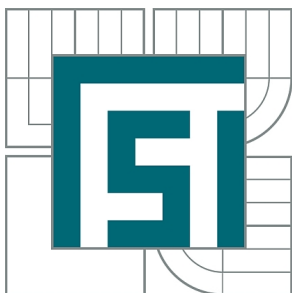


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNÍ HYBRIDNÍ POHONY OSOBNÍCH VOZIDEL

MODERN HYBRID DRIVE OF PASSENGER VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN ŠVOMA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Švoma

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:

Moderní hybridní pohony osobních vozidel

v anglickém jazyce:

Modern hybrid drive of passenger vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Těžištěm bakalářské práce je vypracování rešerše na téma moderních hybridních pohonů v osobních vozidlech.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Definice hybridního pohonu
- 2) Kategorizace hybridních pohonů dle konstrukce a využití
- 3) Přínost v oblasti automobilního průmyslu
- 4) Budoucnost hybridních pohonů v osobních vozidlech

Seznam odborné literatury:

- [1] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel
- [2] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel
- [3] Gillespie, T.: Fundamentals of Vehicle Dynamics

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Vančura, Ph.D.

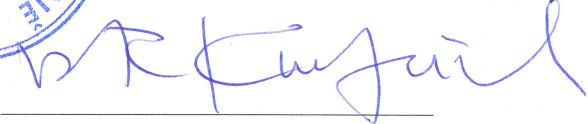
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013





prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou současných hybridních pohonů v osobních automobilech. Práce obsahuje kategorizaci hybridních pohonů podle konstrukce a využití. Zabývá se také rozбором jednotlivých komponent a popisuje vhodnost jejich použití v různých situacích. Dále je zaměřena na aktuální nabídku hybridních vozidel a možnosti dalšího vývoje. V závěru jsou zhodnocena ekonomická hlediska a vyhlídky pro použití těchto systémů v budoucnu.

KLÍČOVÁ SLOVA

akumulátor, dobíjecí stanice, elektromobil, elektromotor, hybridizace, hybridní pohon, palivový článek, planetová převodovka, rekuperace energie, spalovací motor, spalovací turbína

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the current hybrid-drives in passenger cars. The thesis contains the categorization of hybrid systems according to structure and use. It also discusses the analysis of individual components and describes their suitability for use in different situations. It is focused on current offering of hybrid vehicles and development opportunities. At the end of are evaluated economic aspects and prospects for the use of these systems in the future.

KEYWORDS

battery, charging stations, electric vehicle, electric motor, hybridization, hybrid drive, fuel cell, planetary gearbox, energy recovery, combustion engine, combustion turbine



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVOMA, J. *Moderní hybridní pohony osobních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vančura, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vančury, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Jan Švoma



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Vančurovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při zpracování. Dík patří také mým rodičům, kteří mi umožnili samotné studium.



OBSAH

Úvod	10
1 Hybridní pohon obecně	11
2 Hlavní komponenty hybridních systémů	12
2.1 Spalovací motor	12
2.1.1 Pístové SM	12
2.1.2 Turbínové SM	13
2.1.3 Proudové SM	15
2.2 Elektromotor	15
2.3 Palivové články	16
2.4 Akumulátory	17
2.4.1 Olověné akumulátory	18
2.4.2 Ni-MH akumulátory	18
2.4.3 Li-Ion akumulátory	18
2.4.4 Li-pol akumulátory	18
2.4.5 Zinek-vzduch akumulátory	18
2.5 Rekuperace energie	18
2.5.1 Rekuperace pomocí setrvačníku	19
2.5.2 Regenerativní brždění	19
3 Druhy hybridních pohonů	20
3.1 Struktura pohonu	20
3.1.1 Sériové uspořádání	20
3.1.2 Paralelní uspořádání	22
3.1.3 Kombinované (smíšené) uspořádání	24
3.2 Stupně hybridizace	29
3.2.1 Micro hybrid	29
3.2.2 Mild Hybrid	30
3.2.3 Full hybrid	30
3.2.4 Plug-in hybrid	31
3.2.5 Range extender	31
4 Přínos v oblasti automobilního průmyslu	32
4.1 Zdokonalení spalovacích motorů	32
4.2 Vývoj vhodných elektrických strojů	32
4.3 Zdokonalení akumulátorové techniky	32
5 Srovnání současných hybridních automobilů	35
Závěr	36



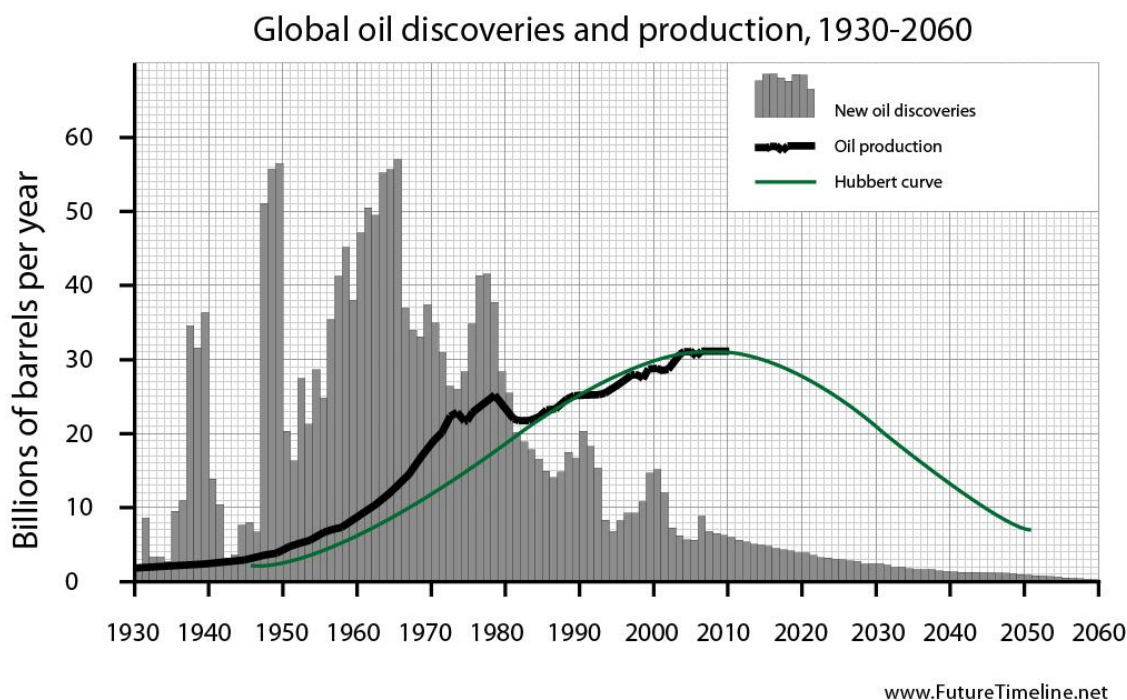
Seznam použitých zkratek a symbolů	40
--	----



ÚVOD

Moderní člověk si těžko dokáže představit život bez možnosti rychlé a pohodlné přepravy. Vlastnictví osobního automobilu už dávno není výsadou několika majetných vyvolených, i proto lze v dnešní době pozorovat poměrně hustý provoz, jehož většinou část tvoří automobily vybavené konvenčním pohonem se zážehovým nebo vznětovým spalovacím motorem (SM).

Současná automobilová doprava se ve značné míře podílí na celkové spotřebě ropy a znečištění ovzduší. Celosvětové zásoby fosilních paliv se pomalu ale jistě ztenčují a proto je třeba je co nejefektivněji využívat. Poslední studie (dle obr 1.1) odhadují vyčerpání dosud známých ložisek v horizontu přibližně padesáti let.



Obr 1.1 Světová produkce a odhadované zásoby ropy [4]

Při řešení otázek budoucnosti osobní dopravy je třeba splnit kritéria související s ekonomikou provozu, životním prostředím atd. Přední světové automobilky se v duchu této filozofie zabývají vývojem automobilů s čistě elektrickým pohonem, které by neprodukovaly žádné emise. Zde jsou však limitujícím faktorem dostupné technologie.

Použití hybridních pohonů (HP) se tak jeví jako krok správným směrem (jak v souvislosti se snížením množství emisí, tak se snížením spotřeby pohonných hmot) alespoň do doby, než se pořizovací cena ryzích elektromobilů sníží natolik, že bude možné je rozšířit mezi spotřebitele. Důležitá bude samozřejmě i optimalizace v oblastech jako je dojezd a dostatečně hustá síť dobíjecích stanic.

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení přínosu použití hybridních pohonů v osobních automobilech a odhadnout směr jejich dalšího vývoje. Jsou hybridní pohony šetrnější k životnímu prostředí, než klasické konvenční jednotky? Mají naději uspět v globálním měřítku? Tyto a mnohé další důležité otázky budou zodpovězeny na následujících stranách.

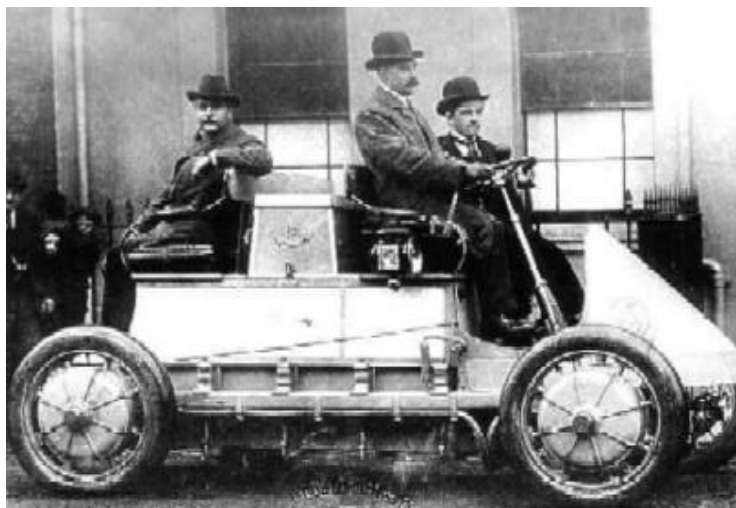


1 HYBRIDNÍ POHON OBECNĚ

Každý pohon, který využívá minimálně dva různé zdroje energie lze považovat za hybridní. Při různých režimech jízdy dokáže využít výhodných vlastností jednotlivých energetických zdrojů k dosažení úspory paliva a snížení produkce emisí. Podstatou hybridního pohonu je provoz dílčích agregátů v optimálních podmínkách, pro které jsou navrženy, a tím dosažení nejvyšší možné účinnosti. Ve většině případů konstrukce hybridních pohonů je použita kombinace spalovacího motoru a elektromotoru, jejichž vlastnosti budou dále rozebrány.

