdělení výkonu mezi jednotlivými zdroji pohonu	18
7.2 Operační schémata hybridního systému	19
8 Systémy pohonu hybridních vozidel.....	20
9 Třídy hybridních vozidel	26
9.1 Plug-in hybrid	26
9.1.1 Toyota Prius Prime.....	27
9.1.2 Chevrolet Volt 2011/2012.....	32

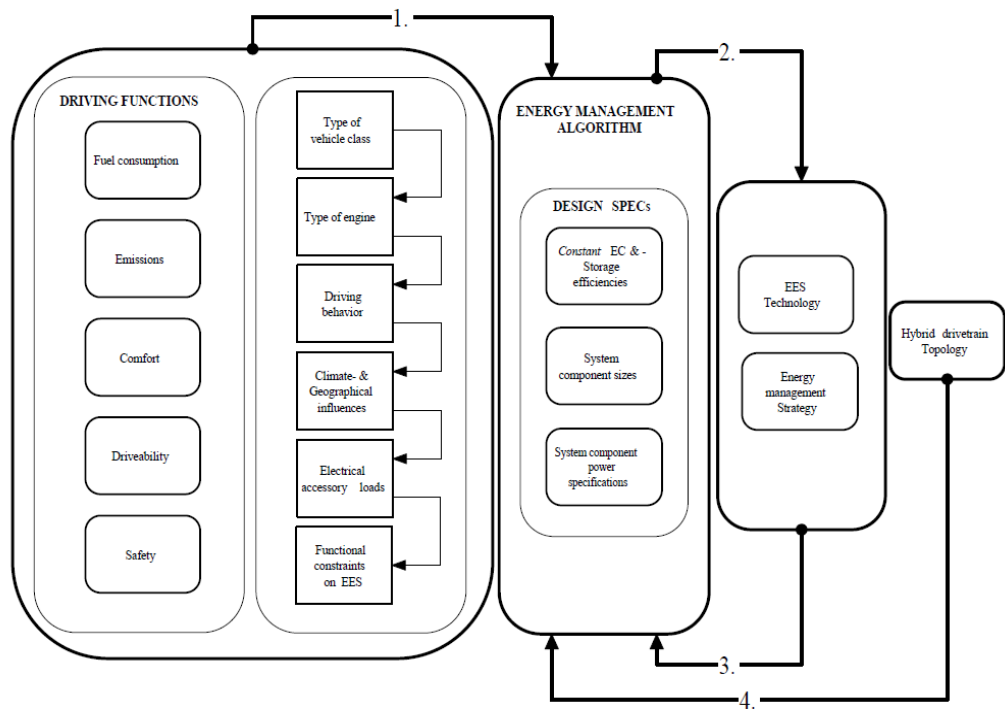
9.1.3	<i>Další vozy s plug-in pohonem</i>	33
9.2	<i>Full hybrid</i>	34
9.2.1	<i>Nissan Altima</i>	34
9.3	<i>Mild hybrid</i>	35
9.3.1	<i>Honda Insight</i>	35
9.4	<i>Mikro hybridy - start-stop systém</i>	36
10	<i>Ekonomika hybridního pohonu</i>	37
10.1	<i>Ekonomická návratnost spotřeby paliva</i>	37
10.2	<i>Další ekonomické aspekty hybridního pohonu</i>	38
11	<i>Závěr</i>	38
12	<i>Seznam literatury</i>	41
13	<i>Seznam zkratk</i>	45
14	<i>Seznam grafů</i>	46
15	<i>Seznam obrázků</i>	47
16	<i>Seznam tabulek</i>	49

1 Úvod

Smyslem této bakalářské práce je provést stručný přehled systémů hybridních pohonů automobilů. Práce se sestává mimo jiné ze základního přehledu příčin vývoje těchto zařízení, popisu jejich základních komponent a z jednoduchého přehledu uspořádání v hnacích jednotkách automobilů. Je učiněn pokus o shrnutí hlavních výhod a nevýhod těchto systémů a jejich rentability.

1.1 Hlavní souvislosti problematiky

Původní význam řeckého slova *hybris* je značně vzdáleno od nynějšího používání - znamenalo drzé, vyzývavé jednání, které si vynucovalo odplatu bohů. Od něj odvozené *hybrizó* - překračuji hranice - se již více blíží modernímu pojetí. V technice a kontextu této práce má význam kombinovaný, složený z více komponent s rozdílnou podstatou. Vývoj hybridních pohonů je motivován mnoha faktory, přesto lze vyčlenit tři hlavní motivy: ekologické, technické a ekonomické. Jsou mezi sebou vzájemně propojeny, jak je vidět na následující obrázku (Obr. 1).

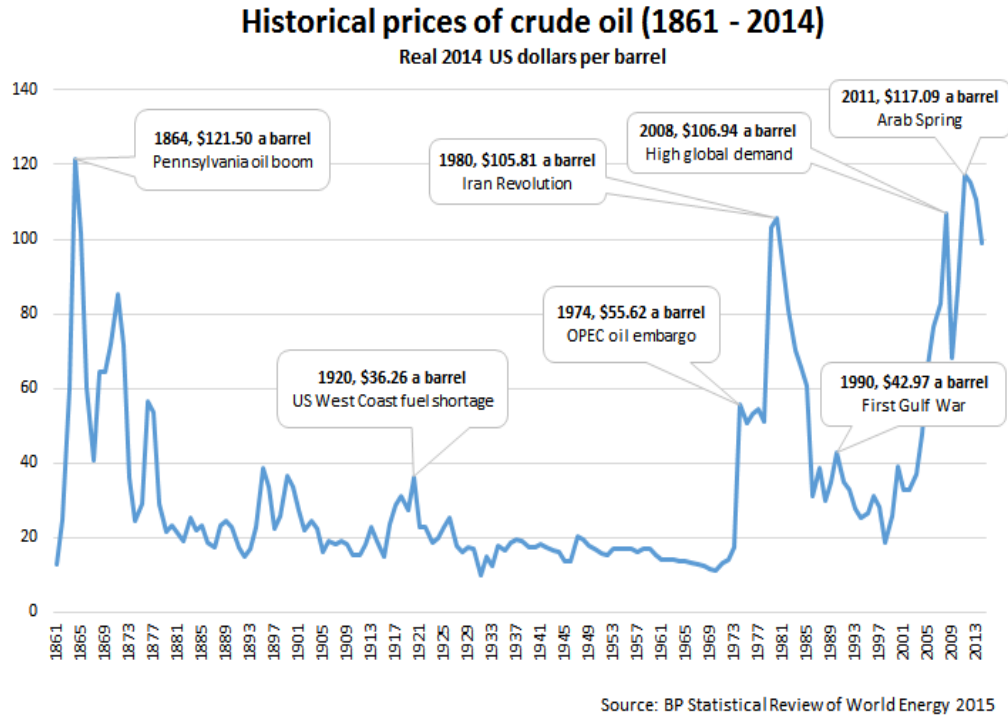


Obr. 1 Některé hlavní faktory zvažované při vývoji hybridních pohonů vozidel. EC (energy conversion components) - komponenty transformace energie; EEC (energy exchange system) - systém výměny energie [1]

Hlavními hnacími motivy vývoje jsou nepochybně spotřeba paliva - úzce související s ekonomikou provozu, obsah emisí ve výfukových plynech, komfort jízdní a servisní, jízdní vlastnosti a provozní bezpečnost.

1.2 Hlavní hybné momenty problematiky

Ceny ropy a ropných produktů jsou zdrojem velkého tlaku na vývoj nových technologií. Historický vývoj cen je uveden na grafu (Graf 1).

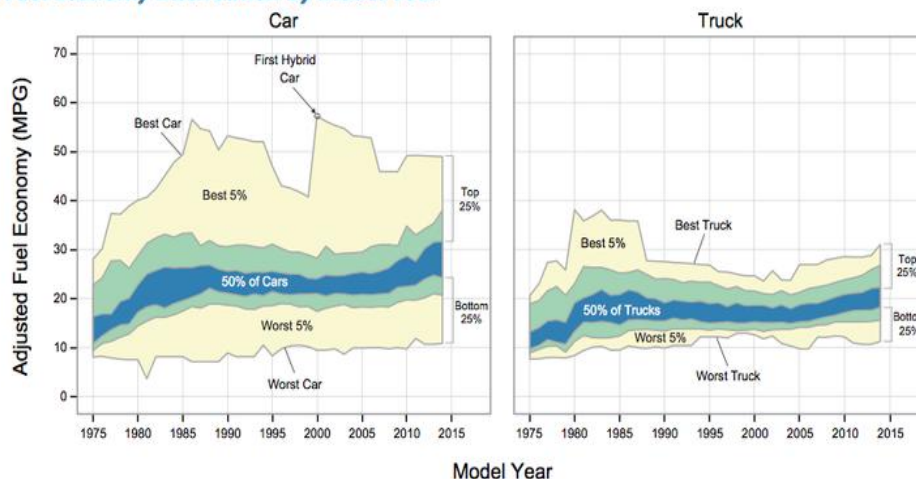


Graf 1 Historický vývoj cen ropy 1861-2014 [2].

Kromě náhlého přechodného vzestupu cen v 70. letech, je patrný rychlý a zásadní vzestup po roce 2000. Aktuální cena za barel (Brent) činí v současnosti (12/2016) 53,88 \$ [3].

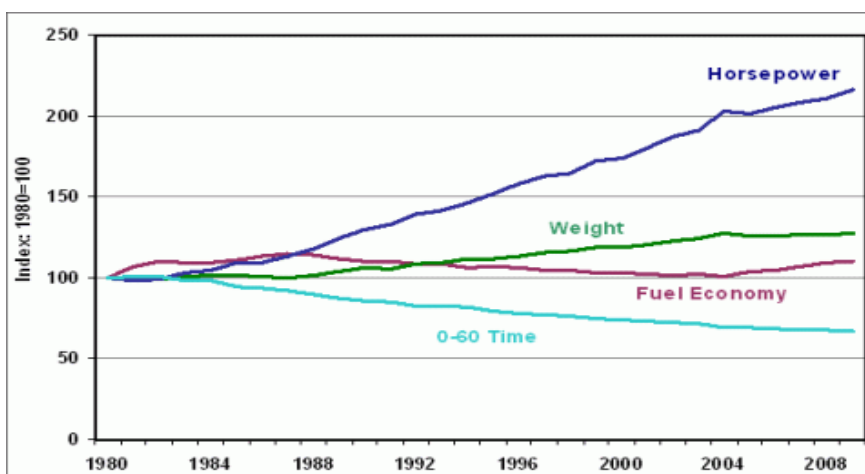
Spotřeba paliva (přepočítávaná obvykle na 100 km jízdy) je dalším podstatným faktorem. Přehledný údaj o průměrné spotřebě osobních a nákladních automobilů je na grafu (Graf 2).

Adjusted Fuel Economy Distribution by Model Year



Graf 2 Vývoj přepočítané spotřeby paliva osobních a nákladních automobilů (24,1 mpg = 9,76 l/100 km; mpg - mil/galon) [4]

Z grafů je patrné, že k hlavnímu vzestupu spotřeby paliva automobilů došlo během 70. a poloviny 80. let. Přes markantní zvyšování výkonu motorů automobilů v dalších letech se průměrná spotřeba paliva prakticky nezvyšovala. Bylo to umožněno částečně poměrně stabilními cenami ropy (Graf 1) a také později postupnými technickými vylepšeními. Podobná závislost je patrná i v grafu (Graf 3), který ukazuje velmi vyrovnané hodnoty hmotnosti, ekonomie spotřeby paliva a zrychlení, přičemž výkon motoru stoupal více než dvojnásobně.

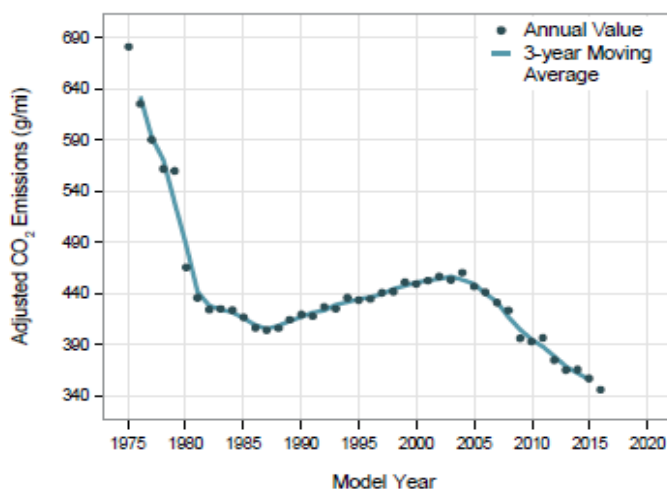


Graf 3 Vývojové trendy výkonu, hmotnosti, spotřeby paliva a zrychlení lehkých vozidel v letech 1980-2008 [5]

Faktory ovlivňující negativně životní prostředí jsou další hnací silou technického vývoje v oblasti pohonu dopravních prostředků. Tání ledovců, změny podnebí ovlivňující zemědělství, narůstající teplota moří, to je jen několik příkladů.

