

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2012**

**Pavel KASPER**

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Technická fakulta**

**Možnosti akumulace energie u hybridních pohonů**  
bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Bakalář: Pavel Kasper

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kasper Pavel

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Možnosti akumulace energie u hybridních motorů**

Anglický název

**Energy storage options for hybrid drives**

### Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se možnostmi akumulace energie u hybridních pohonů.

### Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti hybridních pohonů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky akumulace energie u hybridních pohonů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti akumulace energie u hybridních pohonů

### Osnova práce

1. Úvod
2. Koncepte hybridního pohonu
3. Elektrický akumulátor energie
4. Mechanický akumulátor energie
5. Hydrostatický akumulátor energie
5. Doporučení a závěr

## Rozsah textové části

30 - 40 stran formátu A4

## Klíčová slova

hybridní pohon, akumulátor, setrvačnický, hydrostatický akumulátor energie

## Doporučené zdroje informací

1. Hromádko, J., Hromádko, J., Miler, P., Höning, V.: Speciální spalovací motory, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011, ISBN 978-80-213-2168-7, 152 s.
2. Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. Nakladatelství BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
3. Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2004. ISBN 80-239-1602-5
4. RAUSCHER, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
5. MACEK, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1

## Vedoucí práce

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2010

## Termín odevzdání

duben 2012

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 22.3.2012

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE**

KASPER, P. *Možnosti akumulace energie u hybridních pohonů*  
. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2012. 45 s. Vedoucí  
bakalářské práce Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

## **ABSTRAKT BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

### **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou akumulace energie hybridních pohonů. V první části se zabývám možnou koncepcí uspořádání hybridních automobilů, kde se zabývám historií a jednotlivými typy uspořádání. V další části jsou rozebrány možné varianty akumulace energie.

**Klíčová slova:** hybridní pohon, akumulátor, setrvačnický, hydrostatický akumulátor energie

Energy storage options for hybrid drives

### **Abstract**

The topic of this bachelor thesis is accumulation of energy in propulsion systems of hybrid vehicles. The first part deals with possible conception of the classification of hybrid cars, presents history and particular types of the classification. The following part of the thesis analyses possible options of the accumulation of energy.

**Keywords:** hybrid, battery, flywheel, hydrostatic battery power

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka a uvedl jsem v seznamu literatury, všechny použité literární a odborné zdroje.

Javornice, duben 2012

.....

Pavel Kasper

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu Ing. Janu Hromádkovi Ph.D. za velmi užitečnou a směřodatnou pomoc, kterou mi poskytoval po celou dobu zpracování této bakalářské práce.

Javornice, duben 2012

.....

Pavel Kasper



## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Koncepce hybridního pohonu .....	12
2.1	Historie hybridních automobilů .....	12
2.2	Hlavní komponenty hybridního pohonu .....	15
2.2.1	Spalovací motor.....	16
2.2.2	Elektromotor.....	16
2.2.3	Zásobníky energie .....	17
2.3	Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu .....	17
2.3.1	Sériové uspořádání .....	17
2.3.2	Paralelní uspořádání .....	19
2.3.3	Směšené uspořádání.....	20
2.4	Rozdělení hybridních pohonů podle stupně „hybridizace“ .....	22
2.4.1	Full hybrid.....	22
2.4.2	Mild hybrid.....	22
2.4.3	Micro hybrid.....	22
3	Elektrický akumulátor energie .....	23
3.1	Elektrochemické akumulátory .....	24
3.1.1	Olověný akumulátor .....	24
3.1.2	Akumulátor nikl-kadmium.....	25
3.1.3	Akumulátor nikl-metalhydrid.....	26
3.1.4	Akumulátor lithium-ion.....	27
3.1.5	Akumulátor lithium-polymer .....	28
3.2	Vysoko energetický kondenzátor – Superkondenzátor.....	28
4	Mechanický akumulátor energie .....	30
5	Hydrostatický akumulátor energie .....	35
6	Doporučení a závěr.....	40

7	Zdroje .....	41
8	Seznam obrázků .....	44
9	Seznam tabulek .....	45

# 1 Úvod

Celosvětovým problémem dnešní doby je znečišťování životního prostředí. Dopravní prostředky se na znečišťování podílí velkým dílem, především tvorbou oxidu uhličitého, oxidu dusíku a síry. S růstem objemu výroby dopravních prostředků se stále více řeší problematika spotřeby fosilních paliv, především vyčerpáním ložisek ropy. Podle posledních prognóz budou dnes všechna známá ložiska ropy vytěžena v letech 2050-2100. Z těchto důvodů je nutné hledat alternativní náhrady této suroviny, hledat a vynalézat nové technologie hlavně v oblasti automobilové dopravy. Právě z těchto důvodů se začínají prosazovat hybridní automobily. Pod pojmem „hybridní“ pohon rozumíme kombinaci dvou a více zdrojů energie, z nichž je jeden schopen ukládat rekuperovanou energii vznikající při brzdění do akumulátorů.