Hlavním důvodem rozvoje těchto druhů pohonů je snaha o vytvoření vozidla produkujícího minimální množství emisí. Zde se nabízí otázka, proč nesoustředit pozornost přímo na vývoj elektromobilů, které jsou poháněny elektromotory napájenými z akumulátorů a neprodukují tak žádné emise? Stále je třeba vyřešit mnoho problémů jako např. zvýšení výkonu, snížení hmotnosti, zvětšení kapacity akumulátorů, zkrácení doby nabíjení atd. Vývoj se tak prozatím snaží vytěžit maximum ze současných dostupných technologií. Zkoumají se různé způsoby jak emise zredukovat. Spalovací motory jsou zdokonaleny na nejvyšší možnou úroveň, ale hodnota emisí při jejich provozu je stále poměrně vysoká. Zkombinováním elektromotoru a spalovacího motoru vznikla první hybridní vozidla, která by měla množství zplodin zredukovat.

První hybridní vozidlo spatřilo světlo světa na přelomu 19. a 20. století rukou německého konstruktéra s českými kořeny Ferdinanda Porsche. Zážehový motor poháněl dynamo, které pak napájelo elektromotory v nábojích hnané nápravy. Vozidlo se obešlo bez převodovky a elektrická část pohonu pracovala s účinností až 80% [32], [33]



Obr. 1.2 První hybridní vozidlo **Lohner-Mixte** a **Ferdinand Porsche** jako řidič [32]



2 HLAVNÍ KOMPONENTY HYBRIDNÍCH SYSTÉMŮ

Tato kapitola popisuje nejdůležitější komponenty hybridního systému.

2.1 SPALOVACÍ MOTOR

„Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín.“ [23]

V případě konvenčních vozidel je SM obvykle uložen v přední části karoserie, méně častým řešením je umístění před zadní nápravou. To platí také v případě hybridního systému.

Podle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci lze SM rozdělit na tři skupiny:

2.1.1 PÍSTOVÉ SM

Jak pracují? Translační pohyb pístu je převáděn na rotační pohyb klikového hřídele. Dnes se tyto motory používají pro pohon téměř veškerých osobních automobilů. Dále lze pístové motory dělit podle různých kritérií. Pro další účely využijme rozdělení podle způsobu zapálení palivové směsi. [23]

ZÁŽEHOVÝ SM

Palivem je benzin. K zapálení směsi paliva a vzduchu je zapotřebí elektrická jiskra, zažehnutá v přesně daném okamžiku pomocí elektrického výboje. V případě hybridních systémů se využívají zejména tyto druhy SM díky možnosti dodání vysokého výkonu při relativně nízkém zdvihovém objemu. Tím se snižují nároky na hmotnost a prostor.

Příkladem použití je **Honda Accord hybrid**.



Obr. 2.1 Jednotka zážehového motoru vozidla Honda Accord Hybrid [27]

VZNĚTOVÝ SM

Palivem je motorová nafta. K zapálení směsi dojde vstříknutím paliva do válce pod vysokým tlakem. Vzduch stlačený ve válci je zahřátý na takovou teplotu, aby při vstříknutí paliva došlo



ke vznícení. V současnosti nejpoužívanějším systémem vstřikování paliva je systém Common rail. Z hlediska využití v případě hybridních pohonů tvoří vznětové motory minoritní podíl.

Příkladem použití je **Volvo V60 Plug-In hybrid**.



Obr. 2.2 Jednotka vznětového motoru vozidla Volvo V60 Plug-In hybrid [26]

VÝHODY:

- ✓ Poskytují vysoký výkon
- ✓ Přiměřená cena
- ✓ Snadné doplnění paliva
- ✓ Velký dojezd na jedno natankování
- ✓ Dostatečná síť čerpacích stanic

NEVÝHODY:

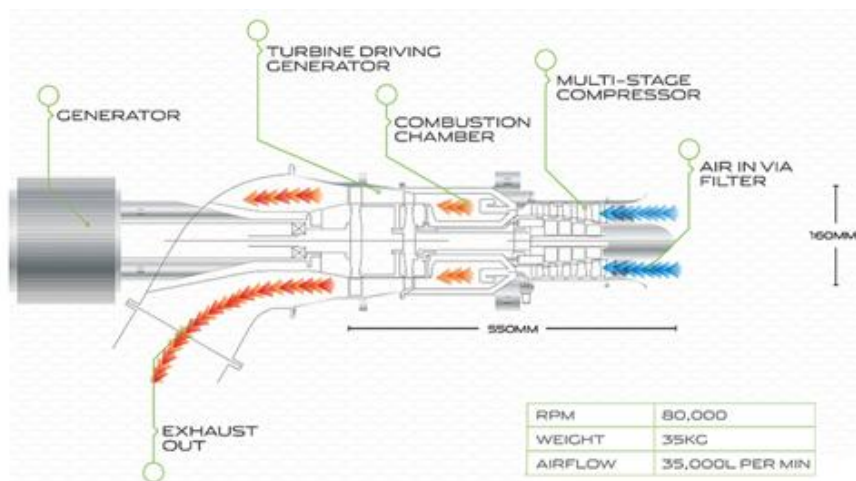
- ✗ Produkce emisí
- ✗ Nízká účinnost
- ✗ Hlučnost
- ✗ Vyšší hmotnost

2.1.2 TURBÍNOVÉ SM

Mechanická energie se získává z dynamické energie spalin. Spalování probíhá ve spalovací komoře, do které je přiváděn vzduch, zpravidla rotačním kompresorem poháněným turbínou. Kapalně palivo se do spalovací komory vstříkuje tryskami. [23]

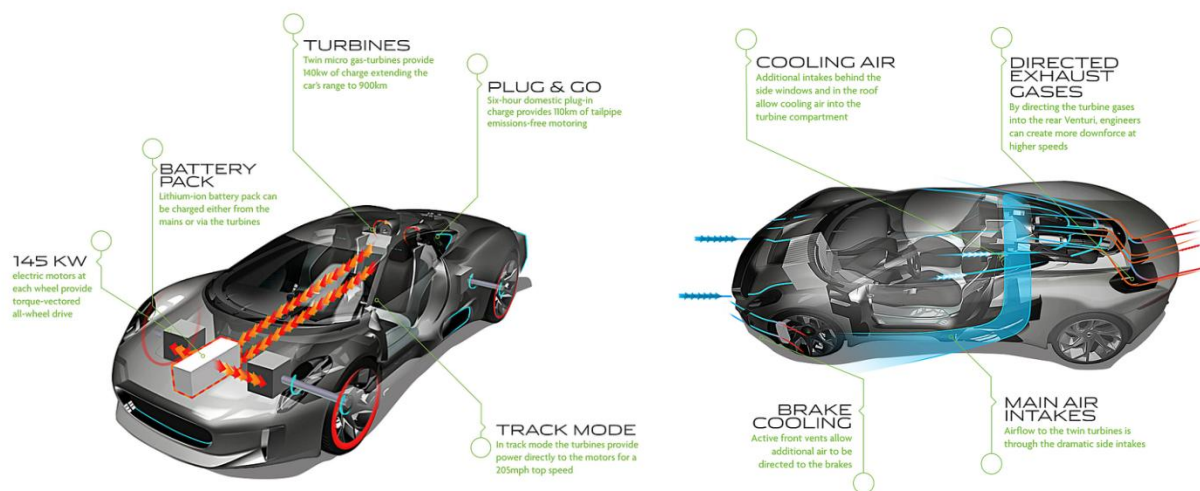
Spalovací turbíny se k přímému pohonu konvenčních vozidel využívají zřídka. V případě použití sériového hybridního systému lze využít některé výhody tohoto typu motoru. Zejména se jedná o provoz motoru v konstantních otáčkách. Lze tak dosáhnout snížení produkce emisí, snížení hmotnosti a další.

Tímto směrem se vydala automobilka Jaguar se svým konceptem C-X75.



Obr. 2.3 Spalovací turbína firmy **Bladonjets**, použitá v konceptu Jaguar C-X75 [24]

Turbína pracuje na principu kontinuálního spalování dle Braytonova cyklu. Vzduch vstupuje přes filtr do turbíny (*air in via filter*), kde se pomocí kompresoru (*multi-stage compressor*) zvýší jeho tlak a teplota. Před vstupem do spalovací komory (*combustion chamber*) se v daném poměru smísí s palivem a dochází k tvorbě směsi. Ta je pak spálena v komoře. Palivo v turbíně (*turbine driving generator*) expanduje a roztáčí ji, tím koná práci. Turbína a kompresorové kolo jsou uloženy na jednom hřídeli. Na stejném hřídeli je také generátor (*generator*), který vyrábí elektrický proud. Otáčky hřídele se pohybují v řádech desetitisíců za minutu, tedy o řád výše než v případě pístových SM. Dále výfukové plyny procházejí výměníkem tepla, kde předehtřívají nasávaný vzduch za účelem zvýšení účinnosti turbíny. Nakonec vystupují spaliny do výfukového prostoru (*exhaust out*). [24], [25]



Obr. 2.4 Schéma toku energie a proudění vzduchu u konceptu Jaguar C-X75 [24]

VÝHODY:

- ✓ Kompaktní rozměry
- ✓ Nízká hmotnost
- ✓ Využití různých pohonných hmot
- ✓ Vysoká pravidelnost chodu



- ✓ Nižší obsah škodlivin ve zplodinách

NEVÝHODY:

- ✗ Vysoká měrná spotřeba paliva
- ✗ Pomalé reakce při zvyšování otáček
- ✗ Vysoké tepelné namáhání
- ✗ Vyšší hlučnost
- ✗ Nízká energetická účinnost (15-30%)

2.1.3 PROUDOVÉ SM

U proudových motorů se využívá reakční síly vytékajících spalin. Ve výstupní trysce vzniká vysoký tlak a tepelná energie se mění na kinetickou, tím vzniká tah motoru. Tento typ motoru není pro použití v osobních automobilech vhodný.[23]

2.2 ELEKTROMOTOR

Druhým ze zdrojů točivého momentu pro pohon je elektromotor. Téměř od nulových otáček poskytuje poměrně vysoký točivý moment, čímž vhodně doplňuje spalovací motor, který naopak dodává dostatečný točivý moment až při vyšších otáčkách. Některé elektromotory mohou pracovat v generátorickém režimu a během decelerace tak měnit kinetickou energii, která by se jinak přeměnila na teplo, na elektrickou energii. Získaná elektrická energie může být následně použita k dobíjení akumulátorů. Takto je definována rekuperace energie.