Doprava znečišťuje životní prostředí mnoha způsoby. Jedná se nejen o znečištění pocházející z primární výroby dopravních prostředků, ale dále o znečištění způsobené jejich provozem. Zde jsou v popředí zejména produkce chemických látek (CO₂, oxidů dusíku, síry, uhlovodíků, těžkých kovů), dále pevných částic, tepla apod. (Graf 4).

Adjusted CO₂ Emissions by Model Year



*Graf 4 Produkce CO₂ v letech 1975-2016 v USA. * roční průměr, - tříletý klouzavý průměr [4].*

Ekonomie dopravy respektive spotřeba pohonných hmot je úzce spojena s produkcí skleníkových plynů a dalších látek znečišťujících životní prostředí. Tento faktor je zásadně ovlivněn řadou technických parametrů vozidel, k hlavním patří například:

- valivý odpor kol
- odpor vzduchu
- odpor převodových ústrojí
- složení pohonných hmot (benzín, nafta, etanol, ...)
- technika jízdy
- účinnost hnacího zařízení

Posledně jmenovaný faktor je hlavním středem zájmu této práce. V celé historii automobilového průmyslu byla vyvinuta extrémní snaha, aby účinnost motoru byla maximální. Bohužel ze samotného principu spalovacího motoru vyplývá jeho relativně nízká efektivita (v porovnání např. s elektromotorem). Zásahy zvyšující účinnost se však během doby stávají stále více komplikované a tak vzrůstající ceny ropy spolu s "vyčerpáváním" ekonomicky přijatelných technických konstrukčních zásahů vyvíjejí tlak na nová řešení problému.

2 Cíl a metodika

Cílem práce bylo vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se hybridními pohony dopravních vozidel.

Metodika:

- prostudovat základní literaturu v oblasti hybridních pohonů dopravních vozidel
- vlastní rozbor problematiky hybridních pohonů dopravních vozidel
- předpokládaný vývoj v oblasti hybridních pohonů dopravních vozidel

2.1 Zvažovaná rizika studie

Vzhledem k rozsahu a cílům studie bylo zapotřebí použít více informačních zdrojů. Byly použity české publikace jak knižní, tak dostupné bakalářské práce. Bohužel vnitrostátní literatura je pro danou tematiku, co do rozsahu, nedostačující, mnohdy neaktuální, často v konkrétní oblasti chybí informace úplně. Z tohoto důvodu byly do rešerše zařazeny také práce zahraniční, které byly podstatně recentnější. Je ovšem zapotřebí vzít v úvahu, že se jednalo především o studie, které byly dostupné na internetu. Tímto způsobem mohlo dojít k neúplnému, možná i jednostrannému výběru. Byla snaha tento hendikep vyvážit zařazením více prací menšího rozsahu, jejichž informace byly mezi sebou korelovány. Obsah sdělení v některých zdrojích mohl být zatížen jednostranným přístupem, například tam, kde se jednalo o firemní nebo komerční prezentace (například informace o automobilech, cenách apod.).

2.2 Předpokládané výsledky

S ohledem na východiska a možnosti studie lze očekávat základní přehled o trendech, které mají vliv na vývoj ekonomicky respektive energeticky úspornějších pohonů automobilů. Přitom hlavní těžiště studie je zaměřeno na současnou situaci, která řeší hybridní pohonné jednotky, jejich rozdělení, uspořádání v hnací soustavě vozidla a ekonomiku. Hlavní získané poznatky jsou porovnány a diskutovány.

3 Hlavní druhy pohonných jednotek - motorů

3.1 Dvoudobý a čtyřdobý spalovací motor (na kapalné uhlovodíky)

Jedná se o nejčastější pohonné jednotky vozidel, jsou používány i v mnoha dalších aplikacích (malá mechanizace apod.). Z hlediska poměru cena/výkon jde o dosud nejefektivnější řešení. Existují v mnoha variantách [6], z nichž nejčastější jsou:

dvoudobý a čtyřdobý zážehový motor - nejčastěji používaný u automobilů a další mechanizace

čtyřdobý vznětový motor - používaný u většiny nákladních automobilů

dvoudobý vznětový motor - speciální lodní motory

3.2 Spalovací motory speciální konstrukce

Spalovací turbína - v dvouřídlovém uspořádání (výstupní turbína se skládá ze dvou turbín, jedna slouží k pohonu plicního kompresoru a druhá k pohonu zařízení) má v porovnání s klasickým pístovým motorem řadu výhod - např. příznivý průběh točivého momentu, menší vibrace a další. Je používána především u letadel, lodí, vlaků a speciálních vozidel.

Stirlingův motor - používá se většinou na speciální účely (čerpadla, výroba elektřiny, tam kde je přebytek tepelné energie, ...).

Wankelův motor je jediným zástupcem řady prototypů motorů s rotačním pohybem pístu. Přes počáteční optimismus se sériově prakticky nevyužívá (dříve NSU, Mazda).

3.3 *Motory na plynná paliva*

Historicky byla používána k pohonu motorů řada plynů, nejčastěji svítiplyn a zemní plyn, ale také byl používán důlní plyn (metan), dřevoplyn, kalový plyn, generátorový plyn, vysokopecní plyn, acetylén, vodík a další plyny. V současné době jsou nejčastěji využívány propan-butan (LPG; liquified petroleum gas) a zemní plyn (CNG; compressed natural gas). Okrajově se využívá vodík, minimálně bioplyn.

3.4 *Elektrický pohon*

Automobily poháněné elektřinou byly na přelomu 18. a 19. století celkem "běžnou" záležitostí. Ing. Křižík postavil první elektromobil o výkonu 3,6 kW v roce 1895 a v roce 1900 bylo v USA vyráběno o 1/3 více automobilů poháněných elektromotorem, než spalovacím motorem. Oceňována byla především jednoduchost obsluhy a odpadlo startování na kliku. Situace se změnila až po uvedení Fordova modelu "T", který jednoduchostí, nízkou cenou a spolehlivostí vytlačil elektromotor jako pohonnou jednotku na dlouhou dobu ze hry.

Elektromotor pro trakční pohony musí mít některé vhodné vlastnosti. Jedná se zejména o hodnotu hybného momentu, méně o celkový výkon. Důležitá je kompaktnost stavby, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, udržovací náklady a pochopitelně cena [6], [7].

Stejnoseměrný motor s cizím buzením vykazuje zvláště výhodnou charakteristiku v tahu, jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu a kontinuální přechod z jízdy na brzdění. Tento typ motorů je možno použít v zapojení *sériovém*, *paralelním* a *kompaundním* (sériovo-paralelní zapojení budícího vinutí).

Stejnoseměrný motor bez kartáčů má v porovnání s konvenčním permanentně buzeným stejnoseměrným motorem vyměněné pozice rotoru a statoru. Výroba je poněkud dražší, ale jedná o perspektivní pohonný systém.

Motory na střídavý proud vytlačují stále více stejnoseměrné motory. Podle toho, zda se rotor otáčí synchronně s točivým magnetickým polem nebo asynchronně, existují motory synchronní a asynchronní.

Asynchronní motor má tu výhodu, že odpadá vinutí kotvy a kolektor. Avšak při použití v pohonu automobilů je nutno přeměnit stejnoseměrný proud na střídavý, což se děje

elektronicky (např. tyristorem). Protože je k regulaci zapotřebí proměnné frekvence i napětí, je výkonový obvod nákladný. *Výhodou* asynchronního motoru proti stejnosměrnému je, že je menší a lehčí, konstrukčně jednodušší, robustní, bezúdržbový, silně přetížitelný a maximální otáčky jsou až 20000/min. *Nevýhodou* je především nákladné řízení a tím i cena.

3.5 Další druhy pohonu

Palivové články jsou elektrochemická zařízení, která přeměňují elektrickou energii v palivu oxidačně-redukční reakcí přímo na elektřinu. Palivem je nejčastěji vodík, ale testují se i jiná paliva [8]:

Fotovoltaické články konvertují sluneční záření přímo na elektrickou energii. Fotovoltaika je rychle se rozvíjející obor, který má již své místo v elektrárenství. Průmyslově nejrozšířenější jsou fotovoltaické články na bázi křemíku (monokrystalického, polykrystalického a amorfního)[9].

V automobilovém průmyslu je fotovoltaický zdroj energie používán pouze v experimentálních podmínkách (Obr. 2).



Obr. 2 Prototyp solárního vozu značky Honda [10]

Lidská síla je snadno dostupným, ale málo komfortním zdrojem pohonu vozidel. Příklad v hybridním uspořádání s lithiovými bateriemi je na obrázku (Obr. 3).



Obr. 3 Sinclair X-1 - elektroskútr nebo elektrokolo? [11]

4 Bateriové systémy a zásobníky energie

Důležitou komponentou hybridních pohonných systémů jsou zásobníky energie. Slouží jako "skladovací" energetický okruh, který umožňuje kombinování dodávky energie z a do jednotlivých pohonných systémů [6].

Galvanické články, tedy baterie, akumulátory a palivové články mění chemickou energii přímo na elektrickou. Zdrojem elektrického proudu je elektrický potenciál mezi dvěma elektrodami z různých materiálů, které jsou ponořeny do kapaliny nazvané elektrolyt. Elektrody se liší elektrochemickým potenciálem a v elektrolytu procházejí ionty z elektrody o vyšším potenciálu do opačné. Po uzavření vnějšího okruhu prochází elektrický proud. Jednotlivé články, které mají obvykle malou kapacitu a nízké napětí se sdružují do baterií.

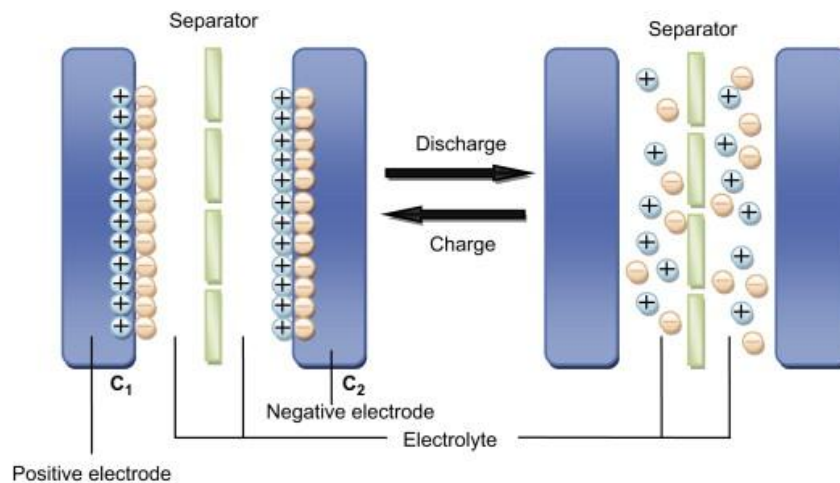
Baterie lze charakterizovat jistými základními parametry, k důležitějším patří hustota energie, výkonová hustota a životnost. Porovnání některých baterií podle těchto parametrů je v tabulce (Tabulka 1).

Typ baterie	Hustota energie		Výkonová hustota		Životnost		Cena
	Wh/kg	Wh/l	W/kg	W/l	Cyklů	Let	
Olovo	30-50	70-120	150	400	350-1000	3-5	100-150
Nikl-kadmium	40-60	80-130	80-175	180-350	Více 2000	3-10	225-350
Nikl-metal hydrid	60-80	150	200	400-500	500-1000	5-10	225-300
Sodík-niklchlorid	85-100	150-175	155	255	800-1000	5-10	225-300
Lithium-iontová	90-120	160-200	300	300	1000	5-10	275
Lithium-polymer	150	220	300	450	Více 1000	-	Méně 225
Zinek-vzduch	100-220	120-250	100	120	-	-	60
Cílové hodnoty	800-200	135-300	75-200	250-600	600-1000	5-10	90-135

Tabulka 1 Porovnání jednotlivých druhů baterií na základě některých charakteristik [7]

U hybridních pohonů lze použít stejné druhy baterií, jako u jednozdrojových systémů. Je však zapotřebí vzít v úvahu, že baterie u hybridních vozidel jsou nabíjeny a vybíjeny jednak často a jednak neúplně. V hybridních vozidlech jsou nejvíce využívány baterie metal-hydridové a lithium-iontové.

Vysokoteplotní baterie a vysokoenergetický kondenzátor - superkondenzátor jsou další potenciální a moderní možnosti skladování elektrické energie, které jsou intenzivně testovány [12]. Příklad superkondenzátoru je na obrázku (Obr. 4).