Na začátku své bakalářské práce popisuji historii hybridních pohonů a následně pak jednotlivé druhy uspořádání. V této kapitole jsem se zaměřil na nejperspektivnější a běžně používaná řešení, popisuji jednotlivé druhy a části hybridního pohonu. Tyto druhy řešení jednotlivě popisuji na příkladech.

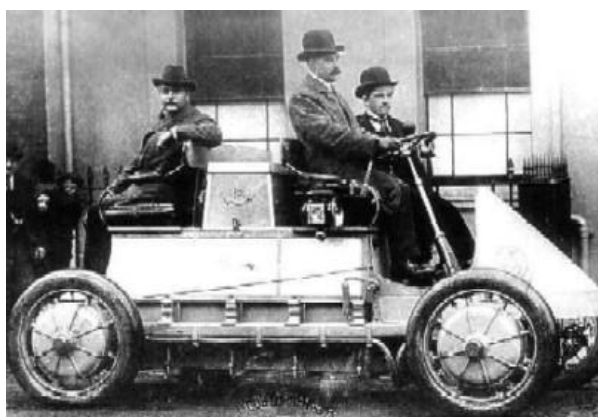
V další části mé práce řeším možnost akumulace energie u hybridních automobilů, kde se podrobně zabývám elektrickým, mechanickým a hydrostatickým akumulátorem. Nejprve je nutné si uvědomit, co vlastně akumulace energie znamená a proč ji vlastně akumulovat. S akumulací energie také úzce souvisí rekuperace energie. Rekuperací energie se rozumí přeměna kinetické energie na elektrickou, případně mechanickou (setrvačnick), kterou lze opětovně využít.

Cílem této práce by měl být komplexní pohled problematiky možností akumulace energie hybridních pohonů.

## 2 Koncepce hybridního pohonu

### 2.1 Historie hybridních automobilů

První hybridní automobily jsou prakticky stejně staré jako automobilismus samotný. Prvním vozem, který kombinoval více pohonů, byl Lohner-Porsche a to už v roce 1899. Spalovací motor zde sloužil jako generátor pro výrobu elektrické energie, která poháněla elektromotory umístěné v nábojích přední poháněné nápravy. Automobil nazvaný Mixte dokázal ujet až 50 km maximální rychlostí 50 km/h. Tato verze se později objevila i se čtyřmi elektromotory (4x4) a dosahovala maximální rychlosti 110 km/h.[5]



Obrázek 1: Automobil Mixte 4x4[5]

V roce 1915 přišla společnost Woods Motor Vehicle se systémem pohonu „Dual Power“. Jednalo se o paralelní hybrid, který využíval elektromotor při malých rychlostech a v případě potřeby vyšší rychlosti nasadil benzínový agregát.

Znečištění ovzduší ve Spojených státech během poloviny 60. let vedlo automobilku General Motors k vývoji hybridních automobilů. Prvním z nich byl v roce 1965 automobil s názvem GM 512 (Obr. 2), který byl vybaven benzínovým dvouválcem, elektromotorem a bateriemi. Tento automobil byl schopen jet pouze na elektřinu rychlostí 20 km/h.[7]



Obrázek 2: Automobil GM 512[7]

Skutečný průlom však ve vývoji hybridního pohonu přinesl až slavný konstruktér Victor Wouk (Obr. 3), který společně s Charliem Rosenem vytvořily prototyp hybridního automobilu ze starého modelu Buick Skylark. U automobilu byl použit elektromotor s 16 kW a bylo v něm použito mnoho konstrukčních technologií používajících se dodnes. Victor Wouk si tímto vysloužil titul duchovní otec hybridních automobilů.[7]



Obrázek 3: Victor Wouk s automobilem Buck Skylark[7]

V roce 1979 vyšlo v americkém časopise článek o tom, jak si jistý David Arthurs přestavěl svůj starý Opel GT (Obr. 4) na hybridní automobil. Výsledkem byl automobil se spotřebou 3,1 l/100 km, kterou bylo možné s dalšími úpravami snížit až na 2,8 l/100 km. Největší novinkou bylo ovšem regenerativní brzdění, čili rekuperace energie což je základ dnešních hybridních automobilů. Automobil brzdil elektromotorem, který vozidlo zároveň poháněl.[6]



Obrázek 4: Opel GT[6]

Na konci 80. let se evropským průkopníkem stala automobilka Audi, která v roce 1989 přišla s verzí vozidla Audi Duo (Obr. 5). Jednalo se o paralelní hybrid založený na modelu Audi 100 Avant Quattro. Auto jezdilo ve městě na elektromotor pohánějící zadní nápravu, který bral energii z NiCd baterií a spalovací motor s výkonem 136 koní poháněl přední nápravu. Řidič si mohl sám zvolit, jestli pojede na elektromotor nebo spalovací motor.