Výběr vhodného typu elektromotoru závisí na mnoha aspektech. Účinnost elektromotoru je primárně ovlivněna rozsahem pracovních otáček, který vychází ze zvoleného uspořádání hybridního systému. Z hlediska účinnosti je taktéž důležité zajištění kvalitního chlazení. Elektromotory lze v zásadě rozdělit následovně:

- „Stejnoseměrné elektromotory DC
 - Stejnoseměrný motor se sériovým buzením.
 - Stejnoseměrný motor s cizím buzením.
 - Stejnoseměrné motory s derivačním buzením.
 - Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením.
- Střídavé elektromotory AC
 - **Asynchronní motor.**
 - **Synchronní elektromotor s permanentním buzením.**
 - Magnetický elektromotor.“ [1]

Umístění elektromotoru v hybridním systému závisí výhradně na struktuře pohonného systému. Systém může být osazen jedním nebo i několika elektromotory zároveň. Elektromotory se zpravidla umísťují do blízkosti hnané nápravy. Uvedené typy AC elektromotorů vyžadují elektronický měnič DC/AC a vhodný systém regulace. Úspěšně se testují elektromotory umístěné přímo v nábojích kol.[25]



Obr. 2.5 Elektromotor integrovaný v náboji kola od firmy **Protean Elektrik** [28]

VÝHODY:

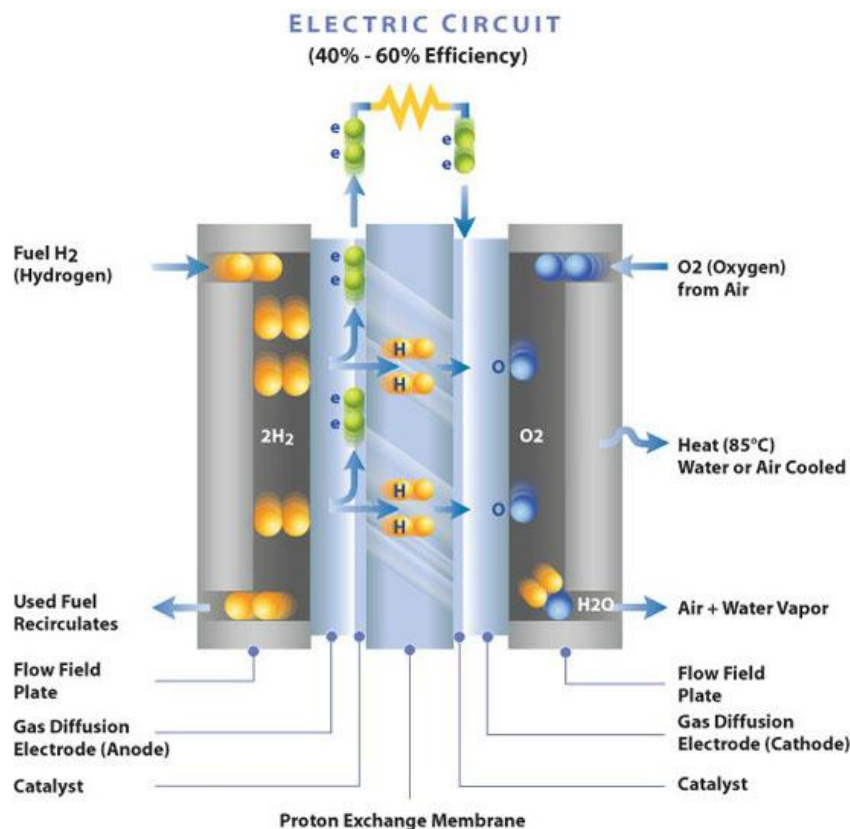
- ✓ Žádné emise
- ✓ Nízká hladina hluku
- ✓ Vysoký točivý moment již od nízkých otáček
- ✓ Lze použít jako motor nebo jako generátor
- ✓ Vyšší účinnost než SM
- ✓ Nízká cena

NEVÝHODY:

- ✗ Závislost na přísunu el. energie

2.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Namísto spalovacího motoru ve spojení s generátorem se jako zdroj energie pro pohon elektromotoru nabízí použití palivových článků. Palivový článek je zařízení, které na základě chemických reakcí mění vnitřní energii paliva na elektrickou energii, přičemž vniká voda a teplo. Existuje několik koncepcí palivových článků. Z hlediska použití v automobilovém průmyslu disponuje vhodnými vlastnostmi vodíkový článek. Hlavní součásti tvoří anoda, katoda, membrána, elektrolyt a samotný blok palivového článku. Princip jeho fungování je znázorněn na obr. níže. Do prostoru anody je přiváděn vodík v plynné fázi (H_2). Na anodě dojde k rozštěpení molekuly na protony a elektrony. Protony difundují elektrolytem ke katodě, zatímco uvolněné elektrony vytvářejí v připojeném obvodu elektrický proud. Protony, které prostoupily ke katodě, reagují se vzdušným kyslíkem za vzniku vodní páry. Mezi elektrodami vzniká rozdíl potenciálu asi 1 V. K dosažení dostatečně vysokého napětí je třeba zkombinovat několik desítek těchto elementů do jednotlivých svazků. Tyto svazky lze dále kombinovat, dokud není dosaženo požadovaných výstupních hodnot napětí a proudu. Vodík lze přivádět buď v plynném či kapalném skupenství. Lze použít i jiná paliva s vysokým obsahem vodíku - např. zemní plyn, metan a další. [1],[31]



Obr. 2.6 Princip vodíkového palivového článku [29]

VÝHODY:

- ✓ Tichý provoz
- ✓ Nulové emise (pouze vodní pára)
- ✓ Nezávislost na fosilních palivech

NEVÝHODY:

- ✗ Náročná a nákladná výroba vodíku
- ✗ Nízká účinnost při vysokém zatížení
- ✗ Vysoká cena

2.4 AKUMULÁTORY

V konvenčních vozidlech je akumulátor (zpravidla olověný) využíván výhradně pro roztočení startéru a následný rozběh SM. Palubní systémy jsou pak napájeny el. energií z alternátoru. V hybridních vozidlech akumulátory slouží také jako zásobárna energie pro provoz elektromotorů. Důležitou charakteristikou je kapacita. S rostoucí kapacitou roste doba, po kterou je akumulátor schopen dodávat dané množství energie systému, pro jehož napájení je navržen. Lze definovat další veličiny, popisující vlastnosti akumulátorů. Měrná energie má vliv na dojezd, měrný výkon pak ovlivňuje charakter rychlosti a zrychlení. Důležitým atributem akumulátoru je také doba nabíjení. Konvenční akumulátory lze v případě totálního vybití plně dobít v řádu několika hodin. Objevují se však přístupy, které dobu nabíjení posunují do řádů minut. Hlavními problémy, se kterými se inženýři při konstrukci akumulátorů setkávají, jsou nízká kapacita, příliš velké rozměry a dlouhá doba nabíjení. Existuje řada druhů akumulátorů pro specifické aplikace, přičemž mezi nejvýznamnější



z hlediska automobilového průmyslu se řadí **olověné**, nikl-metalhydridové (**Ni-MH**), lithium-polymerové (**Li-Pol**), lithium-iontové (**Li-Ion**) a **Zn-vzduch** akumulátory [1],[31]

2.4.1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY

Na jedné straně je technologie velmi spolehlivá, na straně druhé obsahují toxické látky - elektrolyt v podobě kyseliny sírové a olověné elektrody. První hybridní vozy využívaly tyto akumulátory právě díky spolehlivosti a příznivé ceně. Pro vysokou hmotnost a rozměry se od jejich použití pro tento účel upustilo. Nadále však výborně fungují jako startovací akumulátory v konvenčních vozidlech.[1],[31]

2.4.2 NI-MH AKUMULÁTORY

V porovnání s olověnými akumulátory mají dvojnásobnou energetickou hustotu. Mohou tak mít menší rozměry a hmotnost. Vynikají dlouhou životností (cca 2000 nabíjecích cyklů). Neobsahují toxické látky a proto je lze posléze recyklovat. Záporná elektroda je tvořena slitinou Mn,Co,Al a Mn. Kladná elektroda je tvořena hydroxidem hliníku. Jako elektrolyt je použit hydroxid draselný v kombinaci s destilovanou vodou.[1],[31]

2.4.3 LI-ION AKUMULÁTORY

Princip činnosti je založen na přenosu iontů mezi elektrodami přes elektrolyt. Mají vysokou hodnotu energetické hustoty a umožňují rychlé nabíjení. Taktéž vynikají dlouhou životností (až 3000 nabíjecích cyklů). Další výhodou je nízká hmotnost. Spolu s Ni-MH jsou nejvíce využívány v hybridních systémech.[1],[31]

2.4.4 LI-POL AKUMULÁTORY

U tohoto typu je místo kapalného elektrolytu použit polymer. Z bezpečnostního hlediska jde o významnou výhodu. Energetická hustota se pohybuje na hranici 150 Wh/kg. Ve srovnání s ostatními druhy mají poměrně krátkou životnost.[1],[31]

2.4.5 ZINEK-VZDUCH AKUMULÁTORY

Dosahují energetické hustoty až 230 Wh/kg. Principem činnosti je využití atmosférického kyslíku. Kyslík je odebírán přímo z atmosféry, což snižuje celkové rozměry a hmotnost akumulátoru. Katoda je z uhlíku a anoda ze zinku. Jako elektrolyt je použit hydroxid draselný. Tento typ akumulátoru patří mezi nejmodernější, je však citlivý na teplotní výkyvy.[1],[31]

VÝHODY:

- ✓ Při jízdě na el. energii nevznikají emise
- ✓ Tichý provoz
- ✓ Dostatečná kapacita

NEVÝHODY:

- ✗ Krátká životnost
- ✗ Dlouhá doba dobíjení
- ✗ Nemalá hmotnost a rozměry

2.5 REKUPERACE ENERGIE

Zejména při deceleraci a brždění se projevují energetické ztráty, kdy se kinetická energie vozidla mění bez dalšího užitku na teplo.



Rekuperace je procesem přeměny kinetické energie vozidla na dále využitelnou elektrickou energii.

V případě hybridních vozů lze rozlišit následující přístupy:

2.5.1 REKUPERACE POMOCÍ SETRVAČNÍKU

Tento systém vyžaduje propojení setrvačníku s pohonnou jednotkou prostřednictvím CVT převodu. Díky proměnnému převodu lze při deceleraci setrvačnick efektivně roztočit a dosáhnout tak uložení energie v podobě rotace hmoty. To samé platí v opačném směru. Má-li v daném okamžiku pohonná jednotka vyšší otáčky, je roztáčen setrvačnick, v opačném případě pak dodává setrvačnick točivý moment pohonné jednotce.[30]



Obr. 2.7 Setrvačnick hybridního systému vozu Jaguar XF 2013[30]

2.5.2 REGENERATIVNÍ BRZDĚNÍ

V případě tohoto řešení pracuje hnací motor při deceleraci v generátorickém režimu a získaná el. energie je ukládána do akumulátorů pro pozdější využití.