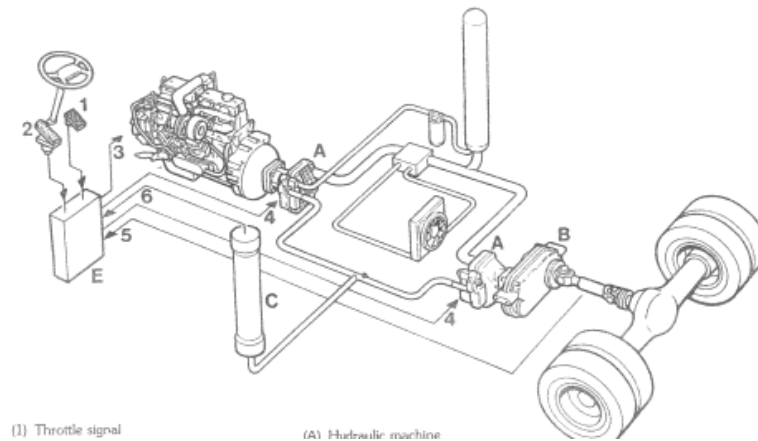


Obr. 4 Schéma superkondenzátoru a jeho uspořádání. Porous carbon electrode - porézní uhlíková elektroda; Multi layer - mnohovrstevné uspořádání [13], [14]

Mechanický akumulátor energie - setrvačnick může být akumulátorem energie, aniž by tato potřebovala k pohonu jakoukoliv transformaci. Jde o systém, na jehož vývoji se pracuje. *Vysokoobrátkový* setrvačnick se používá zejména v hybridních systémech pro přechodný či špičkový provoz. Dosud není vyřešeno mnoho problémů. Jinou modifikací je *nízkoobrátkový* setrvačnick, který pracuje jako generátor elektřiny nebo jako motor.

Hydrostatický akumulátor energie (Hydrostatic Regenerative Braking system; HRB). Pracuje na principu akumulace energie ve vysokotlakém olejovém zásobníku, když

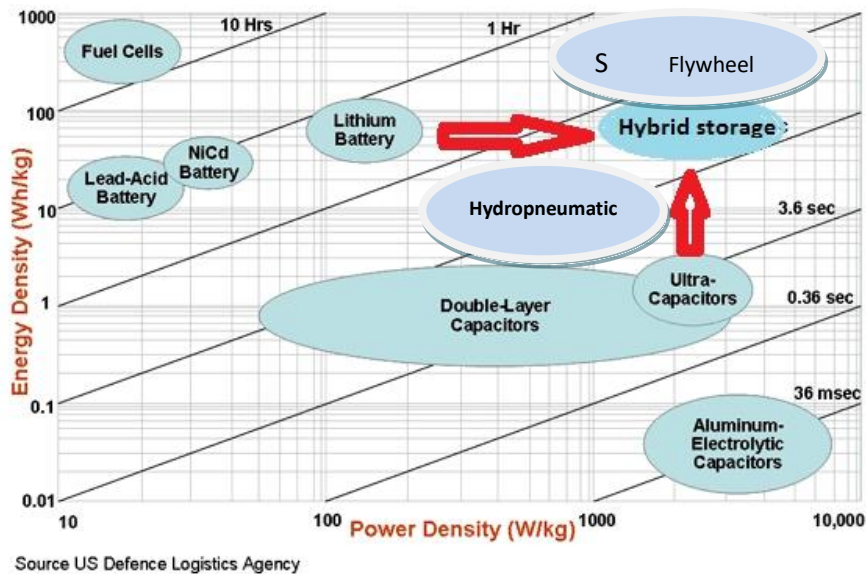
vozidlo brzdí. Během rozjezdu je tato energie využívána. Systém je využíván zejména u automobilů, které často zastavují a brzdí (rozvážka, svážení odpadků, ...) (Obr. 5) .



Obr. 5 Schéma hydrostatického hybridního pohonu nákladního automobilu; Legenda: 1) Plynový signál, 2) Brzdový signál, 3) Signál ke spuštění motoru, 4) Signál k převodovce, 5) Informace o rychlosti, 6) Informace o hydraulickém systému: a) Hydraulická pumpa, b) Hydraulický náhon, c) Kompresor, d) Zásobník hydrauliky, e) Elektronická kontrolní jednotka [15]

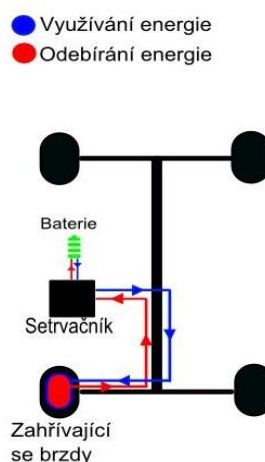
5 Hybridní systémy pohonu

Jaký druh energie tedy může být použit k pohonu vozidla? Na tuto otázku neexistuje jednoduchá odpověď. Použití hybridního pohonu předpokládá kombinování energetických zdrojů. Je žádoucí jednotlivé formy energie uchovávat a používat podle okamžité potřeby. Je logické, že pro skladování je žádoucí maximální hustota energie. Dobrý přehled o možnostech poskytuje graf (Graf 5).



Graf 5 Vztah hustoty energie a výkonu u jednotlivých druhů skladovacích technologií; upraveno podle [16]

Ideální situace je v případě vysoké koncentrace výkonu i energie. Toto nastává v případě použití **setrvačnicku**. Avšak efektivita cyklu nabíjení/vybíjení je v případě tohoto pohonu velmi závislá na velké tendenci k spontánnímu vybíjení vlivem zpomalování setrvačnicku. Tento faktor je zásadní pro použití u HPV. Pohonné vlastnosti setrvačnicku se hodí nejvíce pro krátkodobý pohon s vysokým výkonem, což většinou právě není případ silničních vozidel. Může se ale hodit jako terciární pohon například pro rekuperaci energie při brzdění - např. systém závodních vozů formule 1 KERS [17].



Obr. 6 Systém rekuperace brzděné energie KERS navrhovaný pro vozy F 1 [17]

Hydro-pneumatický systém má hlavní nevýhodu v tom, že vyžaduje velké nádrže pro stlačenou i nestlačenou tekutinu, což výrazně snižuje hustotu energie. Naopak výkonová hustota je relativně velká (podobně jako u setrvačnicku i ultrakapacitorů) a může recyklovat velké množství energie v krátkém čase. Hodí se tedy především (jak bylo již uvedeno; Obr. 5) pro krátkodobé popojíždění.

Elektřina jako zdroj energie pro hybridní pohon, skladovaná v superkondenzátorech, bateriích, případně odebíraná z palivových článků, má své vlastní výhody a nevýhody. Pokud se týká palivových článků, základní problémy jsou nízká hustota energie, nízká efektivita cyklu, nedořešené technologické zpracování a relativně vysoká cena. Jak už ale bylo řečeno, je tento systém potenciálně perspektivní a to jak po stránce skladování energie, tak pro alternativní energetické zdroje.

Zbylé dva jmenované - baterie a superkondenzátory, jsou hustotou energie i výkonu srovnatelné s klasickými palivy. V současné době jsou oba tyto systémy nejpobulárnější mezi výrobci hybridních pohonů. Hybridy s elektromotory a uvedeným skladováním elektrické energie patří k nejúspěšnějším, univerzálnost jejich použití podtrhuje možnost dobíjení z rozvodné sítě. Další výhodou tohoto uspořádání je, že přídatné elektrické systémy jako jsou osvětlení, klimatizace a další jednotky, jsou velmi snadno připojitelné na energetickou síť. Další velkou výhodou je, že elektromotory jsou technologicky velmi pokročilé a navíc používané v řadě jiných odvětví. Proto jsou spolehlivé a relativně levné. Dále je lze ve velmi krátké době uvést do provozu a tak použít v "plug-in" systémech.

V budoucnosti lze předpokládat vývoj HEV založených na různých principech. V dalším textu budou zpracovány zejména HEV na kombinaci principu elektrického pohonu a spalovacího motoru.

6 Uspořádání hybridních pohonů a stupně hybridizace.

Přestože se z principiálního hlediska mohou systémy HEV jevit jako homogenní, jsou jejich konkrétní aplikace a finální technická řešení značně rozdílná.

6.1 Posuzování stupně hybridizace

Co je myšleno stupněm hybridizace? Zdroje energie vozidla a uspořádání pohonu mohou být mezi jednotlivé komponenty rozděleny různě. Některé parametry jsou uvedeny dále [18]:

- navrhovaný **výkon** hlavní (spalovací) a vedlejší (elektrické) pohonné jednotky; jedná se o jedno z hlavních, definujících kritérií hybridního systému (také stupeň hybridizace)
- jak by měl být **výkon dělen** mezi energetické zdroje

Celkový výkon pohonné jednotky je dimenzován podle hmotnosti vozidla a požadků na akceleraci. Rozdělení výkonu mezi hnací agregáty je závislé na použitých pohonných jednotkách - obvykle jedna z nich převažuje (například spalovací motor resp. elektromotor). Od tohoto základního rozdělení se odvíjí návržení zásobníků energie (baterie, ...). V tomto ohledu není známo, že by byl navržen nějaký mezinárodně uznávaný standard, rozdělení níže je používáno v literární a obchodní praxi častěji.

Celkově lze uvést čtyři pravděpodobně nejdůležitější výhody kombinace pohonu, tedy hybridizace konvenčních silničních vozidel:

- 1) **redukce velikosti motoru:** Když použijeme EM a SM v jedné pohonné jednotce, lze zmenšit velikost SM, protože špičkový výkon, jinak potřebný pro akceleraci a další účely, lze dotovat EM. Energetický deficit je pokryt z elektrického zásobníku energie. Díky tomu, že je použit menší SM, lze navrhnout takový motor, jehož provoz je efektivnější při malém a středním výkonu.
- 2) **možnost použití systému regenerace brzděné energie:** Energie, která je při konvenčním systému pohonu ztracena, může být rekuperována, skladována a opět použita v provozu.
- 3) **možnost použití čistě elektrického pohonu:** Je-li v jednotce přítomen dostatečně výkonný EM, lze za výhodných provozních podmínek (nízká rychlost, nízký výkon, zastavení) vypnout SM úplně. Toto opatření sníží, jak spotřebu, tak produkci emisí.

- 4) **zlepšení řízení provozu SM:** Protože celková pohonná síla hybridní jednotky závisí na kombinaci EM a SM může být optimalizován výsledný točivý moment i maximální výkon v závislosti na ostatních provozních požadavcích (akcelerace, zpomalování, maximální zatížení, ...). Navíc, je-li v hybridním systému konkrétně EM, je k dispozici velmi operativní - prakticky okamžitě dostupná pohonná síla, kterou lze dotovat pohon.

7 Rozdělení hybridních systémů

Hybridní pohonné systémy se obvykle klasifikují podle toho, který zdroj pohonu převažuje. Hromádko[19] uvádí rozdělení na: 1) *full hybrid*, 2) *power assist hybrid* a 3) *mild hybrid*. Wikipedie [20] používá dělení podrobnější a poněkud kvalitativně odlišné:

- **Micro hybrid** - systém start-stop; SM motor je po zastavení vypnut a po vyšlápnutí spojky opět automaticky nastartován; v pravém smyslu slova se nejedná o hybridní pohon; úspora paliva činí obvykle 5-9 %, více při městském provozu
- **Mild hybrid, power assist hybrid** - vůz může být vybaven systémem start-stop, navíc má různě komplikovaný a výkonný elektrický pohon, který je využíván v módu maximálního výkonu (akcelerace, ...); SM je ale hlavní hnací jednotkou; generátor může být zabudován mezi SM a převodovku a je kromě dotování maximálního výkonu používán jako pohon komplementových zařízení (ventilátor, posilovač řízení apod.); úspora paliva se pohybuje kolem 15 %
- **Full hybrid** - vůz může být poháněn buď EM, nebo SM případně obojím; využívají kombinované koncepce pohonu, výkon EM a kapacita baterií umožňuje jen omezený dojezd a rychlost; úspora paliva může být až 20 %
- **Plug-in hybrid** systém umožňuje zaměnitelný pohon elektrický a spalovací, je schopen dobít baterie za jízdy i po odstavení z vnějšího zdroje

Rámcový přehled dělení hybridních systémů může poskytnout tabulka (Tabulka 2).

Typ	Start-stop systém	Regenerativní brzdění, elektrická propulze	Bateriový pohon	Dobíjecí mód
Mikro hybrid	+	-	-	-
Mild hybrid	+	+	-	-
Full hybrid	+	+	+	-
Plug-in hybrid	+	+	+	+

Tabulka 2 Typ HEV podle stupně hybridizace [20]; + systém přítomen; - systém nepřítomen

Existuje značná nejednotnost v názvosloví v literatuře i u jednotlivých výrobců. Například GM označuje "Mild hybrids" jako "Mikro hybrids" a nikoliv "Power assist hybrids" [18]. Podobná nejednotnost se objevuje při zařazování sériových a paralelních hybridních pohonů, kdy sériová uspořádání jsou klasifikována samostatně vedle plug-in systémů.