Nevýhodou tohoto auta byla velká hmotnost. Tento model se ovšem neosvědčil, a tak o dva roky přišla Audi s druhou generací a ve vývoji hybridů pokračuje dodnes.



**Obrázek 5: Audi Duo první generace[5]**

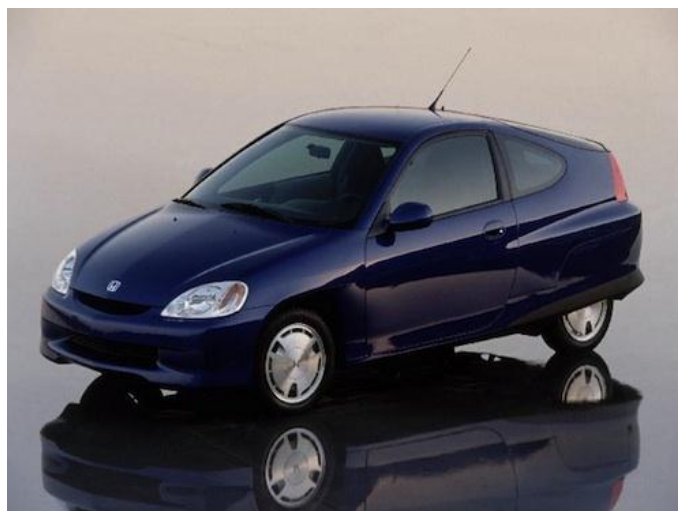
Prvenství v masově vyráběných automobilech s hybridním pohonem drží Japonské automobilky Toyota a Honda s vozy Toyota Prius (1997) a Honda Insight (1999). Tyto vozy se staly finančně dostupné (pro srovnání s Audi Duo III. byla cena Priusu poloviční), designově podobné standartním automobilům a měli znatelně nižší spotřebu. Toho bylo dosaženo pomocí nových technologií v oblasti akumulátorů energie, důmyslné elektronické řídicí jednotky a elektromotorů.

Toyota Prius je prvním sériovým osobním automobilem nabízeným v běžné prodejní síti. O pohon Priusu se stará kombinace zážehového čtyřválcového motoru o objemu 1,5 l a výkonu 43 kW a synchronního elektromotoru o výkonu 30 kW. Spalovací motor je díky elektronice udržován v oblasti příznivého točivého momentu, tudíž v oblasti nízké spotřeby. Při zastavení je automobil automaticky vypnut. Při jízdě ve městě je automobil schopný jet pouze na pohon elektromotorem za předpokladu plného nabití akumulátorů. Je-li potřeba většího výkonu jako třeba při předjíždění je spalovací motor automaticky nastartován. Výkon, který není pro pohon potřebný, je ukládán pomocí generátoru do Ni-MH akumulátorů. Průměrná spotřeba automobilu je uváděná 3,6 l/100 km.



**Obrázek 6: Toyota Prius[32]**

Honda Insight je poháněna kombinací spalovacího motoru a elektromotoru o výkonu 10 kW. Spalovací motor je zde použit zážehový tříválec o objemu 1,5 l s výkonem 50 kW. Výkony obou motorů jsou na jedné hřídeli a slučují se. Udávaná průměrná spotřeba je stejná jako u Toyoty tedy 3,6 l/100 km.



Obrázek 7. Honda Insight první generace[6]

## 2.2 Hlavní komponenty hybridního pohonu

Hybridní pohon je pohon vozidla s kombinací několika zdrojů energie a příslušnými zásobníky energie. Jeho hlavními úkoly je snížení spotřeby paliva a redukce emisí. Vhodnou kombinací dvou rozdílných systémů můžeme využít jejich předností a potlačit jejich nevýhody. U automobilů se jako zdroje nejčastěji používají spalovací (vznětový nebo zážehový) motor, elektromotor a akumulátor. Toto řešení nám umožňuje městský provoz bez emisí a mimo město dobré jízdní vlastnosti. Dalšími zdroji energie může být například palivový článek nebo setrvačnick.