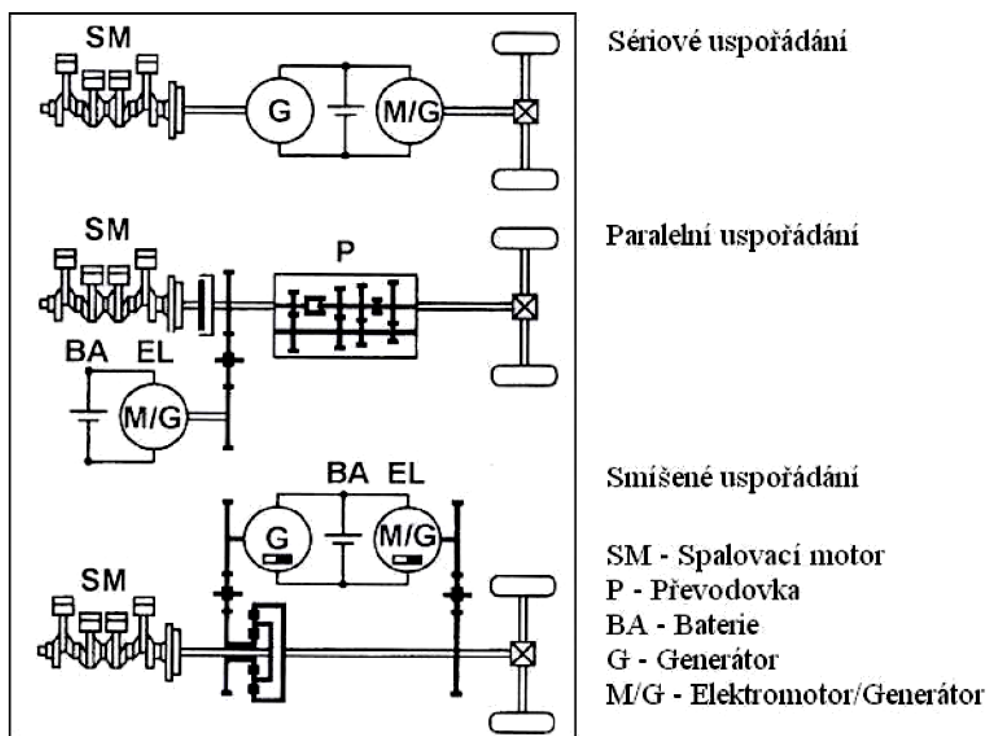
3 DRUHY HYBRIDNÍCH POHONŮ

Během poměrně krátké doby vznikla celá řada hybridních systémů, z nichž některé se ukázaly jako efektivní. Postupem času se ustálilo několik přístupů, jak tyto pohony dělit dle specifických vlastností.

V této části se zaměříme na rozdělení druhů hybridních pohonů dle struktury pohonu a stupně hybridizace.

3.1 STRUKTURA POHONU

Hybridní pohony lze podle toku výkonu rozdělit do tří základních skupin dle obr. 3.1.

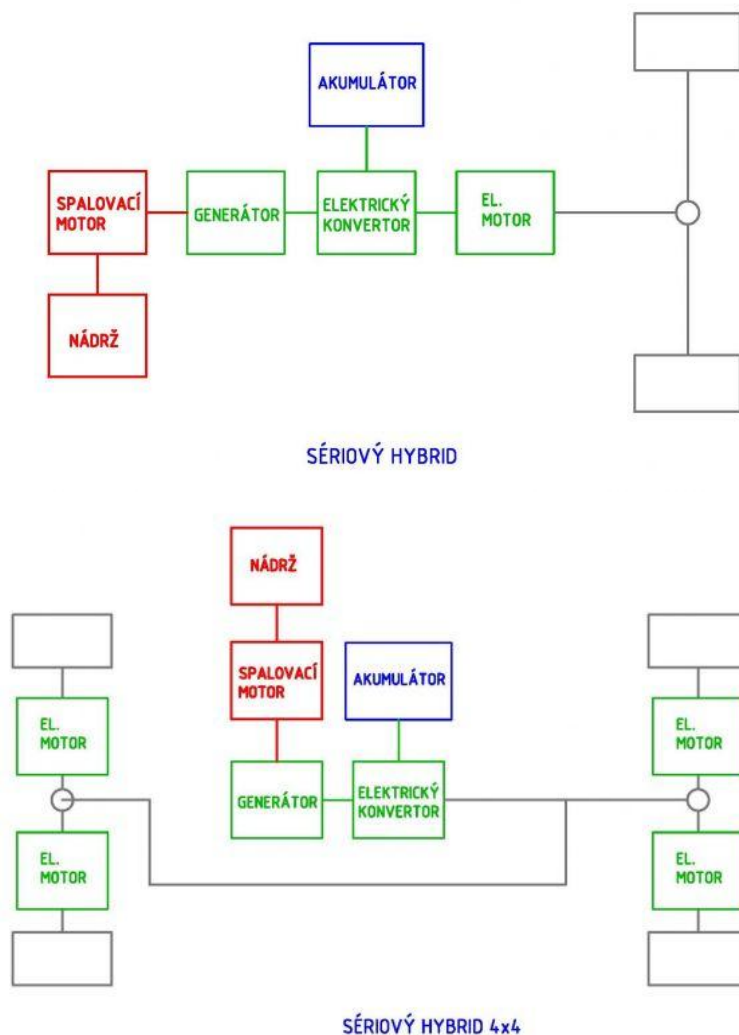


Obr. 3.1 Sériové, paralelní a kombinované (smíšené) uspořádání komponent v HP [1]

3.1.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

Jak napovídá název, podstatou je sériové uspořádání hlavních komponent v systému. Tato koncepce má nejbližší ke klasickým elektromobilům. Pohon hnané nápravy zajišťuje elektromotor, kterému dodává energii SM ve spojení s generátorem. SM není přímo spojen s hnanou nápravou a energie je přenášena čistě elektrickou cestou. Součástí systému je akumulátor, ve kterém je akumulována energie z generátoru. Primárně je elektromotor poháněn energií z akumulátorů, v případě vyčerpání kapacity akumulátorů je uveden do chodu SM, pohánějící generátor. Při potřebě vysokého výkonu může být systém poháněn zároveň energií z akumulátoru i generátoru. Pro pohon vozidla lze využít jediný elektromotor nebo kombinaci několika. Alternativou jsou elektromotory umístěné přímo v nábojích kol. Výhodou sériového uspořádání je možnost provozu SM v optimálních podmínkách. SM může pracovat při téměř konstantních otáčkách v oblasti s nejvyšší účinností při minimální produkci zplodin. Lze tak dosáhnout limitu teoretické účinnosti SM 37 %. Poměrně snadno

Lze využít některý ze systémů rekuperace energie, např. regenerativní brzdění nebo akumulaci kinetické energie v setrvačniku. Toto uspořádání je vhodné zejména pro městský provoz – časté rozjíždění a zastavování. Sériový typ pohonu využívá např. **Fisker Karma**. [1],[2],[3],[5],[6]



Obr. 3.2 Schéma toku výkonu u sériového hybridu [5]

VÝHODY

- ✓ Provoz SM v optimálních podmínkách
- ✓ Možnost použití ST
- ✓ Jednoduchá struktura
- ✓ Dobré dynamické vlastnosti při rozjezdu
- ✓ Absence mechanických prvků při přenosu točivého momentu na kola
- ✓ Vhodný pro městský provoz
- ✓ Možnost rekuperace

NEVÝHODY

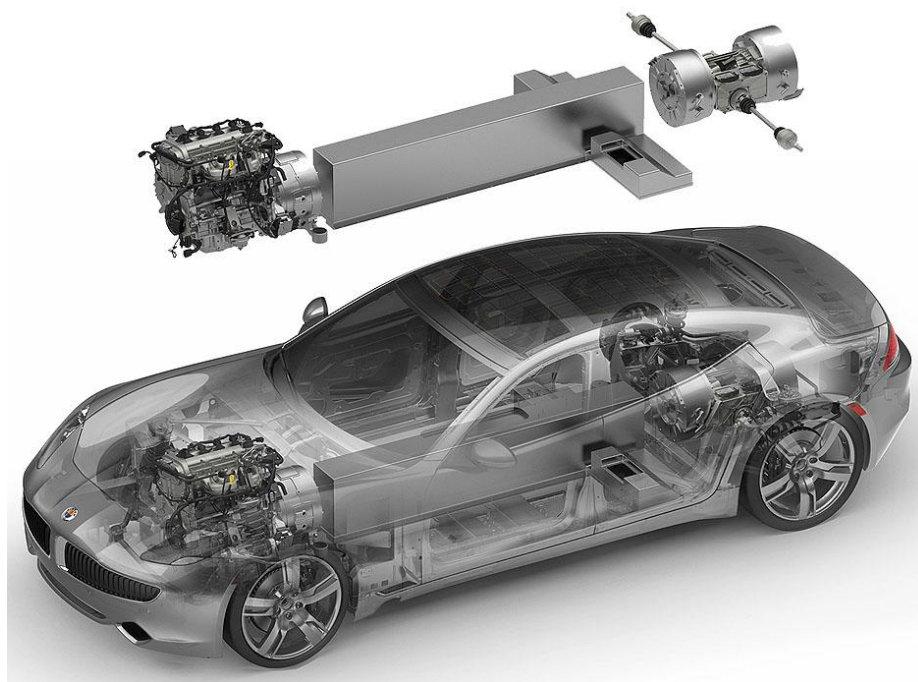
- ✗ Vícenásobná přeměna energie (ztráty)
- ✗ Vysoké nároky na akumulátory (časté nabíjení /vybíjení vysokým proudem)



- ✗ Potřeba použití minimálně 2 elektromotorů, z nichž jeden pracuje jako generátor.
- ✗ Nevhodný pro jízdu po dálnici

JAK FUNGUJE FISKER KARMA?