7.1 Rozdělení výkonu mezi jednotlivými zdroji pohonu

vyjadřují rovnice stupně hybridizace (DOH) [21]:

$$DOH = 1 - \frac{|P_{max,ED1} - P_{max,ED2}|}{P_{max,ED1} + P_{max,ED2}} \quad \text{Rovnice 1}$$

$P_{max,ED1}$ maximální výkon zdroje pohonu 1

$P_{max,ED2}$ maximální výkon zdroje pohonu 2

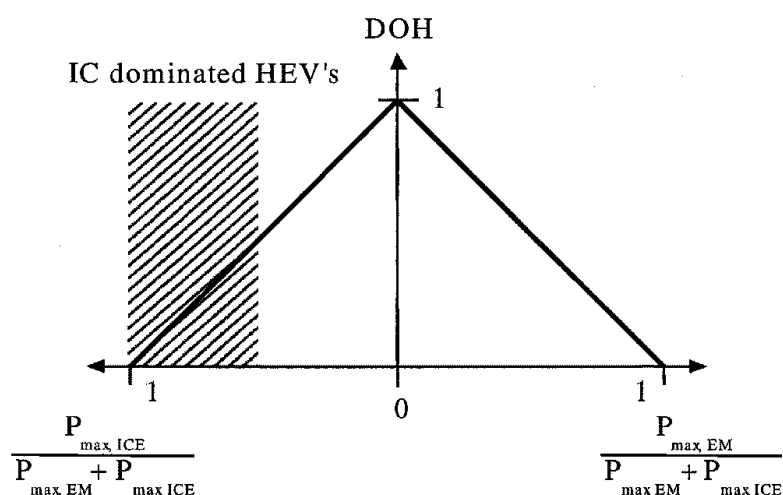
Pro hybridní systém obsahující elektromotor a konvenční spalovací motor lze rovnici upravit ve tvaru:

$$DOH_{HEV} = 1 - \frac{|P_{max,EM} - P_{max,ICE}|}{P_{max,EM} + P_{max,ICE}} \quad \text{Rovnice 2}$$

$P_{max,EM}$ maximální výkon elektromotoru (pohon 1)

$P_{max,ICE}$ maximální výkon konvenčního spalovacího motoru (pohon 2)

Grafické vyjádření rovnice (2) je na následujícím obrázku [21]:



Obr. 7 Grafické vyjádření rozdělení příkonu u hybridního pohonu dvou hnacích jednotek. (IC, ICE konvenční spalovací motor; EM elektromotor; HEV hybridní pohon vozidla; DOH stupeň hybridizace)

DOH je důležitý mechatronický nástroj, protože poskytuje možnost kvantitativního měření, kam je přenášena síla v hybridním vozidle. Umožňuje projektantovi rozhodnout jaký typ pohonné strategie použít a jak směřovat požadovaný výkon.

7.2 Operační schémata hybridního systému

V zásadě může hybridní systém pracovat ve dvou základních režimech:

- **energií obnovující:** energetický zdroj je kontinuálně doplňován během provozu různými systémy vozidla; prakticky všechny HEV
- **energií dotující:** systém je před uvedením do provozu dobit a další obnovení energie následuje po odstavení, během provozu není energie doplňována; např. bateriový vůz
- **kombinace obou variant**

8 Systémy pohonu hybridních vozidel

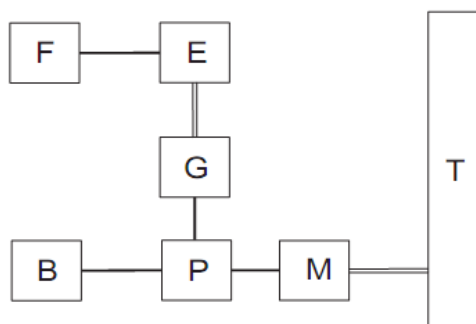
Zjednodušeně řečeno může být pohonná jednotka HEV uspořádána ve vozidle sériově nebo paralelně. Ostatní varianty jsou jen obměnou tohoto. Jednotlivé obměny jsou však velmi závislé na cílové aplikaci - např. dálniční nebo městský provoz. Jak bylo výše řečeno, je klíčovým momentem k hospodárnosti odstranit SM z přímého zapojení do pohonu. Právě toto hybridizace umožňuje, avšak rozsah je dán konkrétním rozložením pohonu resp. uspořádáním pohonné jednotky [20]. Některé výhody a nevýhody jednotlivých typů hybridních pohonů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 3).

Typ uspořádání	Výhody	Nevýhody
Konvenční	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoká mechanická stabilita • Vytrálost koncepce • Relativně nízká cena 	<ul style="list-style-type: none"> • Nízká efektivita využití paliva
Paralelní hybrid	<ul style="list-style-type: none"> • Relativně dobrá efektivita využití paliva • Dobrá akcelerace • Menší SM • Lze použít jako plug-in; relativně nízká cena 	<ul style="list-style-type: none"> • Velikost SM závisí na hmotnosti vozidla • Relativně malá flexibilita systému (4 módy) • Nutnost poměrně náročného řízení jednotky
Sériový hybrid	<ul style="list-style-type: none"> • Velikost SM není závislá na hmotnosti vozidla • Maximální efektivita SM • Velmi vhodné pro plug-in 	<ul style="list-style-type: none"> • Vícečetné převody energií - nižší efektivita • Dražší a těžší provedení
Kombinovaný (split) hybrid	<ul style="list-style-type: none"> • Velmi komfortní (CVT systém) • Flexibilní systém připojení SM • Dobře odzkoušen (Toyota) • Kompaktní řešení 	<ul style="list-style-type: none"> • Složitý systém, mírně nižší účinnost • Nutnost komplexního řízení • Speciální převodovka • V EM módu omezení výkonu, omezené možnosti zapojení do plug-in systému

Tabulka 3 Některé výhody a nevýhody hybridních pohonných systémů; upraveno podle [18]

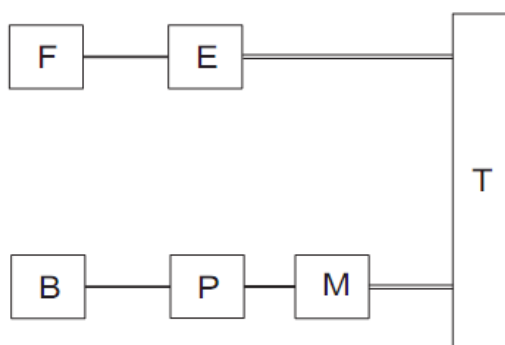
Konvenční rozložení pohonu bylo zachovááno prakticky od samého počátku vývoje automobilů. Jedná se v podstatě o "sériový" systém: motor, převodovka, diferenciál, kola. Poměr otáček motoru je dán nastavením převodů v převodovce a v diferenciálu.

Sériové uspořádání hybridního pohonu vyžaduje tři základní kroky. Nejprve je točivý moment převáděn ze spalovacího motoru na generátor a poté je elektřina použita k pohonu EM a dobíjení zásobních baterií. Systém umožňuje také regeneraci brzdné energie. Protože je v malém měřítku neefektivní, je využíván nejčastěji u těžkých nákladních automobilů a lokomotiv. U osobních automobilů byl použit u malých vozů při jízdě na krátké vzdálenosti při nižších rychlostech. Méně výhodná je jízda v dálničním režimu. Systém používá mimo jiné Chevrolet Volt (9.1.2), (Obr. 8).



Obr. 8 Sériové uspořádání hybridního pohonu. Legenda: F palivo, B baterie, E spalovací motor, P měnič, G generátor, M převodovka, T převod na kola [22]

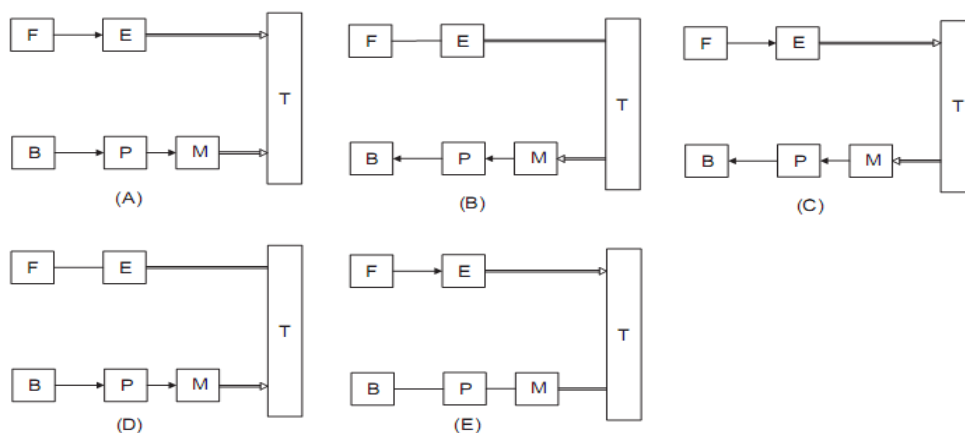
Paralelní hybridní uspořádání sestává v podstatě z klasického rozložení (viz výše), ke kterému je paralelně přidán alternativní zdroj pohonu (Obr. 9). SM je tedy nadále pevně spojen s koly pomocí převodovky a diferenciálu. Avšak v tomto schématu je přidán alternativní zdroj pohonu (EM), který dotuje výkon. EM může pracovat ve dvou režimech - jako motor nebo jako generátor. V základním uspořádání nemohou být změněny otáčky SM, může však být navýšen točivý moment pohonné jednotky a to právě o moment EM. Paralelní hybridy tohoto uspořádání jsou někdy označovány jako mild-hybridy nebo power-assist hybridy. Existují dvě možnosti propojení EM k základnímu SM - pevné a pomocí zvláštní spojky (např. Obr. 16). Nevýhodou systému může být často použité pevné napojení motoru na převodový systém, jízda čistě na elektrickou energii většinou není možná. Pokud je EM umístěn mezi SM a převodovku plní současně funkci alternátoru a startéru. Uspořádání používá např. Honda Insight.



Obr. 9 Schéma paralelního hybridního pohonu. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; M převodovka; T převod na kola [22]

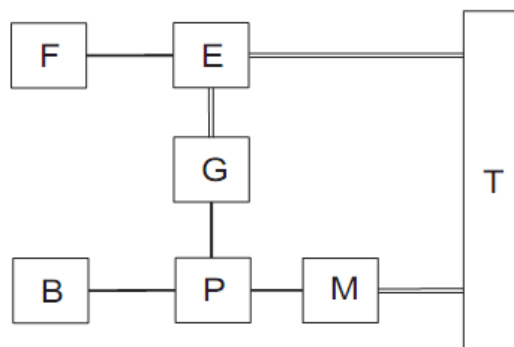
Existuje v zásadě 6 možností zapojení hnacích jednotek A-E (Obr. 10):

- A. Motor assist mód: SM + EM - špičkový výkon
- B. Regenerativní brzdění: brzdná energie je konvertována ukládána (baterie)
- C. Power-split mód: Jedná se o případ, kdy stav nabití baterií je blíže k dolnímu limitu. Pak je část použitelného výkonu SM směřováno do kol a část je využita k nabíjení (power-split). Část hnací jednotky pracuje jako generátor.
- D. EM samostatně: SM je vypnut při chodu na prázdko nebo velmi nízkém výkonu.
- E. SM samostatně: Vůz pohání SM a EM je vypnut.
- F. Nabíjecí mód: Systémy vozu jsou vypnuty a automobil je připojen ke zdroji elektřiny.



Obr. 10 Možné toky výkonu u paralelního HEV. (A)-(E) různé toky výkonu. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; M převodovka; T převod na kola [22].

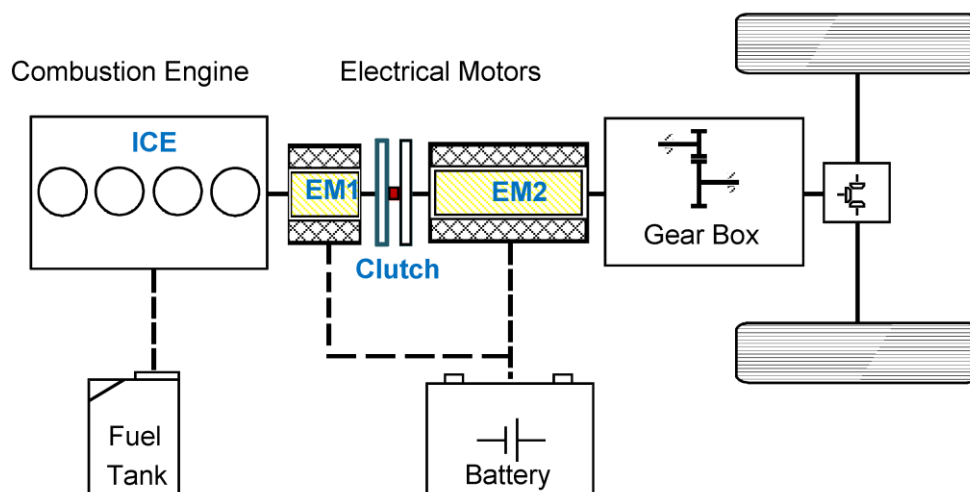
Sériově-paralelní - kombinované zapojení HEV je sice nejdokonalejší, ovšem technicky náročné a proto drahé. Díky tomu se využívá ve speciálních případech. Může být řešeno jako přepínatelný pohon nebo pohon s dělením výkonu (Obr. 11; Obr. 12).