Pod pojmem hybridní „motor“ se nejčastěji rozumí kombinace spalovacích motorů a elektromotorů. Přičemž elektromotor pracuje ve dvou režimech. V prvním, kdy pracuje jako motor a převádí elektrickou energii na mechanickou energii, čehož se využívá například při pomalé jízdě, nebo rozjezdech. Ve druhém pracuje jako generátor, kdy převádí mechanickou energii na elektrickou, kterou ukládá do baterie. To je v situaci kdy brzdíme, nebo jedeme z kopce. Vozidlo má v tuto chvíli přebytek pohybové energie a tomuto ději se říká rekuperace. U hybridu můžeme výhodně využívat funkci „start-stop“ tedy vypínání a zapínání pohonné jednotky například na křižovatkách. Další úsporu představuje možnost posunout pracovní oblast spalovacího motoru do oblasti optimálního provozu, k čemuž nám dopomáhá

elektromotor, s kterým můžeme počítat. Tím pádem můžeme mít menší spalovací motor s menší spotřebou.[8]

Kombinace spalovacího motoru a elektromotoru umožňuje universální použití:

- provoz spalovacím motorem mimo město kde jsou požadovány vyšší výkony a větší dojezdové vzdálenosti.
- bezemisní pohon ve městech při velmi krátkých úsecích jízd, kde má spalovací motor nízkou účinnost.

### **2.2.1 Spalovací motor**

Účinnost u současných spalovacích motorů se pohybuje v rozmezí 30 – 40%, přičemž u vznětových motorů je účinnost o něco lepší než u zážehových motorů, které se pohybují na spodní hranici rozmezí. Této účinnosti dosahuje motor, pokud pracuje v optimálních pracovních podmínkách. Při vysokém rozsahu otáček a nízkém zatížení se účinnost rychle snižuje. Pohybuje-li, se motor v městských podmínkách jeho účinnost klesá pod 10%. Například při průměrné rychlosti 30 km/h a spotřebě paliva 5 l/100km nám vyjde účinnost 6%. V případě že motor běží na volnoběh jeho účinnost je nulová.

Přesto má spalovací motor značné výhody pro pohon vozidel:

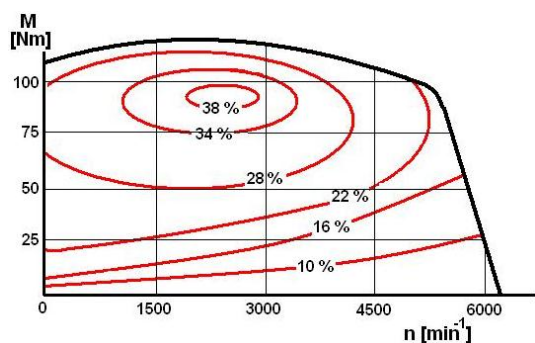
- nepříznivý průběh výkonu a točivého momentu eliminuje převodovka
- vysoká energetická hodnota paliva
- jednoduché tankování a dojezd 500 – 1000km

### **2.2.2 Elektromotor**

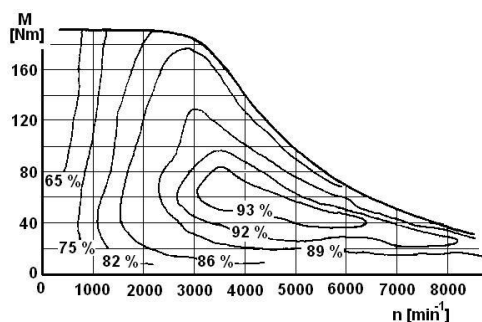
Elektromotor dosahuje účinnost kolem 90%. Oproti spalovacím motorům mají značné výhody malá hlučnost, dobrá spolehlivost, při stání nespotřebovává žádnou energii, nemusí se chladit, nemívají požadavky na zástavbu, při brždění generátorem bývá využívána velká část kinetické energie, ale hlavně při provozu nezpůsobují žádné emise. Přesto mají elektromotory značné nevýhody. Drahé baterie, rozměr, umístění, jejich omezená životnost a dlouhá doba nabíjení.



Účinnost spalovacího motoru (Obr. 8.1), elektromotoru (Obr. 8.2) na otáčkách a točivém momentu motoru.



Obrázek 8.1 Pole účinnosti spalovacího motoru[2]



Obrázek 8.2 Pole účinnosti elektromotoru[2]

### 2.2.3 Zásobníky energie

Energie pro spalovací motory je uchována v jednoduché nádrži a přiváděna palivovým potrubím do motoru ve formě benzinového nebo naftového paliva. Pro uchování elektrické energie nám slouží baterie, vysokoenergetické kondenzátory, nebo setrvačnick. Při volbě zásobníku se zohledňuje koncepce pohonných komponentů, velikosti energetické hustoty nebo velikosti výkonové hustoty.