Pohon Fiskeru Karma zajišťuje sériový hybridní pohon. Točivý moment je přenášán na zadní kola pomocí dvojice elektromotorů systému Q-drive. Elektromotory jsou uloženy v prostoru zadní nápravy společně s diferenciálem. energii pro elektromotory dodávají akumulátory typu Li-Ion, uložené podélně ve střední části karoserie vozu. Pro dobíjení akumulátorů a pokrytí výkonových špiček je využit 4-válcový SM ve spojení s generátorem. SM a generátor jsou uloženy na společném hřídeli v přední části karoserie. Během decelerace využívá vůz regenerativní brzdový systém, čímž umožňuje účinnou rekuperaci kinetické energie. Akumulátory mohou být dále dobíjeny také přímo ze sítě pomocí kabelu. V čistě elektrickém režimu činí dojezd vozidla až 80 km. Fisker Karma se řadí mezi tzv. Plug-in hybridy, které budou popsány níže. [13], [14]

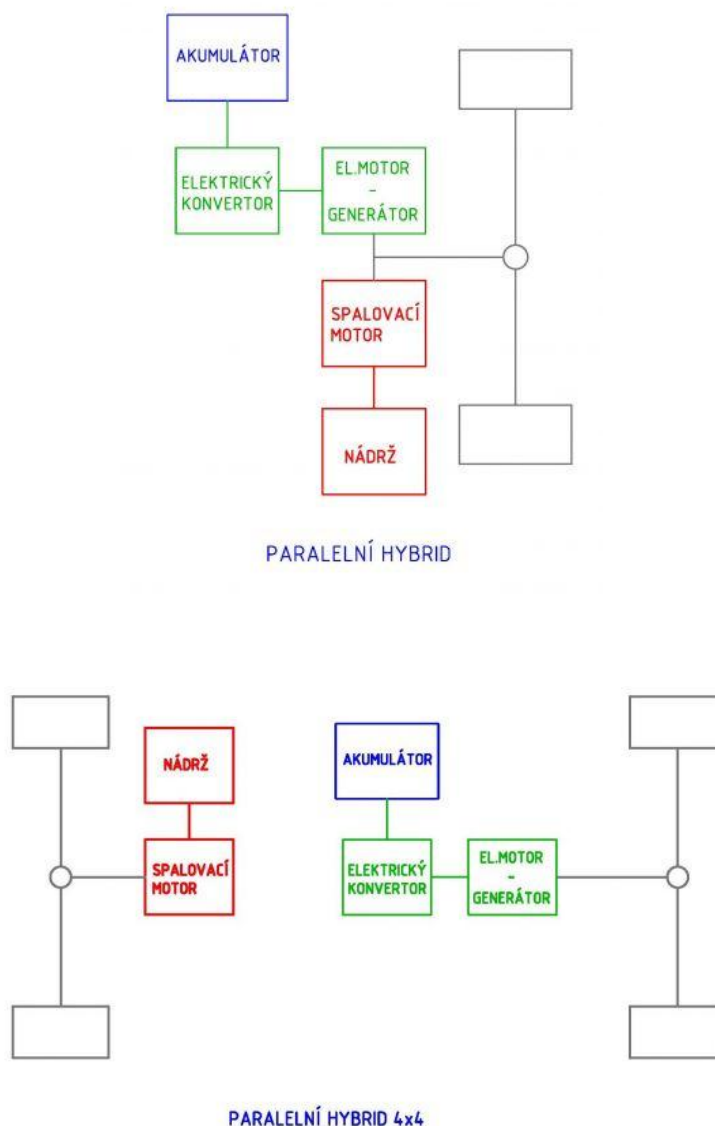


Obr. 3.3 Uspořádání hnacího ústrojí vozu Fisker Karma [8]

3.1.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

V případě této koncepce je vozidlo osazeno elektromotorem a SM, které jsou s hnanou nápravou spojeny mechanickou cestou. Je tedy třeba zařazení mechanických převodových prvků. Elektromotor (generátor) může být v případě hnané přední nápravy umístěn mezi SM a převodovkou, kde plní mimo jiné funkci alternátoru a startéru. El. energie je ukládána v akumulátorech. Za účelem zvýšení účinnosti SM jsou elektrické spotřebiče na palubě vozidla zásobovány energií z akumulátorů, případně generátoru. Pokud takovéto zařízení právě nepracuje, není mu dodávána energie. Oba motory jsou uloženy na totožném hřídeli, obvykle propojeném skrze planetovou převodovku. Obvykle dodává většinovou část výkonu SM a elektromotor je připojen v případě potřeby pokrytí výkonových špiček. Jiným řešením paralelního uspořádání je pohon přední nápravy pomocí SM a zadní nápravy pomocí

elektromotoru. Také u paralelního uspořádání lze využít možnosti rekuperace kinetické energie. Tímto typem pohonu je osazeno např. **BMW i8**. [1],[2],[3],[5],[7]



Obr. 3.4 Schéma toku výkonu u paralelního hybridu [5]

VÝHODY

- ✓ Odpadají ztráty spojené s transformací mechanické energie na elektrickou.
- ✓ Nižší nároky na akumulátory
- ✓ Vhodný pro provoz ve vyšších rychlostech
- ✓ Možnost použití jediného elektromotoru, který má zároveň funkci generátoru
- ✓ Možnost rekuperace

NEVÝHODY

- ✗ K pohonu nelze využít palivové články ani plynovou turbínu.
- ✗ Potřeba mechanického převodu
- ✗ SM pracuje také v nevhodných režimech



JAK FUNGUJE BMW i8?

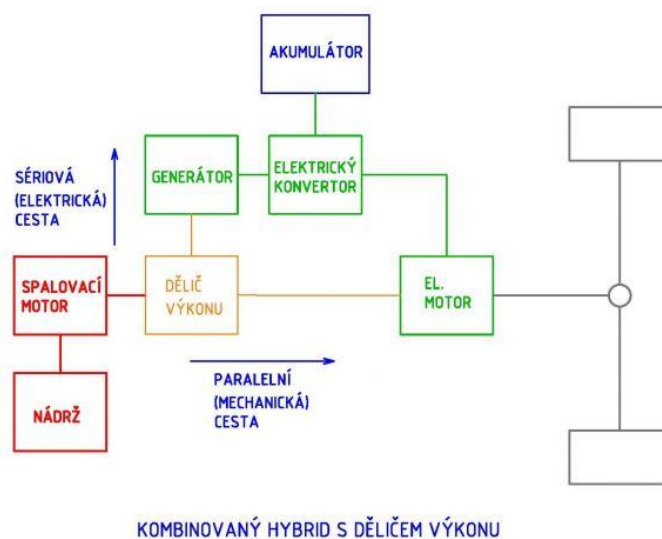
Z hlediska toku výkonu lze BW i8 označit jako paralelní hybrid 4x4. Přední nápravu pohání výkonný elektromotor uložený v přední části karoserie, zadní pak tříválcový zážehový SM, umístěným za sedadly. Vozidlo disponuje aktivním systémem pohonu všech kol, který maximálně efektivně využívá energii z použitých motorů. Samozřejmostí je možnost rekuperace energie pomocí regenerativního brždění, kdy elektromotor pracuje v generátorickém režimu a dobíjí tak akumulátor. Akumulátory typu Li-Ion jsou umístěny podélně ve střední části karoserie. BMW i8 je díky akumulátorům schopno ujet až 35 km (při rychlosti 120 km/h) v čistě elektrickém režimu. Stejně jako Fisker Karma patří mezi Plug-in hybridy. [12]



Obr. 3.5 Vizualizace hnacího ústrojí vozu BMW i8 [9]

3.1.3 KOMBINOVANÉ (SMÍŠENÉ) USPOŘÁDÁNÍ

Kombinované uspořádání vhodně kombinuje předchozí 2 typy pohonu a eliminuje jejich zásadní nedostatky. Hlavními komponentami systému jsou SM, elektromotor, generátor a některá z forem převodů. V případě tohoto systému hovoříme o principu větvení výkonu, které zajišťuje tzv. dělič výkonu. Jeho funkcí je dělení toku výkonu v reálném čase mezi elektrickou a mechanickou větví. Poměr dělení závisí na okamžitém režimu, ve kterém se pohonný systém nachází (rozjezd, akcelerace, decelerace, jízda vysokou rychlostí atd.). Jako dělič výkonu se obvykle používá planetová převodovka. Při rozjíždění je všechna energie přeměněna na elektrickou a systém se chová jako sériový. Elektrická energie pohání elektromotor, který uvede vozidlo do pohybu. Během zrychlování se poměr elektrické a mechanické energie vycházející z děliče postupně mění směrem k plně mechanickému přenosu výkonu. Samozřejmostí je možnost rekuperace kinetické energie za pomoci generátoru a akumulátorů. Kombinovaný pohon má z těchto tří uvedených uspořádání nejvyšší účinnost. Kombinovaného uspořádání komponent je využito v pohonu vozu **Toyota Prius**, který je považován za průkopníka v oblasti hybridních automobilů. [1],[2],[3],[5]



Obr. 3.6 Schéma toku výkonu u kombinovaného hybridu [5]

VÝHODY

- ✓ Poměrně vysoká účinnost i při vyšších rychlostech
- ✓ Možnost využití optimálních režimů SM i elektromotoru
- ✓ Nejpoužitelnější systém pro reálný provoz

NEVÝHODY

- ✗ Složitost systému
- ✗ Během rozjíždění v sériovém režimu dochází ke ztrátám způsobeným přeměnou energie
- ✗ Vyšší výrobní náklady

JAK FUNGUJE TOYOTA PRIUS?

Hlavními komponentami tohoto hybridního systému jsou:

- spalovací motor (SP)
- generátor (G)
- elektromotor (EM)
- dělič výkonu (D)
- převodovka CVT
- akumulátor Ni-MH

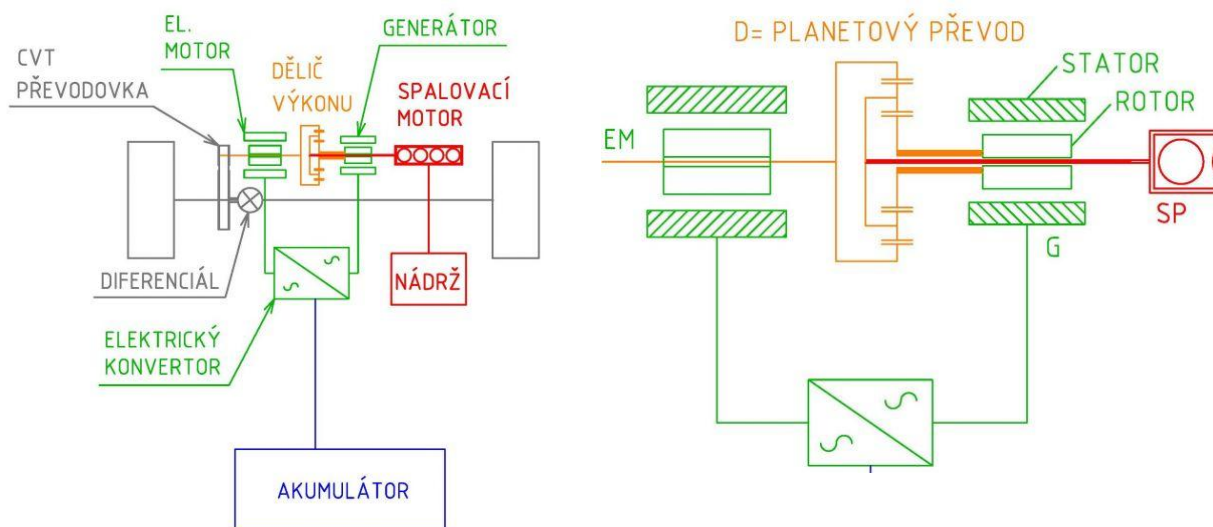
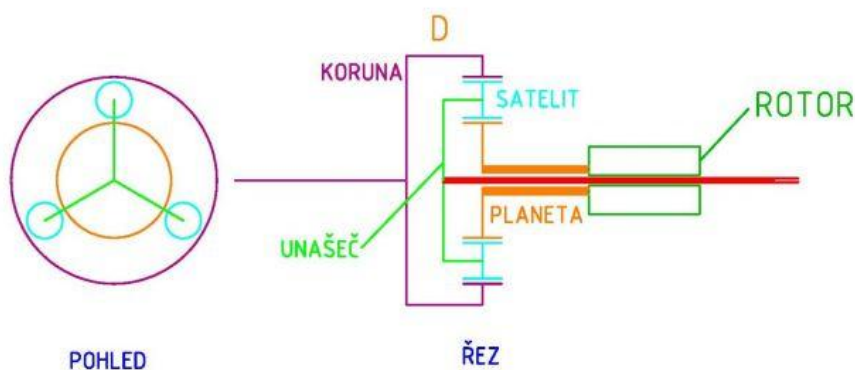