Obr. 11 Sériově-paralelní uspořádání HEV. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; G převodovka; M převodovka; T převod na kola [22]

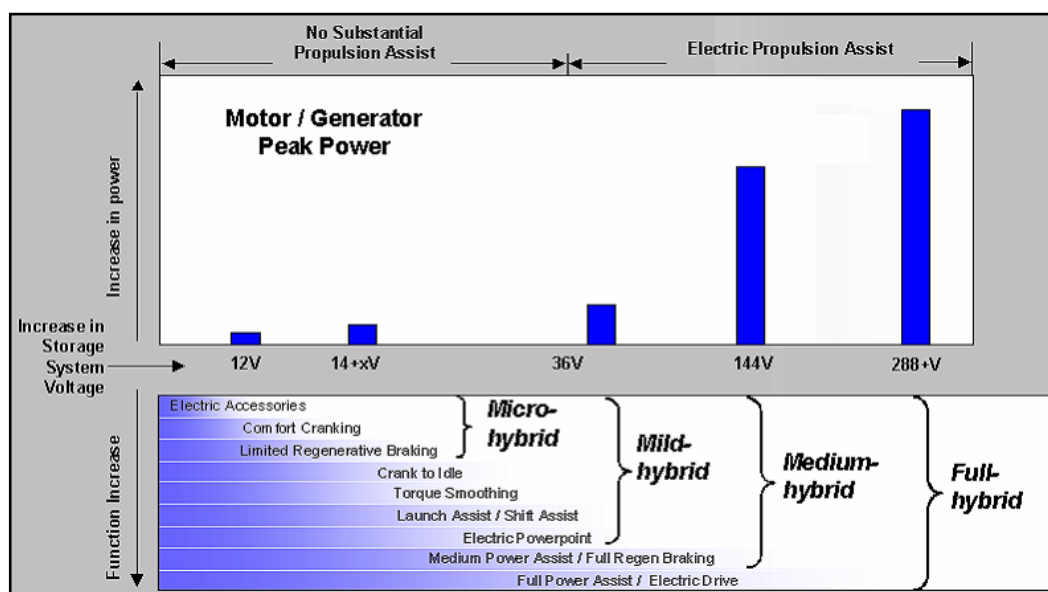
Kombinované pohony mohou pracovat v sériovém i paralelním uspořádání. Potom je zapotřebí použít dvě spojky - první spojuje SM s EM/generátorem a druhá posledně jmenovaný s převodovkou.

Dostí rozšířená koncepce byla vyvinuta firmou Daimler Chrysler, zejména P12-Configuration a vystavena v roce 2004 na Detroit Motor Show, je schematizována na obrázku (Obr. 12). Koncepce zahrnuje konvenční SM (ICE) a dva EM (motor/generátor 1 a 2). Systém je prakticky totožný s koncepcí dále popsanou a použitou u Toyoty Prius.



Obr. 12 Paralelní koncepce HEV dle Daimler Chrysler 2004. Legenda: F - palivo; B - baterie; Combustion Engine, ICE - spalovací motor; EM1, EM2 elektromotory; Gear Box - převodovka; Clutch - spojka [22]

Podle [22] lze klasifikovat HEV také v závislosti na napětí bateriového okruhu. Jako mild-hybrid jsou označovány systémy s napětím nižším než 36 V a micro-hybridy mají napětí ještě nižší. Systémy označované jako medium-hybridy mají napětí 144 V a full-hybridy napětí 288 V a vyšší (Tabulka 4).



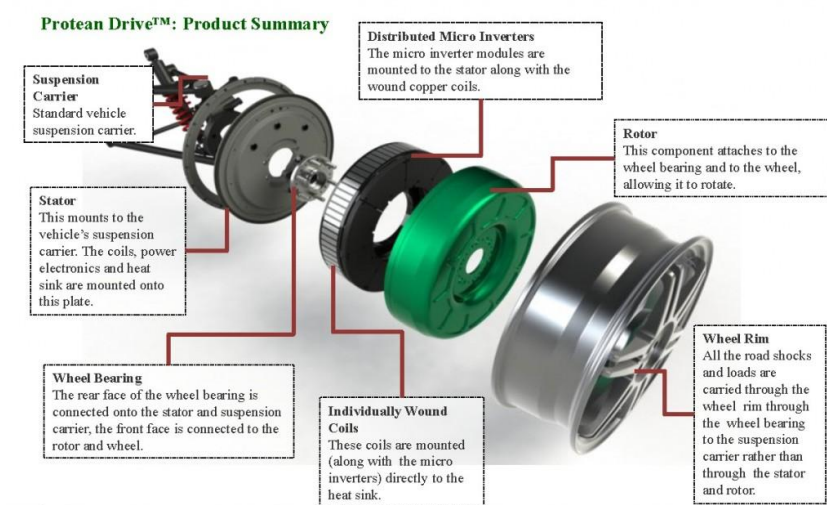
Tabulka 4 Rozdělní HEV podle napětí v systému elektrického pohonu [22]

In-wheel drive - pohon v kolech byl historicky experimentálně testován v různých systémech s elektrickým, hydraulickým i mechanickým (SM) zdrojem pohonu. Již dlouhou dobu je využíván například u těžkých důlních vozidel a nakladačů v konstrukčně výhodném hybridním uspořádání. Výkonný SM nebo plynová turbína pohání elektrický generátor a kola pohání elektromotory umístěné v kolech (Obr. 13).



Obr. 13 Obří transportér Komatsu 930e poháněný dielelektrickým agregátem se systémem přímého elektrického pohonu kol [23]

Pro méně náročné provozní podmínky je zajímavým řešením systém vyvinutý firmou Protean Drive, která se zabývá výrobou elektrických pohonů umístěných v kolech [24], (Obr. 14). Systém byl použit například u experimentálního Brabus Hybrid Mercedes Benz (2012), nebo Ford Fiesta E-Wheel Drive (ve spolupráci Ford a Schaeffler [25]).



Obr. 14 In-wheel systém pohonu vyvinutý firmou Protean Drive [26]

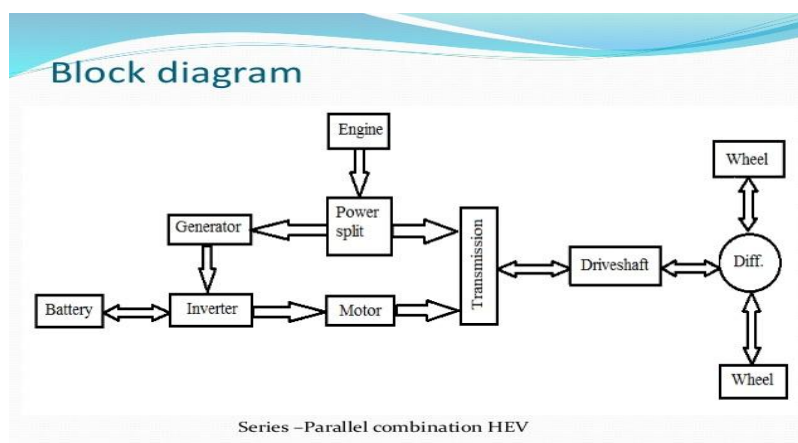
9 Třídy hybridních vozidel

Ačkoliv nebylo dosaženo konsenzu v klasifikaci hybridních pohonů, hlavní třídy respektive skupiny jsou dále uvedeny na příkladech jednotlivých výrobců automobilů. Hybridní vozidla vyrábí celá řada značek [27]:

Acura, Audi, BMW, Buick, Cadillac, Chevrolet, Ford, GMC, Honda, Hyundai, Infiniti, Kia, Lexus, Lincoln, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Porsche, Range Rover, Subaru, Suzuki, Toyota, Volkswagen, Volvo.

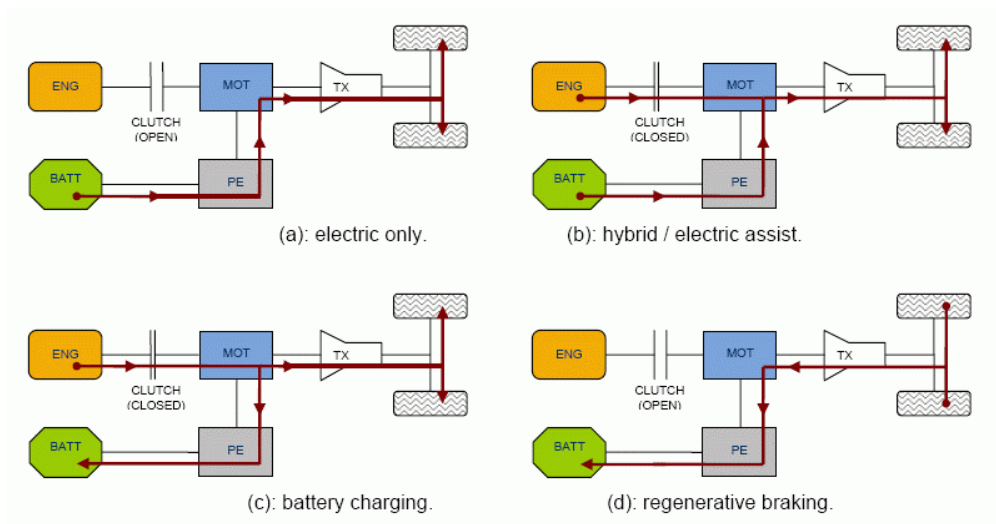
9.1 Plug-in hybrid

Tato skupina HEV je nejsložitější kategorií. Jako příklady aplikací jsou uvedeny Toyota Prius a Chevrolet Volt. Blokové schéma (Toyota) je na obrázku (Obr. 15).



Obr. 15 Blokové schéma pohonu HEV se sériově-paralelním pohonem [28]

Některé módy zapojení hnací síly jsou dále zobrazeny na obrázku (Obr. 16).



Obr. 16 Některé módy zapojení pohonu full-hybrid HEV v paralelním uspořádání pohonu. Legenda: Eng spalovací motor, Mot elektromotor, Batt baterie, PE měnič el. proudu, TX převodovka, Clutch spojka [20]

9.1.1 Toyota Prius Prime

TISKOVÁ ZPRÁVA (10/2015):

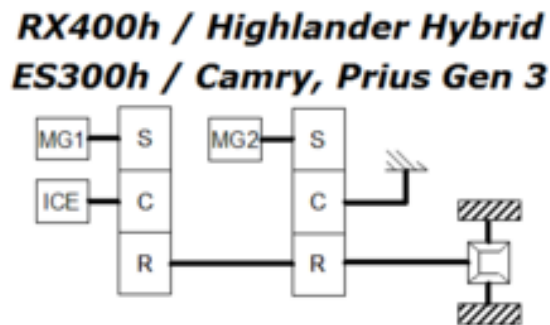
"Po celém světě dnes jezdí více než 9 milionů hybridních vozů poháněných zážehovým motorem v kombinaci s elektromotorem. Z uvedeného počtu je 8 milionů vozů vyrobených Toyotou, přičemž polovinu vozů od Toyoty zastupuje model Prius" [29].

Význam automobilů Toyota mezi hybridními vozidly není nutno dále komentovat. Toyota Prius patří ke špičkovým vozům mezi HEV střední třídy. Díky tomu je používána jako praktický standard k porovnání s ostatními vozy [30]. Vyobrazený model je Prius Prime XW50 2016 – současnost), (Obr. 17).