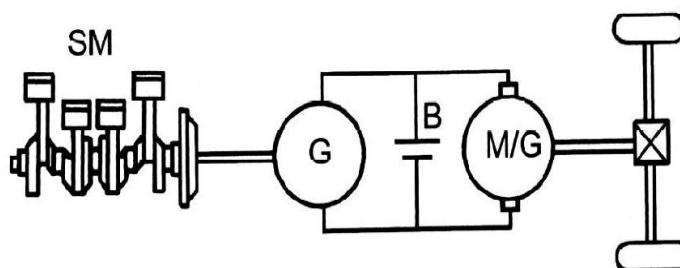
## 2.3 Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu

### 2.3.1 Sériové uspořádání

Toto uspořádání se nejvíce podobá elektromobilu, protože je výhradně poháněno elektromotorem. Jako zdroj energie zde slouží spalovací motor, který pohání generátor a vzniklým elektrickým proudem pohání trakční elektromotor, případně dobíjí baterie. Ojedinele je snaha místo spalovacího motoru použít plynovou turbínu. Spalovací motor, generátor a elektromotor jsou zde zapojeny do série. K možnému spojení spalovacího motoru s pohonem vozidla může dojít jen tehdy, jsou-li otáčky motoru konstantní a pracuje v optimálním režimu práce, vzhledem k emisím výfuku a účinnosti. Za jednu z největších předností lze považovat to, že spalovací motor může pracovat v oblasti nejvyšší účinnosti. To znamená, že motor je provozován v úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce jen při jedné otáčkách. Tím nám odpadají nevhodné pracovní režimy motoru, jako je například volnoběh. Motor pak vykazuje nízké hodnoty spotřeby paliva, a tím i výfukových emisí. Také baterie je zde menší než u elektromobilu. V případě, že baterie není schopná pokrýt momentální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Nevýhodou tohoto

uspořádání je vícenásobná přeměna energie. Vzhledem k účinnosti nabití baterie je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou stěží větší než 55%.

Pro vozy s tímto druhem pohonu je nejvýhodnější pohyb malými rychlostmi, tedy převážně po městě. [10] [2] [3]



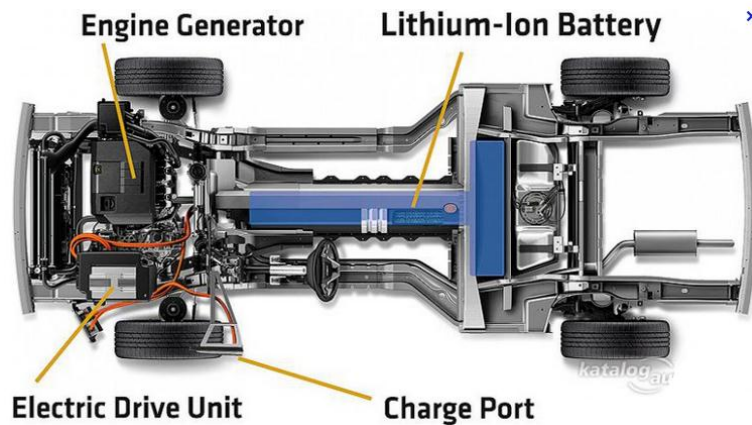
Obrázek 9. Schéma sériového uspořádání[2]

Sériového uspořádání hybridního pohonu je využito v konstrukci například u Chevroletu Volt. První sériově vyráběné vozy opouštěli montážní linku v Detroitu koncem roku 2010 a v roce 2012 bylo zvoleno autem roku. Karoserie vozu vyniká aerodynamicky tvarovanými proporcemi. Tímto podle tvrzení automobilky General Motors docílili u vozu při pohonu čistě elektromotorem o prodloužení dojezdu až o 13 km a při použití „dodatečného“ tedy spalovacího motoru až o 80 km. Vozidlo je prvních 60 km poháněno výhradně elektromotorem, který čerpá energii z lithium-iontových akumulátorů, které mají kapacitu 16 kWh. Při vybití baterií se nepozorovaně spustí spalovací motor, který poskytne elektřinu pro dojezd až 600 km.

Jako hlavní zdroj nám tedy slouží pár elektromotorů, které poskytují výkon 111kW a točivý moment 368 Nm. To umožňuje dosáhnout maximální rychlosti 161 km/h a zrychlení z klidu na 96 km/h za méně jak 9 vteřin. Spalovací motor je použit zážehový čtyřválec řady Ecotec o objemu 1,4 l. Dobíjení akumulátoru trvá při použití běžné americké domácí zástrčky na 120 V až 12 hodin. Za příplatek je možno si dokoupit transformátor na 240 V, a tím se zkrátí doba nabíjení na 4 hodiny.[13] [14]



Obrázek 10. Chevrolet Volt[13]

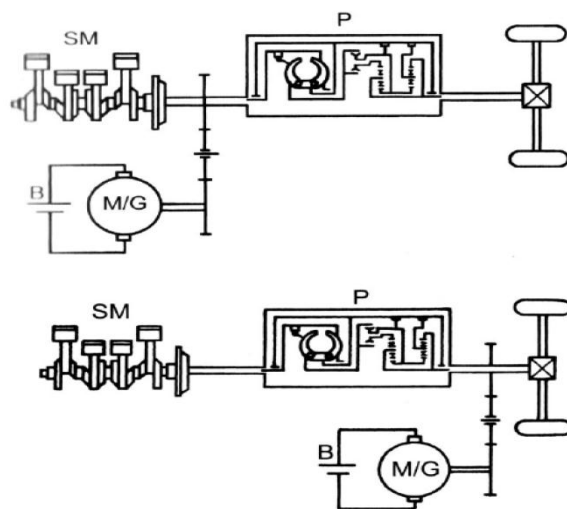


Obrázek 11. Podvozek Chevroletu Volt[15]