SCHÉMA POHONU TOYOTA PRIUS

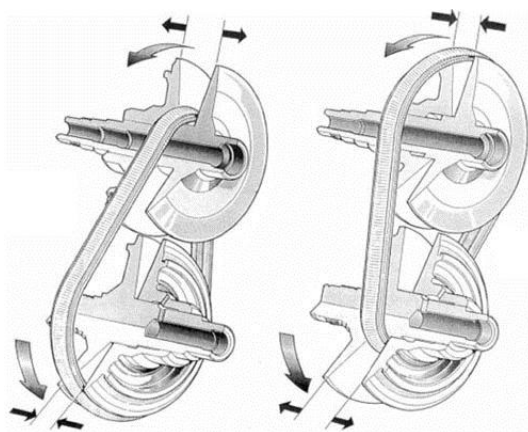
Obr. 3.7 Schéma funkce pohonu vozidla Toyota Prius [11]

Klíčovým prvkem systému je planetová převodovka, která umožňuje dělení toku výkonu do elektrické a mechanické větve. Planetová převodovka se primárně skládá z koruny s vnitřním ozubením, planety s vnějším ozubením a několika satelitů, které zprostředkovávají spojení mezi korunou a planetou. Další důležitou částí je unašeč. Kromě toho, že jsou na něm uloženy satelity, je navíc spojen s výstupním hřídelem spalovacího motoru (červený), planeta (oranžová) je pak spojena s rotorem generátoru.[11]



Obr. 3.8 Schéma planetové převodovky systému Hybrid synergy drive [11]

Přenos točivého momentu na kola zajišťuje unikátní převodovka CVT s plynule měnitelným převodovým poměrem. Otáčky SM mohou být při akceleraci udržovány na konstantní hodnotě, tzn., že lze SM provozovat v pásmu maximálního točivého momentu. Podstatou funkce převodovky je využití dvojice dvojkuželů, opásaných ocelovým pásem. Kužely jsou v příčném směru posuvné, čímž lze plynule měnit poloměr opásání a tím i převodový poměr.[11]

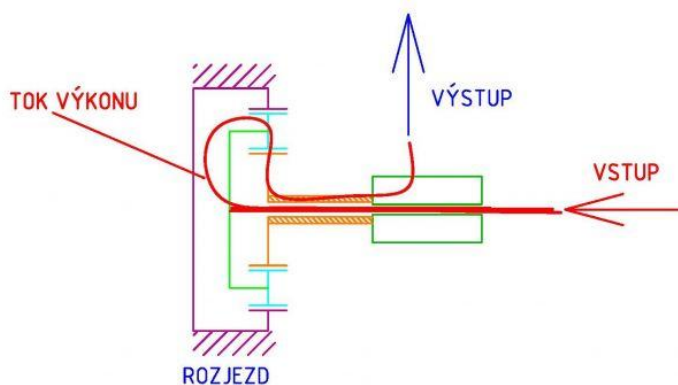


Obr. 3.9 Schéma funkce převodovky CVT [11]

ROZJEZD

Při rozjezdu se korunové kolo (*fialové*), spojené přes meziprvky s hnanou nápravou, roztáčí z nulových otáček. Výstupní hřídel spalovacího motoru (*červený*) je spojen s unašečem, který uvádí do pohybu satelity (*modré*). Satelity obíhají po vnitřním ozubení koruny a otáčejí tak planetou (*oranžová*). Planeta je spojena s rotorem MG_1 . Rotor se otáčí a ze statoru je odebírána elektrická energie.

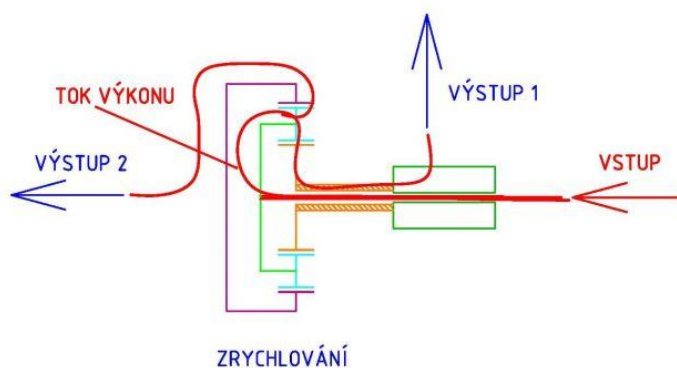
Získaná elektrická energie projde konvertorem a je využita k napájení MG_2 . Rotor MG_2 je spojen s korunovým kolem. Pohon vozidla v tomto případě odpovídá sériové konfiguraci.[11]



Obr. 3.10 Schéma dělení výkonu při rozjezdu u vozu Toyota Prius [11]

AKCELERACE

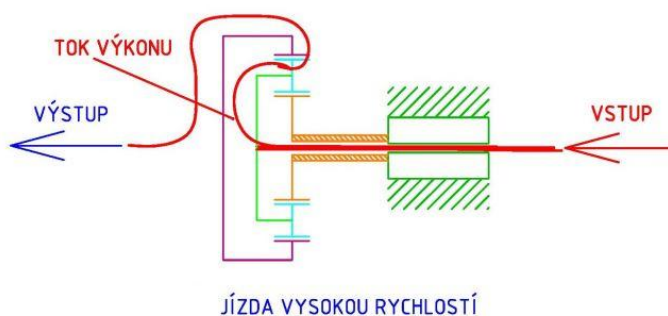
Během zrychlování se uvádí do pohybu korunové kolo (*fialové*), které způsobí pokles otáček planety (*oranžová*). Planeta je spojena s rotorem MG_1 . S dalším zvyšováním otáček koruny klesají otáčky MG_1 . Dochází k dělení výkonu do elektrické a mechanické větve.[11]



Obr. 3.11 Schéma dělení výkonu při akceleraci u vozu Toyota Prius [11]

JÍZDA VYSOKOU RYCHLOSTÍ

Během rychlé jízdy jsou otáčky planety (oranžová) vůči koruně (fialová) téměř nulové. Rotor MG_1 se neotáčí a neprodukuje elektrickou energii. Výkon se k hnané nápravě přenáší ryze mechanickou cestou.[11]



Obr. 3.12 Schéma dělení výkonu při jízdě vysokou rychlostí u vozu Toyota Prius [11]

SM, G, EM, planetový dělič výkonu a převodovka CVT tvoří jeden celek uložený v přední části vozu. V zadní části je pak prostor pro akumulátor Ni-MH. Stejně jako předchozí uvedené modely, také Toyota Prius patří do skupiny Plug-in hybridů.



Obr. 3.13 Uspořádání pohonného systému vozu Toyota Prius [10]



3.2 STUPNĚ HYBRIDIZACE

Druhým zažitým rozdělením HP je dělení podle pomyslné stupnice, kde na jedné straně stojí ryzí elektromobil a na druhé vozidlo s konvenčním pohonem, který zastává pouze SM. Takto lze vyjádřit, v jakém poměru se jednotlivé zdroje energie podílejí na pohonu vozidla. Mezi nejčastěji skloňované skupiny patří následující.

Automobil	Micro-hybrid	Mild-hybrid	Full-Hybrid	Plug-in hybrid	Hybridní elektromobil	Range extender	Elektromobil
• Pokročilá technologie spalovacích motorů	• Start - Stop	• Start - Stop • Elektromotor podporuje spalovací motor • Rekuperační brzdění	• Start - Stop • Elektromotor podporuje spalovací motor • Elektrický pohon na kratké vzdálenosti • Rekuperační brzdění	• Start - Stop • Elektromotor podporuje spalovací motor • Elektrický pohon na střední vzdálenosti • Dobíjení ze sítě • Rekuperační brzdění	• Elektrický pohon • Spalovací motor vyrábí elektrický proud nebo je přímo připojen k hnacímu ústrojí k prodloužení dojezdu • Dobíjení ze sítě • Rekuperační brzdění	• Elektrický pohon • Spalovací motor vyrábí elektrický proud k prodloužení dojezdu • Dobíjení ze sítě • Rekuperační brzdění	• Elektrický pohon • Dobíjení ze sítě • Rekuperační brzdění

Obr. 3.14 Rozdělení hybridních vozidle dle stupně hybridizace pohonu [15]

3.2.1 MICRO HYBRID

Tento systém je častěji označován pouze jako Start-stop. V podstatě se nejedná o hybridní systém jako takový, protože zde elektrická energie z akumulátoru neslouží k pohonu vozidla. Jeho použitím lze však dosáhnout jistého snížení emisí a spotřeby paliva. Jakmile vozidlo zastaví (např. na světelné křižovatce nebo v koloně), je SM vypnut. V případě vozidel s automatickou převodovkou dojde k jeho opětovnému spuštění po sešlápnutí pedálu plynu. Co se týče vozidel s manuální převodovkou, start proběhne po sešlápnutí spojkového pedálu. Obecně se SM nastartuje při poklesu tlaku v posilovači brzd, dále také při poklesu napětí akumulátoru. Systém ke spouštění SM využívá posílený startér. Modifikovaný alternátor využívá efektivním způsobem kinetickou energii vozidla k dobíjení akumulátoru. Použitím tohoto systému lze v závislosti na použitém motoru a době jeho nečinnosti dosáhnout úspory paliva cca 5-10%. Funkci lze deaktivovat tlačítkem. Příkladem použití je např. **Škoda Superb**. [16], [17], [18]



Obr. 3.15 Ovládání systému Start-stop v případě vozu Škoda Superb [18]