Obr. 17 Toyota Prius Prime XW50; výroba 2016—dosud [30]

- **Výrobce:** Toyota
- **Hybridní systém** [31]: Originální pohonná jednotka nazývaná "Hybride Synergy Drive" (Obr. 18), která je dále používána v modelech: Yaris, Auris, Prius, Highlander Hybrid, Camry Hybrid, Estima, Alphard, Lexus RX 400h, RX 450h, Lexus ES 300h, Lexus GS 450h, Lexus LS 600h/LS 600hL, Lexus CT 200h, Lexus IS 300h, Lexus HS 250h and Lexus NX 300h. Toyota prodala také licenci HSD technologie Nissanu pro model Nissan Altima Hybrid. Předchozí model jednotky byl používán v letech 1997-2003 u Toyota Prius jako TSH (Toyota Synergy Drive)



Obr. 18 Třetí generace (G3) Toyota hybrid: Hybrid Synergy Drive (HSD) s MG2 systémem řazení. Od roku 2005 vozidla RX 400h a Toyota Highlander Hybrid doplnily náhon na 4 kola. "S-C-R" planetová převodovka **S**: centrální kolo; **C**: unašeč satelitů, **R**: korunové kolo; motor-generátor **MG1** & **MG2**, vnitřní spalovací motor **ICE** [31]

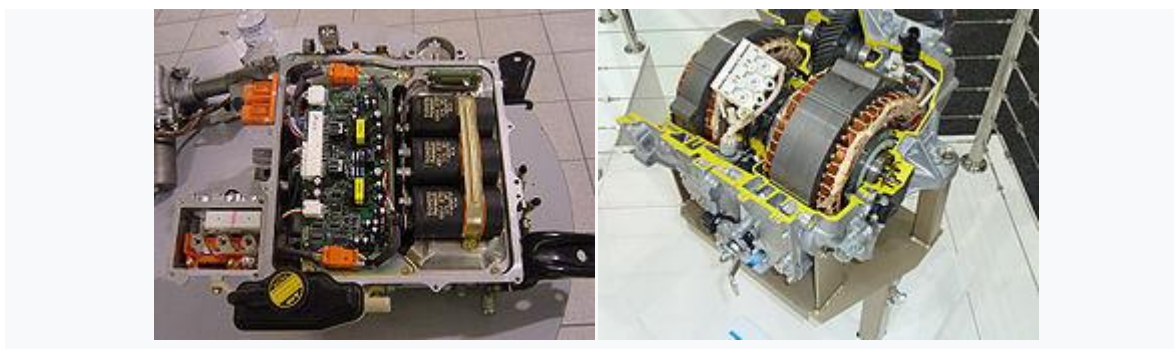
- *Převodovka* je nahrazena elektromechanickým systémem, který umožňuje plynulý převod hnacího momentu na kola; originální systém je nazýván e-CVT (electronic continuously variable transmission)
- *MG1 (motor/generátor) sekundární*: AC generátor s buzením permanentním magnetem používaný pro startování a později pro dobíjení vysokovoltážních baterií (HVB) během jízdy

- *MG2 primární AC motor/generátor také s rotorem s permanentním magnetem používaný jako primární hnací jednotka a také jako alternátor při dobíjení baterií (jako MG1)*
- *Dále HSD systém zahrnuje: výkonovou elektroniku - tři DC/AC invertory a dva DC/DC konvertory; počítačové řízení systému; vysokovoltážní baterie*

- **Možné toky výkonu:**
 - *Přídavný výkon:*
 - HVB -> DC/DC konvertor -> 12V DC baterie
 - 12V DC baterie -> různá přídavná a automatická nízkoenergetická zařízení
 - *SM poháněno: nabíjení HVB a/nebo topení, případně vnitřní přídavné zařízení HV/AC*
 - SM -> MG1 -> HVB
 - *Bateriový nebo elektrický pohon:*
 - HVB -> MG2 -> kola
 - *Konvenční + elektrický pohon (pomalá jízda)*
 - SM -> kola
 - SM -> MG1 -> MG2 -> kola
 - *Konvenční motor s nabíjením (dálniční provoz)*
 - SM -> kola
 - SM -> MG1 -> HVB
 - *SM + EM + HVB pohon (krátkodobý booster)*
 - SM -> kola
 - SM -> MG1 -> HVB
 - SM -> MG1 -> MG2 -> kola

- *Plný výkon*
 - SM -> kola
 - SM -> MG1 -> MG2 -> kola
 - HVB -> MG2 -> kola
- *Brzdění B-mód*
 - Kola -> MG2 ->HVB
 - Kola -> MG1 -> SM ¹
- *Regenerační (rekuperační) brzdění*
 - Kola -> MG2 -> HVB
- *Silné brzdění*
 - Přední disky -> kola
 - Všechny disky -> kola

¹ ECU - Electronic Control Unit: zvyšuje napětí na MG2 a propojuje SM s koly s následným efektem brzdění motorem; otáčky motoru se zvyšují v případě, že HVB jsou nabity natolik, že nemohou přijmout regenerovanou energii; otáčky jsou zvyšovány tlakem na brzdový pedál



Obr. 19 Výkonová elektronika a hybridní pohonný systém Toyota HSD Prius 2010-2015 [31]

- **Pohon:** spalovací motor 1,8 l čtyřválec; MG1 23 kW; MG2 53 kW; maximální výkon v elektrickém módu 68 kW; maximální 90 kW
- **Baterie:** lithium-ion baterie, 197 kg; 10,3 kWh celková kapacita, 8,8 kWh využitelná kapacita
- **Rekuperace brzdné energie:** ano
- **Dojezd:** baterie 40 km; baterie + palivo 1030 km
- **Spotřeba paliva průměrná:** 18 kWh/100 km EM; kombinovaná 4,4 l/100 km; 4,3 l/100 km město; 4,4 l/100 km dálnice
- **Náklady na 1 míli (EM/SM):** elektřina dle lokálních tarifů/kWh Palivo: 4č/mil

- **Jízdní vlastnosti:** 0-96,5 km/h 10.0 s; 400 m s pevným startem 17,6 s; maximální rychlost 180 km/h

9.1.2 Chevrolet Volt 2011/2012



Obr. 20 Chevrolet Volt 2017 foto a uspořádání hnací jednotky [32]

- **Výrobce:** GM; prodáván v rámci "rebadging" jako Holden Volt (Austrálie), Opel Ampera (Evropa), Vauxhall Ampera (Anglie) [33], (Obr. 20)
- **Hybridní systém (sériový):** EM + elektrický generátor + SM (s pomocí planetové převodovky)
- **Jízdní módy:** 1) EM samostatně (bateriový provoz); 2) EM+SM - při vysoké rychlosti SM posiluje přímo pohon vozidla přes planetovou převodovku a redukuje tím pohon EM; 3) SM + generátor (pohon EM po vybití baterií); 4) EM + SM maximální výkon SM přenáší výkon planetovou převodovkou + baterie pohání elektromotor (vysoká rychlost nebo maximální akcelerace)
- **Pohon:** Celkem 111 kW; spalovací motor 60 kW + generátor 55 kW
- **Baterie:** lithium-ion baterie, 167 kg; 16,0 kWh celková kapacita, 10,3 kWh využitelná kapacita
- **Rekuperace brzdné energie:** ano
- **Dojezd:** baterie 61 km; baterie + palivo 611 km
- **Spotřeba paliva průměrná:** 3,7 l/100 km EM/SM; 6,9 l/100 km SM

- **Náklady na 1 míli (EM/SM):** Palivo: 3,8€/míle; elektřina dle lokálních tarifů (11€/kWh)
- **Jízdní vlastnosti:** Maximální rychlost: 160 km/h; zrychlení 0–97 km/h 9,2 s pouze elektrický mód; 9,0 s elektrický pohon s propulzí SM

9.1.3 Další vozy s plug-in pohonem

Hybridní pohon je stále výrobci častěji nabízen. Následující přehled je zpracován podle nabídky vozů s plug-in systémem podle serverů Plugincars [34], Hybridcars [35] a AutoExpres [36]. Pokud lze udělat nějaké zobecnění, je patrné, že plug-in pohon je montován do automobilů nejčastěji střední a střední vyšší třídy, ale i do luxusních vozů typu sedan i supersportovních vozů.

Plugincars [34] nabízí tyto vozy (rozdělení do skupin podle autora):

- **Střední třída:** Audi E3 Tron, BMW i3, Chevy Volt, Ford C max Energy, Hyundai Ionic (též verze bateriová), Toyota Prius (Prime), Chrysler Pacifica Plug-in Hybrid
- **Vyšší třída:** BMW 330e, BMW X5 xdrive40e, Ford Fusion Energy, Hyundai Sonata Plug-in Hybrid, Mercedes 350 Plug-in Hybrid, Mercedes 550 Plug-in Hybrid, Mercedes-Benz GLE550e, Volvo XC 90T8
- **Supersportovní:** BMW i8, Porsche Cayene S-E Hybrid, Porsche Panamera S-E Hybrid, Porsche 918 Spyder, McLaren P1

Hybridcars [35] doplňuje další:

- **Střední třída:** Ford C-Max Energy, Mitsubishi PX-MiEV, Volvo V70 Plug-in Hybrid
- **Vyšší třída:** Cadillac Converj
- **Supersportovní:** Fisker Karma

AutoExpres [36] uvádí 10 nových vozů (modelů) uvedených na anglický trh v sezóně 2016:

BMW i3 Range Extender, Toyota Prius, Volvo XC90 T8 Twin Engine, Volkswagen Passat GTE, BMW 330e, Mitsubishi Outlander PHEV, Lexus IS 300h, Kia Niro, Porsche Panamera E-Hybrid, Hyundai Ioniq

9.2 Full hybrid

HEV označované jako full hybridy mají oproti předchozím méně sofistikovaný režim jednotlivých pohonných režimů. Mají ale jednu společnou vlastnost proti dále uvedeným skupinám. Jedná se o to, že mají dostatečně silný elektrický pohonný systém, aby dokázal pohybovat vozem - nikoliv vysokou rychlostí, ani na dlouhou vzdálenost, ale přesto [18]. Full hybridy se mohou pohybovat na konvenční, elektrický i kombinovaný pohon. Nejsou však dobíjeny z rozvodné elektrické sítě. Tento typ pohonu je (byl) montován, často jako alternativní pohonná jednotka, do řady automobilů. Příkladem by mohl být Nissan Altima.

9.2.1 Nissan Altima

Jedná se o model vyráběný od roku 1992 dosud. Jediná a komerčně poměrně málo úspěšná hybridní varianta byl *Nissan Altima Hybrid*, který se vyráběl v letech 2007-2011 [37]. Jednalo o první HEV firmy Nissan s pohonnou jednotkou HSD v licenci Toyota (viz. 9.1.1).

- **Hlavní pohonná jednotka:** SM + EM/generátor
- **Uspořádání pohonu:** paralelní hybrid
- **Hybridní pohon:** HSD licence Toyota (viz výše)
- **Výkon:** SM čtyřválec výkon 118 kW, točivý moment 162 N/m; EM/ generátor 30 kW
- **Převodovka:** kontinuální systém CVT
- **Spotřeba paliva:** 6,7 l/100 km město; 7,1 l/100 km dálnice (EPA)
- **Baterie:** Ni-MH baterie 30 kW; napětí 244,8 V
- **Rekuperace brzděné energie:** ano

- **Jízdní vlastnosti:** testy z roku 2010: 0–60 m/h 10,3 sec., 1/4 míle s pevným startem 78 m/h (prakticky totožné s Toyotou Prius);
- **Poznámka:** v USA bylo prodáváno 40 tis. vozů ročně, využívány např. jako taxi a policejní vozy v New Yorku

9.3 Mild hybrid

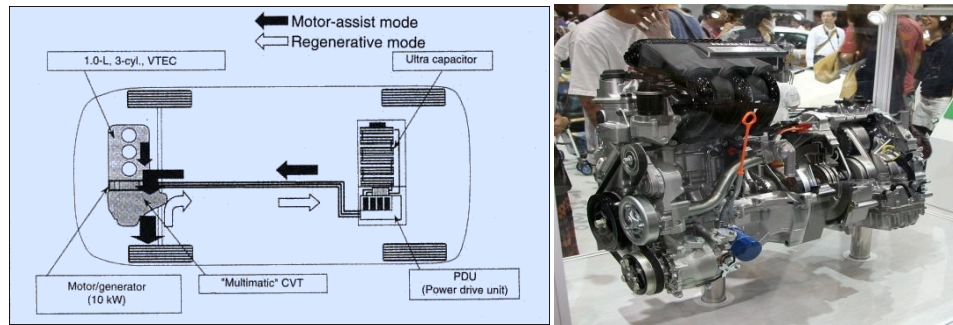
Tato kategorie vozů je poháněna z větší části SM, EM slouží k posílení výkonu při maximální zátěži. Většinou se jedná o vozy vybavené generátorem, který přebírá funkci startéru a alternátoru. Mohou být vybaveny systémem star-stop. Jako příklad tohoto typu HEV je možno uvést vůz Honda Insight, který se vyráběl v letech 1999-2014.