### 2.3.2 Paralelní uspořádání

Toto uspořádání se používá u většiny dnes prodávaných hybridních vozidel. V tomto případě hraje prim spalovací motor a druhé housle elektromotor/generátor. Spalovací motor a elektromotor je s koly spojen mechanickou převodovkou. Generátor plní funkci startéru i alternátoru. K dosažení větší účinnosti spalovacího motoru bývají „spotřebiče“, jako například klimatizace nebo posilovač řízení poháněny elektromotorem. Tím pádem jsou jejich otáčky nezávislé na otáčkách motoru.

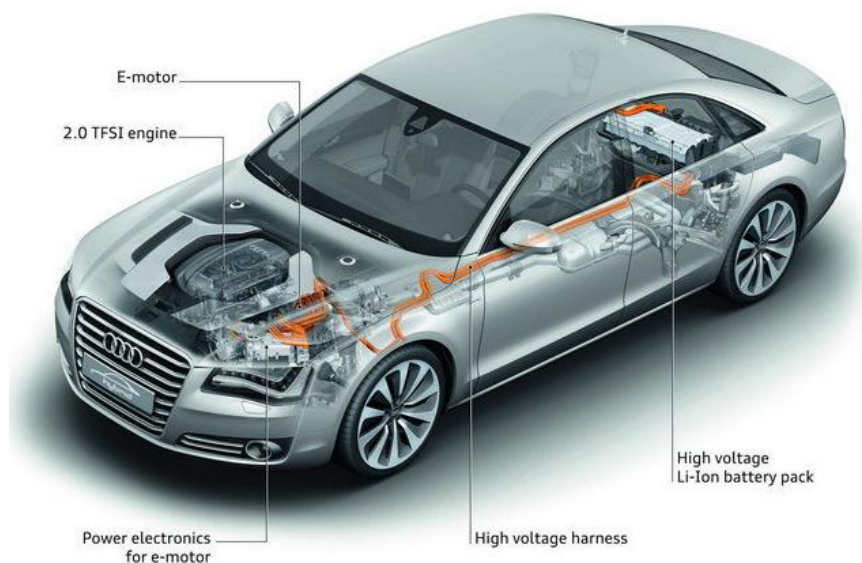
Spalovací motor a elektromotor jsou spojeny hřídelem. Při použití pouze jednoho zdroje druhý volně rotuje, nebo je přes spojku odpojen. U těchto automobilů se často používá planetová převodovka. Při pohonu pouze elektromotorem je dojezd asi 150 km s omezeným výkonem asi 30 kW a doba dobíjení okolo 8 hodin. Při obvyklém tedy kombinovaném provozu je spalovací motor neustále zapnut. Elektromotor slouží ke zvýšení tažného výkonu, například při akceleraci nebo předjíždění. [10] [2] [3]



Obrázek 12. Schéma paralelního uspořádání[2]

Paralelní uspořádání je například použito u automobilu Audi A8 Hybrid TFSI. O pohon tohoto vozidla se stará dvoulitrový čtyřválec. Jedná se zážehovou jednotku 2,0 TFSI s přímým vstříkáváním a přeplňováním. Poskytovaný výkon je 155 kW a točivý moment 350 Nm při otáčkách od 1500 do 4200 ot./min. Pomocný elektromotor je vestavěný v převodovce a disponuje výkonem 40 kW a točivým momentem 210 Nm. Kombinací těchto dvou jednotek dosáhneme 180 kW a točivého momentu 480 Nm, který je přenášen na přední nápravu. Uložení synchronního elektromotoru je v místech, kde obvykle bývá měnič točivého momentu, tedy před upravenou, osmistupňovou převodovkou Tiptronic. Spojení elektromotoru a spalovacího motoru je provedeno vícelamelovou spojkou pracující v olejové lázni, která zajišťuje plynulou změnu režimu. Za použití čistě elektrického pohonu při plném nabití li-ionových akumulátorů je dojezd 3 km při průměrné rychlosti 60 km/h, maximální rychlost činí 100 km/h. Průměrná spotřeba paliva má činit 6,4 l/100 km, zrychlení z klidu na 100 km/h dosáhne za 7,7 vteřin a maximální rychlost 235 km/h.