3.2.2 MILD HYBRID

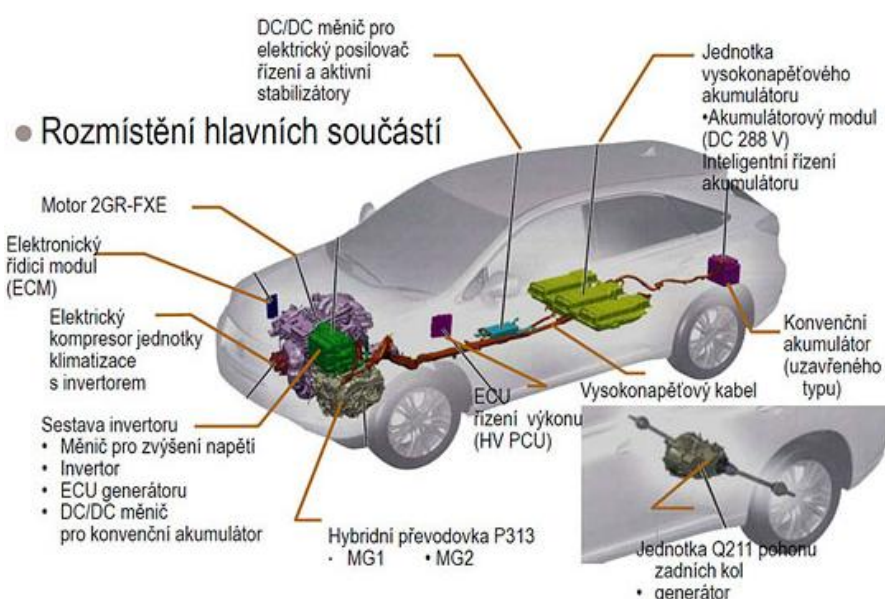
V tomto případě využívá vozidlo k pohonu primárně SM. EM napomáhá pouze ve vybraných situacích (rozjíždění, akcelerační). Není však možné, aby EM poháněl samostatně celé vozidlo. Vůz je osazen EM, který může pracovat také jako generátor. V systému přebírá funkci startéru a alternátoru. Vozy této kategorie využívají systém Start-stop popsany v předcházející kapitole. Příkladem je **Honda Insight**. [5],[15]



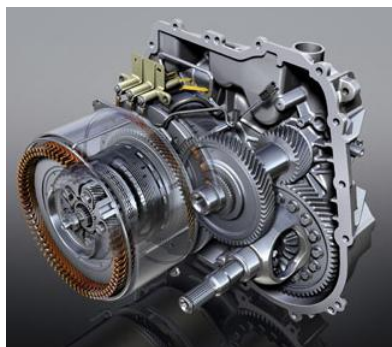
Obr. 3.16 Pohonná jednotka IMA automobilky Honda [19]

3.2.3 FULL HYBRID

Vozidlo může být poháněno buď pouze EM nebo SM nebo kombinací obou – proto musí být systém vybaven mechanickým nebo elektronickým děličem výkonu. Při rozjezdu a pomalé jízdě je vozidlo poháněno výhradně pomocí EM. Emise a spotřeba paliva jsou nulové. SM se plynule připojí při potřebě vyšší rychlosti a v případě potřeby je podporován výkonem EM (např. další akcelerační). Vozidla této kategorie disponují také funkcí regenerativního brzdění, kdy je vysokonapěťový akumulátor dobíjen energií vytvořenou v generátoru. Příkladem této kategorie je **Lexus RX 450h** či **Chevrolet Volt**. [5],[15]



Obr. 3.17 Stavba hybridního systému vozu Lexus RX 450h [21]



Obr. 3.18 Elektromotor a dělič výkonu vozu Chevrolet Volt [20]

3.2.4 PLUG-IN HYBRID

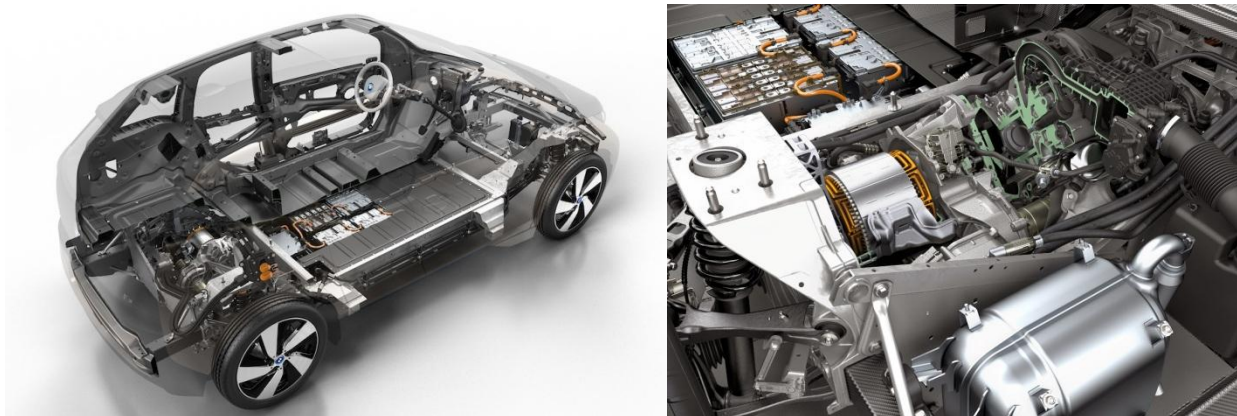
Tato kategorie je zdokonalením předchozí skupiny. Akumulátor lze dobíjet přímo ze sítě pomocí zástrčky a kabelu. Lze využít domácí zásuvky nebo veřejné dobíjecí stanice. Nejvíce se přibližují ideálu elektromobilu. Příkladem je **Chevrolet Volt**. Jednotka EM/G, SM a dělič výkonu v tomto případě leží v přední části vozidla. Vysokonapěťový akumulátor je pak umístěn v zadní části. Konektor pro připojení externího kabelu se nachází mezi levým předním kolem a dveřmi. [5], [15]



Obr. 3.19 Uspořádání pohonného systému vozu Chevrolet Volt [20]

3.2.5 RANGE EXTENDER

V podstatě se jedná o elektromobil, který je doplněn SM a G. Jednotka SM + G produkuje elektrickou energii, kterou je dobíjen akumulátor. Tím se zvyšuje celkový dojezd vozidla. Příkladem je **BMW i3**. [5] [15]



Obr. 3.20 Konstrukce BMW i3[22]



4 PŘÍNOS V OBLASTI AUTOMOBILNÍHO PRŮMYSLU

V souvislosti s intenzivním vývojem hybridních technologií v posledních letech bylo dosaženo značného pokroku v rozličných oblastech průmyslu. Mezi významné prvky rozvoje můžeme zařadit následující:

4.1 ZDOKONALENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Spalovací motory pro použití v hybridních systémech by měly splňovat specifická kritéria. Důležitá je nízká hmotnost jdoucí ruku v ruce s kompaktními rozměry. V souvislosti s kompaktností pohonné jednotky lze hovořit o tzv. „downsizingu“. Pod tímto pojmem rozumíme zmenšení zdvihového objemu motoru při současném zachování původního výkonu. Toho lze dosáhnout použitím moderních technologií jako je přeplňování či přímé vstřikování paliva. Se zvýšením efektivity tak zároveň přichází snížení emisí a spotřeby paliva. Nižší hmotnost jednotlivých komponent snižuje odpor a setrvačné síly, což přináší nižší ztráty. Ideální motor pro použití v hybridním systému by měl splňovat následující kritéria:

- Nízká hmotnost
- Kompaktní rozměry
- Přiměřený výkon
- Nízká spotřeba

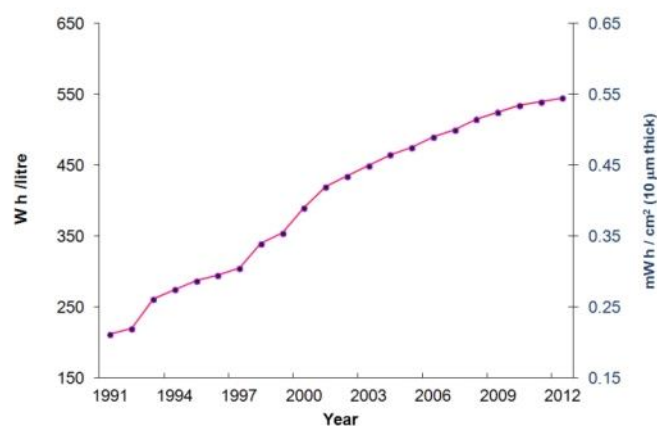
Výkon použitého SM závisí na jeho funkci v systému. Jedná-li se o sériový hybrid, může být jeho výkon menší, než v případě paralelního nebo kombinovaného uspořádání.

4.2 VÝVOJ VHODNÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ

Jednou z komponent, na které jsou v hybridním systému kladeny vysoké nároky je elektrický stroj. Jedná se o elektromotory a generátory, které jsou schopny poskytnout vysoký točivý moment téměř od nulových otáček a dostatečný výkon. Moderní elektromotory bez komutátoru vynikají účinnostmi kolem 90%, vysokou spolehlivostí a jsou v podstatě bezúdržbové.[34]

4.3 ZDOKONALENÍ AKUMULÁTOROVÉ TECHNIKY

Velký zlom ve vývoji moderních akumulátorů nastal počátkem 90. let. Technologicky starší akumulátory měly velmi omezenou životnost, dokud se nepodařilo vyvinout systém nabíjecích algoritmů nazývaných BMS (battery management system) a kvalitní tepelnou ochranu jednotlivých článků. V případě moderních Li-pol akumulátorů se udává životnost až 150 000 km.