9.3.1 Honda Insight

Vůz byl uveden na trh v roce 1999 a byl poháněn hybridním systémem označovaným jako Integrated Motor Assist (IMA). Byl vyráběn ve dvou generacích (1999-2006; 2006-2014) [38]

- **Hlavní pohonná jednotka:** 1. generace - tříválcový SM pro trvalý pohon; 2. generace čtyřválec 1,3 l
- **Uspořádání pohonu:** paralelní hybrid
- **Hybridní pohon - Integrated Motor Assist (IMA):** EM/generátor dotuje výkon motoru v maximální zátěži, funguje jako alternátor, je využíván k rekuperaci elektrické energie při brzdění, funguje jako start-stop systém; první generace IMA (1999), (Obr. 21) nedovolovala samostatný pohon na EM²

² Seznam vozů se systémem IMA [39]: Honda J-VX (1997), Honda Insight (1999-2006, 2010-2014), Honda Dualnote (2001), Honda Fit Hybrid (2010-současnost), Honda Fit Shuttle Hybrid (2010-současnost), Honda Civic Hybrid (2003-současnost), Honda Accord Hybrid (2005-2007), Honda Freed Hybrid (2008-současnost), Honda CR-Z (2010-současnost), Acura ILX Hybrid (2013-2014)



Obr. 21 Schéma pohonu Honda IMA[39] a vyobrazení hnací jednotky první generace Honda Insight 1999 [39]

- **Výkon:** 1. generace 50 kW SM + 10 kW EM; 2. generace SM 73 kW
- **Převodovka:** první model manuální, pozdější modely kontinuální systém CVT
- **Spotřeba paliva:** První generace byla nejušpornějším modelem na americkém trhu; spotřeba (EPA) 3,4 l/100 km na dálnici; 3,9 l/100 km ve městě; EU 3,4 l/100 km kombinovaná
- **Baterie:** Ni-MH 144 V
- **Rekuperace brzdné energie:** ano
- **Jízdní vlastnosti:** testy z roku 2010 - 0–60 m/h 10,3 s
- **Zvláštní ocenění:** ceněno extrémně jednoduché ovládání a nízká spotřeba paliva

9.4 Mikro hybridy - start-stop systém

Jak bylo výše uvedeno, samotný start-stop systém prakticky neopodstatňuje označovat vůz jako hybridní. Může být použit jako jediný prvek v automobilu v ostatních ohledech zcela konvenční technologie (např. některé typy vozů koncernu VW), nebo používá v HEV jako součást složitějšího konstrukčního řešení. Technická řešení jsou různá. Nejčastěji jsou používány systémy Start&Stop firmy Bosch a StARS Valeo. Motor může být také startován z elektrického stroje umístěného přímo mezi motor a převodovku (Toyota), případně lze použít jiný systém (vstřik paliva do válců; Mazda). Dále je uveden seznam továrních značek vozů, u kterých je (byl) systém start-stop montován [40]:

Bentley, BMW, Citroën, Fiat Group, Ford, General Motors, Hyundai, Honda, Jaguar, Kia, Land Rover, Mahindra & Mahindra, Mazda, Opel/Vauxhall, Renault, Roewe, SAAB, Tata, Toyota, Volkswagen, Volvo

10 Ekonomika hybridního pohonu

10.1 Ekonomická návratnost spotřeby paliva

Při výrobě a používání hybridních pohonných systémů je zapotřebí brát v úvahu nejen technické a ekologické faktory, ale také přímé provozní a pořizovací náklady. Koneckonců je dopravní prostředek v první řadě nástrojem přepravy a výtěžku. K ekonomickému srovnání lze použít informace uvedené Novákem [41] (Tabulka 5).

Typ vozidla	Pořizovací cena (Kč)	Spotřeba kombinovaná (l/100 km)	Úspora (u HEV) (Kč/100 km)	Návratnost investice po ujetí (km)
Auris 1,6l Valvematic (Luna)	384 900,-	6,3	-	-
Auris HSD (Luna)*	549 900,-	3,8	87,50	188 571 km
Jazz 1,4 i-VTEC (Comfort)	409 000,-	5,4	-	-
Jazz Hybrid (Comfort)*	429 000,-	4,5	31,50	63 492 km
Škoda Octavia 1,6 MPI LPG (Ambiente)	479 900,-	9,2 l LPG	-	-
Toyota Auris HSD (Luna)*	549 900,-	3,8	0,28	250 000 km

Tabulka 5 Srovnání návratnosti investice do automobilu s hybridním pohonem (volně podle [41];

* hybridní pohon

V tabulce (údaje z roku 2011) jsou porovnány pořizovací cena vozů a úspora na palivu. U obou porovnávaných modelů na benzínový pohon (Toyota Auris a Jazz) je návratnost velmi dlouhá (po ujetí 188 571 km Auris HSD, 63 492 km Jazz Hybrid), pro průměrného občan realizovatelná až po létech. Při srovnání s vozidlem na LPG (Škoda) je už návratnost srovnatelného vozu na hybridní pohon nepochybně zcela nereálná (po ujetí 250 000 km).

10.2 Další ekonomické aspekty hybridního pohonu

Konvenční spalovací motory mají přes známou celkově poměrně nízkou účinnost nejvyšší efektivitu z mobilních pohonných zdrojů. Čtyřdobé zážehové motory mají účinnost mezi 20-30 % a vznětové ještě vyšší (30-40 %). K jejich výhodám patří relativní konstrukční jednoduchost v základním provedení. Tento argument zvolna ztrácí na váze, neboť moderní spalovací motory jsou v honbě za snížením emisí stále komplikovanější a proto výrobně i servisně dražší. Neopomenutelnou výhodou je dobře zavedená technologie a hustá síť servisních a čerpacích stanic. Dále mají spalovací motory řadu *nevýhod*: hlučnost, nutnost spouštění cizím zdrojem energie, vibrace, exhalace (CO₂, kysličníky dusíku, síry, prašnost, kouřivost a další).

Díky elektromotoru má hybridní pohonná jednotka *výhodu* ve vyšší účinnosti (nižší spotřebě paliva), zejména v městském provozu, větší flexibilitu pohonné jednotky (příznivější průběh točivého momentu), nižší hluk a vibrace. *Nevýhodami* jsou především technická náročnost (nevyzrálost) a z toho vyplývající vyšší cena, hmotnost, poruchovost, servisní náročnost a nižší životnost systému.

11 Závěr

Vývoj hybridních pohonů má několik hlavních hybných momentů. Konvenční spalovací motory mají nejvyšší účinnost z mobilních pohonných zdrojů, které jsou k dispozici. Prošly dlouhým vývojem a díky tomu jsou technicky vyzrálé. Mají rozsáhlé výrobní, servisní a konstrukční zázemí. Bohužel jejich základními nevýhodami jsou například proti elektrickému pohonu relativně nižší účinnost, produkce ekologicky nežádoucích škodlivin, hluku a vibrací. Je zde ještě jeden velmi významný negativní moment. Spalování ropných produktů je nejméně výhodné využití této vzácné suroviny, která je výchozí látkou pro záplavu chemických technologií a produktů. Lze proto velmi dobře pochopit snahy o náhradu klasického spalovacího motoru jiným zdrojem pohonu.

* **Hybridní pohonné jednotky** založené na kombinaci elektromotoru a klasického spalovacího motoru se staly nejčastějším řešením problému inovace v diskutované oblasti.

* **Zásobníky energie** jsou podstatnou složkou řešení výše uvedeného problému. Nejčastějším způsobem skladování energie je ve formě baterií (lithium-iontové, nikl-metalhydridové, nikl-kadmiové). Další jsou využívány omezeně resp. experimentálně (vysokotlaký hydrostatický zásobník, setrvačnický, superkondenzátor, vysokoteplotní baterie).

* **"Hybridizace" pohonu** pomáhá řešit nejdůležitější problémy: redukce velikosti motoru, možnost použití systému regenerace brzděné energie, možnost použití čistě elektrického pohonu, zlepšení řízení provozu spalovacího motoru (provoz v optimálním režimu výkonu a spotřeby).

* **Rozdělení hybridních vozidel** nebylo dosud sjednoceno. V praxi jsou používány podle stupně hybridizace (kombinace jednotlivých druhů pohonu) "stupně" (od nejméně pokročilé hybridní konstrukce k nejvíce): micro hybrid, mild hybrid (power assist hybrid), full hybrid a plug-in hybrid

* **Hnací síla generovaná v hybridní pohonné jednotce může být přenášena** na kola v několika uspořádáních. Podle "zapojení" spalovacího motoru a elektromotoru lze rozdělit systém na sériový (SM a EM řazený za sebou), paralelní (řazený vedle sebe), nebo v přepojitelných kombinacích (plug-in resp. split hybrid). Konkrétní technická řešení jsou v některých případech značně složitá a jsou popsána v práci, přehled uveden níže.

* **Možnosti kombinace pohonů** - základní možnosti paralelního uspořádání. Existuje v zásadě 6 možností zapojení hnacích jednotek: 1) motor assist mód (SM + EM - špičkový výkon), 2) regenerativní brzdění (brzděná energie je konvertována ukládána do baterie), 3) power-split mód (část použitelného výkonu SM směřováno do kol a část je využita k nabíjení baterie), 4) EM pracuje samostatně (SM je vypnut), 5) SM samostatně, 6) nabíjecí mód (systémy vozu jsou vypnuty a automobil je připojen ke zdroji elektřiny).

* **Hybridní pohon vozidla nabízejí** desítky výrobců automobilů. Z hlediska celkové produkce výroby automobilů se však jedná jen o několik procent z vyrobených vozů. Zřejmě nejrozšířenějším a snad i technicky nejvyzrálejším se jeví systém Toyota Prius, jak lze soudit z počtu prodaných pohonných jednotek vlastních, montovaných do vozů jiných značek a prodaných licencí.

* **Hybridní pohonné jednotky** jsou montovány jak do malých vozů určených pro krátké trasy, tak do vozů střední třídy. Jako rarity jsou využity i ve vozech luxusních a sportovních speciálech.

* **Přestože hybridní pohony byly zamýšleny** jako prostředek k omezení emisí a zvýšení ekonomiky provozu, návratnost investice vložené do jejich nákupu je dosud velmi nízká. Spolu s náročnějším servisem se jedná o hlavní faktor bránící jejich většímu rozšíření. Hybridní systémy jsou technicky méně vyzrálé a komplikovanější, z toho vyplývá vyšší cena a vyšší servisní náročnost. Dalším faktorem omezujícím rozšíření HEV je řidší síť servisních a čerpacích - dobíjecích stanic. Výrobci automobilů se zabývají vývojem hybridních pohonů v některých případech také jako prostředek k udržení kontinuity technického vývoje a marketingového tahu pro nabídku omezenému okruhu ekologicky orientovaných zákazníků.

Je jisté, že vývoj pohonů vozidel bude dále pokračovat a pokud nedojde k zásadním technickým vynálezům, bude podíl hybridních vozů na trhu stoupat. O vývojovém trendu v oblasti hybridních pohonů velmi dobře informuje seznam přírůstku hybridních vozidel na trhu všeho druhu [42]. Zdroj uvádí přírůstek 16 vozidel v letech 1899-1990, 12 vozidel mezi roky 1990-2000, 94 v následujícím desetiletí a od roku 2010 do současnosti (3. 1. 2017) celkem 53. Skutečnost, že mezi naposledy jmenovanými se objevují vozy jako McLaren, Ferrari, BMW a Porsche ukazuje, že s hybridními pohony se musí počítat jak mezi malými automobily, tak u speciálů stavěných za zakázku.

12 Seznam literatury

- [1] Hofman T. van Druten R. Scientific Research. *Research Overview Design Specifications for Hybrid Vehicles. European ELE-DRIVE Transportation*. [Online] 2004.
<https://pure.tue.nl/ws/files/2495541/45222537409412.pdf>.
- [2] Chart: Historical prices of crude oil (1861 - 2014). *Global Petrol Prices*. [Online] 8 2015.
<http://www.globalpetrolprices.com/articles/28/>.
- [3] KurzyCZ. *Ropa Brent - aktuální a historické ceny ropy Brent, graf vývoje ceny ropy Brent - 1 rok - měna USD*. [Online] 8. 12. 2017. [Citace: 10. 12. 2017.]
<http://www.kurzy.cz/komodity/ropa-brent-graf-vyvoje-ceny/>.
- [4] EPA. EPA's annual report shows model year (MY) 2015 fuel economy is at a record high and CO2 emissions are at a record low. *US Environmental Protection Agency*. [Online] 11 2016. [Citace: 10. 12. 2016.] <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/420r16010.pdf>.
- [5] Fuel Economy vs. Weight and Performance. *ENERGY.GOV*. [Online] 7. 2010. [Citace: 10. 12. 2016.] <http://energy.gov/eere/vehicles/fact-630-july-5-2010-fuel-economy-vs-weight-and-performance>.
- [6] Hromádka Jan, Hromádka Jiří, Miler P, Honig V. *Speciální spalovací motory*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011. ISBN 978-80-213-2168-7.
- [7] J. Kameš. *Alternativní pohony automobilů*. Praha : Nakladatelství BEN, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
- [8] P. Ralbovský. Palivové články. [Online] 2011.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39961.
Bakalářská práce.
- [9] T. Pícha. *Fotovoltaické články na nekřemíkové bázi*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta, 2015. Bakalářská práce.