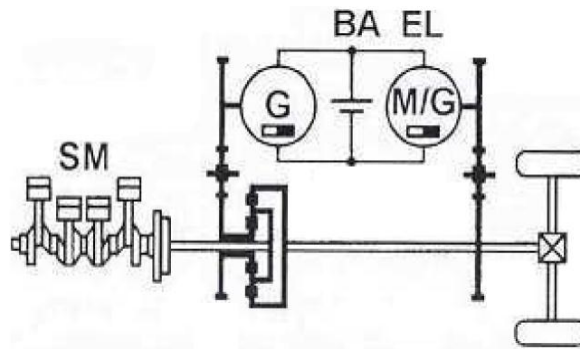
Audi nabízí tři jízdní režimy EV, D, S. Režim EV je zaměřen na minimalizaci spotřeby paliva a upřednostňuje elektrický pohon. D režim zajišťuje vyrovnanou spolupráci pohonů a režim S je zaměřen na dynamickou jízdu požadovanou řidičem.[11]



Obrázek 13. Řez vozem Audi A8 Hybrid TFSI[12]

### 2.3.3 Smíšené uspořádání

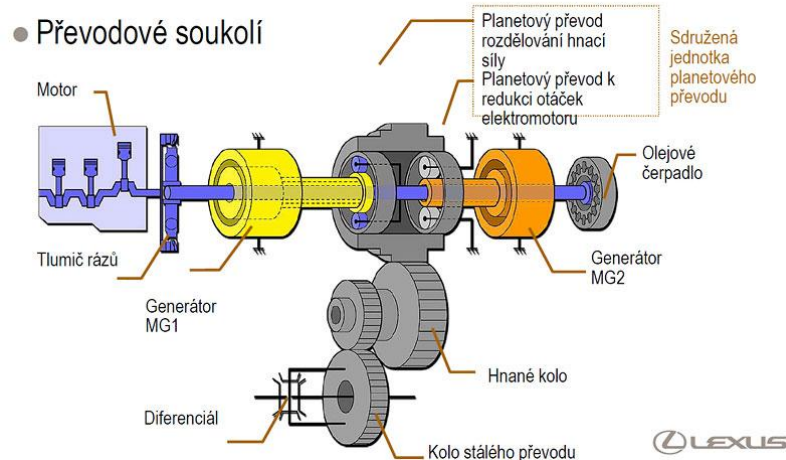
K vývoji tohoto uspořádání vedly nevýhody základních koncepcí (sériového a paralelního) uspořádání. Je technicky nejnáročnější, ale z hlediska úspory paliva a minimalizace škodlivých emisí patří k nejučinnějším. Jednotlivé komponenty, spalovací motor, elektromotory, spojka, volnoběžky, brzdy nám umožňují rozmanité množství uspořádání.



Obrázek 14. Schéma smíšeného uspořádání

Dobrým příkladem tohoto uspořádání je Lexus Hybrid Drive. Zde je výkon z jednotlivých zdrojů energie (spalovací motor, elektromotor) rozdělován pomocí planetového soukolí a dvou elektromotorů (Obr. 15). Díky tomu může Lexus pracovat ve třech režimech. V prvním režimu běží pouze elektromotory, a to v případě, kdy spalovací motor běží nevhodně například při pomalé jízdě nebo rozjezdu. Ve druhém případě je vozidlo poháněno pouze spalovacím motorem. Třetí režim funguje tak, že řídicí jednotka optimalizuje účinnost systému a to tak, že reguluje podíl výkonu elektromotoru a spalovacího motoru. V případě přebytku energie u spalovacího motoru se ukládá do akumulátoru. Tato energie může být později použita například při akceleraci. Novinkou u tohoto systému je rekuperace tepelné energie z výfukových plynů, která nám pomáhá rychleji ohřívat motor na provozní teplotu, takže řídicí jednotka může motor vypínat dřív, častěji a na delší dobu. Řešeno je to umístěním oběhu chladicí jednotky za katalyzátorem. Tato novinka měla premiéru v novém modelu Lexus RX 450h. (Obr. 15)[9]

## HYBRIDNÍ PŘEVODOVKA P313



Obrázek 15. Převodové soukolí automobilu Lexus RX 450h[16]

## 2.4 Rozdělení hybridních pohonů podle stupně „hybridizace“

Stupněm hybridizace se rozumí, jak hodně je v automobilu využito principu hybridního pohonu. Vzhledem k vysokým výrobním nákladům není vždy vhodné volit plnohodnotný hybridní systém. Pak tedy můžeme hybridní pohony rozdělit na tyto kategorie:

- Full hybrid
- Mild hybrid
- Micro hybrid

### 2.4.1 Full hybrid

Takto označované hybridy jsou schopné jet pouze na elektrický pohon nebo mohou kombinovat spalovací s elektrickým motorem a jsou tedy vybavena děličem výkonu. Elektrická část hybridního pohonu je tedy tak silná že dokáže zajistit pohon automobilu, zatímco spalovací motor je vypnutý. Používané elektromotory dosahují výkonu až 75 kW. Spalovací motor nemá tedy dominantní postavení a může být tedy použit motor s menším objemem, nižšími mechanickými ztrátami, nebo použit motor, který se běžně nepoužívá z hlediska účinnosti, což se nám v celkové bilanci promítne na úspoře paliva, která je u full hybridů největší. Mezi zástupce full hybridů patří Lexus RX 450h, který používá motor s Atkinsonovým spalovacím cyklem, který dosahuje vyšší účinnosti, ale v běžných automobilech se nepoužívá. Ovšem v kombinaci s elektromotorem vzniká ideální partnerství, elektromotor dodává točivý moment tam, kde má Atkinsonův hnací cyklus slabiny.