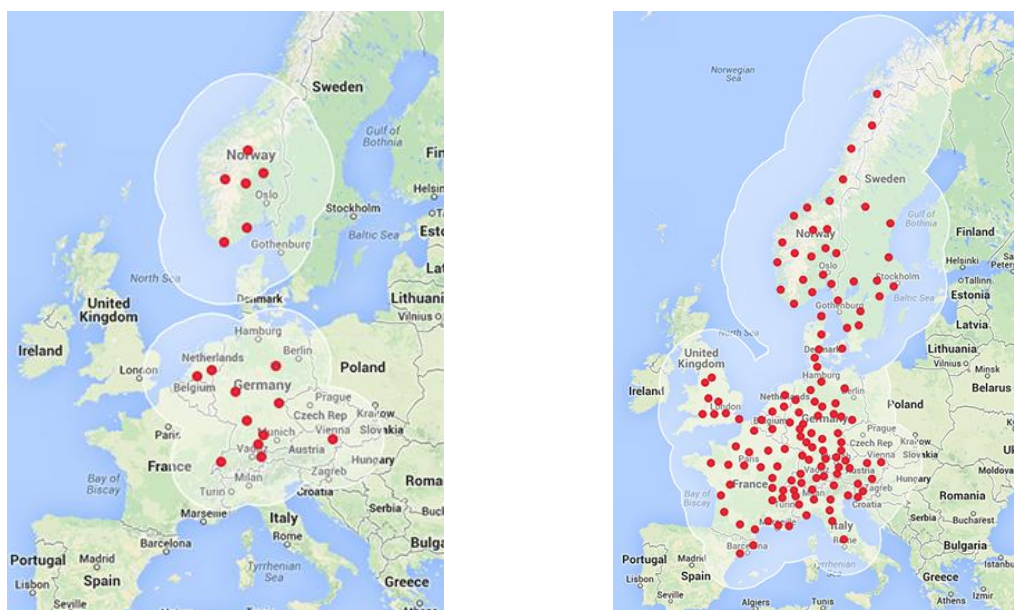
Obr. 4.1 Vývoj energetické hustoty akumulátorů typu Li-Ion v závislosti na čase [36]

Měrná energie nejdokonalejších současných akumulátorů však stále dosahuje pouze zlomku měrné energie, kterou poskytuje benzín. Hodnoty energetických hustot některých typů moderních akumulátorů jsou následující:

- Ni-MH – 80 Wh/kg
- Li-Ion – 250 Wh/kg

Nyní již probíhá intenzivní vývoj nových generací akumulátorů s použitím nanotechnologií, neboť charakteristiky současných článků nejvíce limitují akční rádius jak ryzích elektromobilů, tak také hybridních vozidel.

Při současných hodnotách kapacity akumulátorů jsou velmi důležité tzv. dobíjecí stanice, kde lze do akumulátoru doplnit potřebnou energii. Velký pokrok v tomto směru zaznamenala společnost **Tesla motors**, která pro své elektromobily vytváří síť dobíjecích stanic, u nichž plné dobití palubního akumulátoru trvá pouhých 90 vteřin. V Evropě je k dnešnímu datu v provozu 17 stanic, do roku 2015 se má jejich počet několikanásobně zvýšit. [35],[36]



Obr. 4.2 Dobíjecí stanice Tesla Supercharger v Evropě (květen 2014 – prosinec 2015) [35]



Několik univerzálních dobíjecích stanic provozuje na území České republiky skupina ČEZ. Prozatím je v provozu cca 40 stanic, do konce roku 2015 má být postaveno v součtu asi 150 instalací včetně několika ultrarychlých s dobíjecím výkonem 50 kW. V případě využití tohoto typu stanice lze akumulátor plně dobít během 30 min. [37]



5 SROVNÁNÍ SOUČASNÝCH HYBRIDNÍCH AUTOMOBILŮ

V následující tabulce je uveden výběr současných hybridních vozů včetně jejich stěžejních charakteristik pro možnost porovnání.

Tab. 1 Porovnání současných hybridních automobilů

Vůz	Toyota Prius PiH	Peugeot508 RXH	Opel Ampera	Lexus RX 450h
Typ pohonu	HSD	Diesel-hybrid	Voltec	Lexus HD
Spalovací motor	73kW	120 kW	55 kW	183 kW
Elektromotor	60kW	28 kW	111 kW	123+50 kW
Akumulátor	Li-Ion	NiMH	Li-Ion	NiMH
Emise CO ₂	49 g/km	107 g/km	124 g/km	148 g/km
Spotřeba	2,1 l/100 km	4,2 l/100 km	2,8 l/100 km	6,5 l/100 km
Cena	899 900 Kč	995 000 Kč	1 080 000 Kč	1 549 000 Kč

Ze získaných údajů je zřejmé, že ceny hybridních automobilů jsou ve srovnání s jejich konvenčními protějšky se srovnatelnými parametry mnohdy i několikanásobně vyšší. Tato skutečnost vyplývá z konstrukční složitosti systému, použití dvojice různých nezávislých pohonů, nutnosti použití sofistikovaného řídicího systému apod. Důležitou roli mají také výrobní náklady. Spotřebu a produkci emisí se s využitím hybridních systémů podařilo více či méně snížit. V některých případech však hodnoty spotřeby zůstávají pořád relativně vysoké.

Nyní je na zvážení, zda mírné snížení spotřeby vyváží fakt poměrně vysoké ceny. V několika státech byly již zavedeny různé formy dotací na nákup ekologicky šetrných automobilů. Například francouzská vláda nabízí příspěvek 7000€ v případě koupi elektromobilu a 4000€ v případě hybridního vozu (údaj z roku 2013). V dalších zemích jsou přístupy obdobné. [38]



ZÁVĚR

Není sporu o tom, že hybridní technologie prodělaly během posledních let velmi intenzivní rozvoj. Téměř všechny významné světové automobilky jsou tímto fenoménem ovlivněny a některé mají ve svém portfoliu dokonce několik modelů s hybridní verzí pohonu. O hybridních automobilech mluví jako o ekologických a úsporných. Významnou roli při rozšiřování těchto automobilů mezi spotřebitele hrají a budou hrát různé formy finančních kompenzací. Ať už je to přímo dotace na koupi nového automobilu, či úleva na daních, je třeba najít způsob jak kompenzovat vyšší cenu současných hybridních modelů.

Jako nejvhodnější se ukazuje použití kombinované struktury pohonu, která využívá výhod a eliminuje nedostatky sériového a paralelního uspořádání. V případě Toyota Prius Plug in Hybrid byla spotřeba a emise CO₂ zredukovány na minimum.

Mnozí odborníci vidí za současnou podporou hybridních technologií spíše politické a ekonomické motivy. Automobilový průmysl se ještě úplně nevzpamatoval z nedávné krize a je tedy třeba hledat nové cílové skupiny zákazníků.

Investice do hybridních technologií a jejich další rozvoj je logickým řešením současné situace, kdy zejména kvůli omezeným důležitým charakteristikám akumulátorů není možné zkonstruovat elektromobil s nulovými emisemi.

Budoucnost bude však patřit elektromobilům a hybridní systémy jsou jistou formou přechodného řešení.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel
- [2] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel
- [3] Gillespie, T.: Fundamentals of Vehicle Dynamics
- [4] *Futuretimeline.net. Futuretimeline.net* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.futuretimeline.net/21stcentury/2050-2059.htm>
- [5] *Hybridní automobily 2. AUTO CZ* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [6] *Hybrid.cz: Sériový hybrid* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/seriovy-hybrid>
- [7] *Hybrid.cz: Paralelní hybrid* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/paralelni-hybrid>
- [8] *Sportauto.ee: Fisker Karma* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.sportauto.ee/fisker/karma/index.html>
- [9] *BMW.com: BMW i8* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/i/i8/2013/showroom/drive_efficiency.html
- [10] *Automobilesreview.com: New Toyota Prius Technology And Innovation – Hybrid Synergy Drive* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.automobilesreview.com/auto-news/toyota-prius-hybrid-synergy-drive/12851/>
- [11] *AUTO CZ: Jak funguje Toyota Prius?* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-3-jak-funguje-toyota-prius/>
- [12] *Invelt.com: BMW i8* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.invelt.com/assets/BMW/BMW-i/TZ1414BMW-i8cena.pdf>
- [13] *FISKER.cz: Technické specifikace* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://fisker.cz/technicke-parametry/#specifikace>
- [14] *Auto.howstuffworks.com: Fisker Karma: Q-drive system* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/hybrid-technology/fisker-karma1.htm>
- [15] Morkus J.: *Hybridní pohony*. Přednášky FS ČVUT v Praze. 2014
- [16] *Hybrid.cz: Micro hybrid* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovník/stop-start>
- [17] *Lexus.cz: Jak funguje hybrid* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.lexus.cz/hybrid/index.tmex#/GoodBetterBest>



- [18] Škoda.cz: *Ekologické technologie* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://new.skoda-auto.com/cs/company/environment/Pages/green-technologies.aspx>
- [19] Meithailand.com: *Honda IMA* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.meithailand.com/topgear/index.php/2012-06-01-03-45-51/automotive-technology/item/186-honda-technical-focus-3-stage-i-vtec%20ima-parallel-hybrid-system>
- [20] Archivalsites.com: *Chevrolet Volt* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.archivalsites.com/techlink/2010/12/>
- [21] AUTO CZ: *Lexus RX 450h* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/lexus-rx-450h-full-hybrid-coby-optimum-2083>
- [22] BMW blog: *BMW i3 specs* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2013/07/10/bmw-i3-official-specs/>
- [23] HROMÁDKO. *Spalovací motory*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-802-4734-750.
- [24] Greencarcongress.com: *Jaguar Introduces C-X75 Gas Micro-turbine Extended Range Electric Vehicle Concept* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2010/09/cx75-20100930.html>
- [25] HROMÁDKO. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-802-4744-551.
- [26] Volvocars.com: *Volvo inovations* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.volvocars.com/intl/explore/Pages/innovation-areas.aspx>
- [27] Automobilemag.com: *Honda Accord hybrid* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.automobilemag.com/reviews/driven/1310_2014_honda_accord_hybrid/photo_36.html
- [28] Proteanelectric.com: *Protean Drive* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.proteanelectric.com/en/image-gallery/>
- [29] Fuelcells.org: *Fuel Cells & Hydrogen* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: http://www.fuelcells.org/base.cgim?template=fuel_cells_and_hydrogen
- [30] Flybridsystems.com: *Road Car Systems* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.flybridsystems.com/Roadcar.html>
- [31] Mpoweruk.com: *chemistry* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>
- [32] Baracudaj.blog.auto.cz: *Historie* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [33] Hybrid.cz: *Historie* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>



- [34] *Cs.wikipedia.org: Elektromobil* [online]. [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil#Motor>
- [35] *Teslamotors.com: supercharger* [online]. [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.teslamotors.com/supercharger>
- [36] *Hybrid.cz: kapacita Li-ion* [online]. [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/graf-kapacita-li-ion-baterii-v-case>
- [37] *Elektromobilita.cz: dobíjecí stanice* [online]. [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeci-stance/vice-o-dobijecich-panicich.html>
- [38] *Hybrid.cz: dotace* [online]. [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/francie-zvysi-dotace-na-hybridy-elektromobily-zavede-dane-na-vysokoemisni-vozy>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SM (SP)		spalovací motor
ST		spalovací turbína
HP		hybridní pohon
MG		motor/generátor
EM		elektromotor
G		generátor
D		diferenciál
CVT		continuously variable transmission (převodovka s plynule měnitelným převodovým poměrem)
HSD		hybrid synergy drive hybridní technologie automobilky Toyota
IMA		hybridní technologie automobilky Honda
HEV		hybrid electric vehicle (hybridní elektrické vozidlo)
AC		alternating current střídavý el. proud
DC		direct current stejnoseměrný proud
BMS		battery management systém systém řízeného dobíjení