- [10] M. Adamík. Solární auta: Je solární energie dostatečná? *Nazeleno.cz*. [Online] 26. 2. 2010. [Citace: 21. 12. 2016.] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily-1/solarni-auta-je-solarni-energie-dostatecna.aspx>.
- [11] J. Horčík. TWIKE - elektrická hybridní tříkolka za 15 000 euro. *Hybrid.cz*. [Online] 6. 2011. [Citace: 21. 12. 2016.] <http://www.hybrid.cz/twike-elektricka-hybridni-trikolka-za-15-000-euro>.
- [12] Wikipedia. Supercapacitors. [Online] 2016. [Citace: 19. 12. 2016.] https://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor#Construction_details.
- [13] Hanania J, Heffernan B, Jenden J, Leeson R, Donev J. Energy education. *Supercapacitor*. [Online] University of Calgary, [Citace: 19. 12. 2016.] <http://energyeducation.ca/encyclopedia/Supercapacitor>.
- [14] Ultracapacitors. *LS Ultracapacitors*. [Online] LSMtron. [Citace: 19. 12. 2016.] <http://www.ultracapacitor.co.kr/ultracapacitor/introduction.html>.
- [15] Hydrostatic Braking Systems. *Fiba Canning*. [Online] 2010. [Citace: 2. 2. 2017.] <http://www.fibacanning.com/cumulo/hybrid/>.
- [16] Advanced Energy Recovery for Hybrid Vehicles. *Caruso-Paquette Group*. [Online] 2011. [Citace: 21. 12. 2016.] http://cas.umkc.edu/physics/caruso/research/advanced_energy_recovery.html.
- [17] KERS. *Wikipedia*. [Online] 6. 1. 2016. [Citace: 1. 1. 2017.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/KERS>.
- [18] G. Lagunoff. *Automotive Hybride Technology*. Lulea University of Technology : Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, 2008. CIV-ISSN 1402-1617 - ISRN: LTU-EX--08/217--SE.
- [19] J. Hromádka. *Speciální spalovací potory a alternativní pohony*. Praha : Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [20] Hybrid vehicle drivetrain. *Wikipedia*. [Online] 13. 1. 2017. [Citace: 12. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle_drivetrain.

- [21] Baumann BM, Washington G, Glenn BC, Rissoni G. Mechatronic Design and Control of Hybrid Electric Vehicles. *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*,. 2000, Sv. 5;1, http://ece.ut.ac.ir/classpages/S84/Mechatronics/HEV_C/fer7.pdf.
- [22] M. Chomat. Engineering » Electrical and Electronic Engineering » "New Applications of Electric Drives". *Intech*. [Online] 9. 12. 2015. [Citace: 15. 1. 2017.] <http://www.intechopen.com/books/new-applications-of-electric-drives/modeling-and-control-strategy-for-hybrid-electrical-vehicle>. ISBN 978-953-51-2233-3.
- [23] Komatsu 930 e. *Wikipedia*. [Online] 2. 10. 2016. [Citace: 10. 2. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Komatsu_930E.
- [24] Protean Electric Overview. *Proten Electric*. [Online] 2017. [Citace: 10. 2. 2017.] <http://www.proteanelectric.com/overview/>.
- [25] Ford Fiesta E-Wheel Drive: electric prototype debuts in-wheel motor tech. *Caradvice*. [Online] 2013. [Citace: 10. 2. 2017.] <http://www.caradvice.com.au/226013/ford-fiesta-e-wheel-drive-electric-prototype-debuts-in-wheel-motor-tech/>.
- [26] Protean 'Inside-Out' Wheel Motor Design: A Company To Watch? *Green Cars Reports*. [Online] 2016. [Citace: 10. 2. 2017.] http://www.greencarreports.com/news/1050749_protean-inside-out-wheel-motor-design-a-company-to-watch.
- [27] 2017 – 2018 Hybrid SUVs and cars. [Online] 2017. [Citace: 11. 1. 2017.] <http://www.2017hybridsuv.com/2017-bmw-i3-hybrid-review-price/>.
- [28] K.C. Krthik. Electric and Hybrid Vehicles. *Slide Share*. [Online] 2016. [Citace: 10. 3. 2017.] <http://www.slideshare.net/dasaramutt/electric-and-hybrid-vehicles>.
- [29] Toyota Prius nové generace. *Hybrid.cz*. [Online] 10 2015. [Citace: 10. 1. 2017.] <http://www.hybrid.cz/toyota-prius-4-generace-vse-co-potrebuje-vedet>.
- [30] Toyota Prius Plug-in Hybrid. *Wikipedia*. [Online] 4. 1. 2017. [Citace: 8. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_Plug-in_Hybrid#Second_generation_.28Prius_Prime.29_.28XW50.3B_2016.E2.80.93present.29.

- [31] Wikipedia. Hybride Synergy Drive. *Wikipedia*. [Online] 3. 12. 2016. [Citace: 10. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Synergy_Drive.
- [32] Chevrolet Volt 2017. *Chevrolet.com*. [Online] 2017. [Citace: 10. 2. 2017.] <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car/build-your-own.html#/trim>.
- [33] Chevrolet Volt. *Wikipedia*. [Online] 5. 1. 2017. [Citace: 7. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Volt.
- [34] Cars. *Plugincars*. [Online] 2017. [Citace: 10. 1. 2017.] <http://www.plugincars.com/cars>.
- [35] Plug-in hybrids. *Hybridcars*. [Online] Neznámý, 2017. [Citace: 10. 1. 2017.] <http://www.hybridcars.com/plug-in-hybrid-cars/>.
- [36] Best hybrid cars on sale in 2016/2017. *AutoExpress*. [Online] 6. 12. 2016. [Citace: 10. 1. 2017.] <http://www.autoexpress.co.uk/best-cars/86211/best-hybrid-cars-sale>.
- [37] Nissan Altima. *Wikipedia*. [Online] 7. 1. 2017. [Citace: 15. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Altima.
- [38] Honda insight. *Wikipedia*. [Online] 24. 12. 2016. [Citace: 15. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_Insight.
- [39]. Integrated Motor Assist (IMA). *Dwolsten tripod*. [Online] 13. 8. 2007. [Citace: 14. 1. 2017.] <http://dwolsten.tripod.com/articles/dec98a.html>.
- [40] Start-stop system. *Wikipedia*. [Online] 11. 1. 2017. [Citace: 12. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Start-stop_system.
- [41] M. Novák. *Hybridní pohony osobních vozidel*. [Bakalářská práce] Brno : Vysoké učení technické v Brně; Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [42] List of hybrid vehicles. *Wikipedia*. [Online] 3. 1. 2017. [Citace: 15. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_hybrid_vehicles#2014_and_beyond.
- [43] Integrated Motor Assist. *Wikipedia*. [Online] 7. 1. 2017. [Citace: 15. 1. 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_Motor_Assist.

13 Seznam zkratek

AC střídavý proud

CVT (Continuously Variable System) kontinuální převodový systém

CNG compressed natural gas, zemní plyn, metan

DC stejnosměrný proud

DOH degree of hybridisation, stupeň hybridizace

EM elektromotor

GM General Motors

HEV Hybrid electric vehicles, hybridní elektrická vozidla

HPV hybridní pohon vozidel

HVB vysokovoltážní baterie

ICE - SM - internal combustion motor, vnitřní spalovací motor

KM konvenční motor (spalovací)

KERS Kinetic Energy Recovery System, systém rekuperace kinetické energie

Li-ion lithium iontová baterie

LPG liquified petroleum gas, propan butan

MG motor/generátor

NiCD nikl kadmiová baterie

Ni-MH nikl-metalhidrid (baterie)

SM spalovací motor

14 Seznam grafů

Graf 1 Historický vývoj cen ropy 1861-2014 [2].....	3
Graf 2 Vývoj přepočítané spotřeby paliva osobních a nákladních automobilů (24,1 mpg = 9,76 l/100 km; mpg - mil/galon) [4]	4
Graf 3 Vývojové trendy výkonu, hmotnosti, spotřeby paliva a zrychlení lehkých vozidel v letech.....	4
Graf 4 Produkce CO ₂ v letech 1975-2016 v USA. * roční průměr, - tříletý klouzavý průměr [4].....	5
Graf 5 Vztah hustoty energie a výkonu u jednotlivých druhů skladovacích technologií; upraveno podle [16].....	14

15 Seznam obrázků

Obr. 1 Některé hlavní faktory zvažované při vývoji hybridních pohonů vozidel. EC (energy conversion components) - komponenty transformace energie; EEC (energy exchange system) - systém výměny energie [1].....	2
Obr. 2 Prototyp solárního vozu značky Honda [10]	9
Obr. 3 Sinclair X-1 - elektroskútr nebo elektrokolo? [11].....	10
Obr. 4 Schéma superkondenzátoru a jeho uspořádání. Porous carbon electrode - porézní uhlíková elektroda; Multi layer - mnohvrstevné uspořádání [13], [14].....	12
Obr. 5 Schéma hydrostatického hybridního pohonu nákladního automobilu; Legenda: 1) Plynový signál, 2) Brzdový signál, 3) Signál ke spuštění motoru, 4) Signál k převodovce, 5) Informace o rychlosti, 6) Informace o hydraulickém systému: a) Hydraulická pumpa, b) Hydraulický náhon, c) Kompresor, d) Zásobník hydrauliky, e) Elektronická kontrolní jednotka) [15].....	13
Obr. 6 Systém rekuperace brzděné energie KERS navrhovaný pro vozy F 1 [17].....	14
Obr. 7 Grafické vyjádření rozdělení příkonu u hybridního pohonu dvou hnacích jednotek. (IC, ICE konvenční spalovací motor; EM elektromotor; HEV hybridní pohon vozidla; DOC stupeň hybridizace).....	19
Obr. 8 Sériové uspořádání hybridního pohonu. Legenda: F palivo, B baterie, E spalovací motor, P měnič, G generátor, M převodovka, T převod na kola [22]	21
Obr. 9 Schéma paralelního hybridního pohonu. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; M převodovka; T převod na kola [22]	22
Obr. 10 Možné toky výkonu u paralelního HEV. (A)-(E) různé toky výkonu. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; M převodovka; T převod na kola [22].	23
Obr. 11 Sériově-paralelní uspořádání HEV. Legenda: F palivo; B baterie; E spalovací motor; P měnič; G převodovka; M převodovka; T převod na kola [22]	23

Obr. 12 Paralelní koncepce HEV dle Daimler Chrysler 2004. Legenda: F - palivo; B - baterie; Combustion Engine, ICE - spalovací motor; EM1, EM2 elektromotory; Gear Box - převodovka; Clutch - spojka [22]	24
Obr. 13 Obří transportér Komatsu 930e poháněný dieselelektrickým agregátem se systémem přímého elektrického pohonu kol [23]	25
Obr. 14 In-wheel systém pohonu vyvinutý firmou Protean Drive [26]	25
Obr. 15 Blokové schéma pohonu HEV se sériově-paralelním pohonem [28]	26
Obr. 16 Některé módy zapojení pohonu full-hybrid HEV v paralelním uspořádání pohonu. Legenda: Eng spalovací motor, Mot elektromotor, Batt baterie, PE měnič el. proudu, TX převodovka, Clutch spojka [20]	27
Obr. 17 Toyota Prius Prime XW50; výroba 2016 — dosud [30]	27
Obr. 18 Třetí generace (G3) Toyota hybrid: Hybrid Synergy Drive (HSD) s MG2 systémem řazení. Od roku 2005 vozidla RX 400h a Toyota Highlander Hybrid doplnily náhon na 4 kola. "S-C-R" planetová převodovka S : centrální kolo; C : unašeč satelitů, R : korunové kolo; motor-generátor MG1 & MG2 , vnitřní spalovací motor ICE [31]	28
Obr. 19 Výkonová elektronika a hybridní pohonný systém Toyota HSD Prius 2010-2015 [31]	31
Obr. 20 Chevrolet Volt 2017 foto a uspořádání hnací jednotky [32]	32
Obr. 21 Schéma pohonu Honda IMA[39] a vyobrazení hnací jednotky první generace Honda Insight 1999 [39].....	36

16 Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání jednotlivých druhů baterií na základě některých charakteristik [7] ...	11
Tabulka 2 Typ HEV podle stupně hybridizace [20]; + systém přítomen; - systém nepřítomen	18
Tabulka 3 Některé výhody a nevýhody hybridních pohonných systémů; upraveno podle [18]	20
Tabulka 4 Rozdělení HEV podle napětí v systému elektrického pohonu [22]	24
Tabulka 5 Srovnání návratnosti investice do automobilu s hybridním pohonem (volně podle [41]; * hybridní pohon	37