Dalším krokem vpřed u těchto hybridů je takzvaný systém PHEV (Plug-in hybrid electric vehicle). U takto vybaveného vozu je možnost nabíjet baterie přímo ze sítě.[9]

### 2.4.2 Mild hybrid

Zde je primární pohonnou jednotkou spalovací motor. Elektromotor se zde připojuje jen v případě akcelerace, funguje tedy jako takzvaný „booster“ a je umístěn mezi spalovacím motorem a převodovkou. K dobíjení akumulátorů využívá energii vznikající při brždění vozu. Čistě elektrický pohon není prakticky možný vzhledem k malému výkonu elektromotoru. Asistence elektromotoru je řízena elektronicky systém také využívá funkci start-stop.[9]

### 2.4.3 Micro hybrid

Je to nejjednodušší forma hybridního pohonu. V podstatě se jedná jen o vyspělejší formu systému start-stop se silnějším startovacím generátorem. Ta při zastavení vypíná a

následně při rozjezdu zapíná motor. Například u Peugeotu je motor vypínán už při dojezdu ke křižovatce v rychlosti 25 km/h a nižší. Akumulátor a generátor tu neslouží k samotnému pohonu vozidla.[9]

### 3 Elektrický akumulátor energie

U hybridních vozidel se používají stejné typy elektrochemických akumulátorů jako u bateriových elektromobilů. Ovšem je zde potřeba zohlednit to, že u hybridních vozidel se baterie často nevybíjí a nabíjí úplně ale jen částečně na rozdíl od elektromobilů. Proto je volba akumulátoru závislá na koncepci hybridního pohonu a požadavcích jako jsou třeba výkon nebo dojezd.

Elektrický akumulátor je technické zařízení k opakovanému uchování energie. Akumulátor je sekundární článek, který je potřeba po sestavení nejdříve nabít a až poté je možné použít jako zdroj energie. Primární články na rozdíl od sekundárních (akumulátorů) je možné použít ihned po sestavení ale, zpravidla je není možné opětovně nabít. Baterie či akumulátory akumulují energii ve formě chemické energie. Skládají se ze dvou různých materiálů (např. nikl-kadmium) ponořených do elektrolytu (pevná látka nebo kapalina), obsahujícího pohyblivé elektricky nabitě částice, které uvnitř článku umožňují vodivé spojení obou elektrod. Jako elektrolyt se obvykle používá zředěná kyselina, zásada nebo rozpuštěná sůl. Rozdílný potenciál elektrod vůči elektrolytu odpovídá jejich rozličné pozice v elektrochemické napěťové řadě a to způsobuje mezi nimi napětí.

Při nabíjení se dodávaná elektrická energie z jiného zdroje mění na energii chemickou a naopak během vybíjení se akumulovaná energie chemická mění na energii elektrickou, která je dodávaná do obvodu, ve kterém je akumulátor zapojen. Záporná elektroda je anodou při nabíjení a katodou při vybíjení.

Sledovanými prvky u akumulátorů jsou:[3]

**Měrná energie** [W.h.dm<sup>-3</sup>] – vyjádřená ve vztahu k objemu informuje o prostorové náročnosti akumulátoru

**Měrný výkon** [W.kg] má vliv na maximální rychlost a zrychlení.

**Doba nabíjení** [h] závisí na druhu akumulátoru. Pohybuje se v rozmezí několika hodin.

**Životnost** je závislá na údržbě a způsobu vybíjení a nabíjení.

**Cena** patří k nejsledovanějším prvkům, s kterými je úzce spjata.

**Recyklace** zlikvidování škodlivých prvků na konci životnosti akumulátorů.

Pro pohon hybridních vozidel se nabízejí tyto typy akumulátorů:

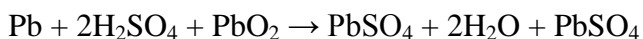
- Olověný akumulátor
- Akumulátor nikl-kadmium
- Akumulátor nikl-metalhydrid
- Akumulátor lithium-ion
- Akumulátor lithium-polymer

## 3.1 Elektrochemické akumulátory

### 3.1.1 Olověný akumulátor

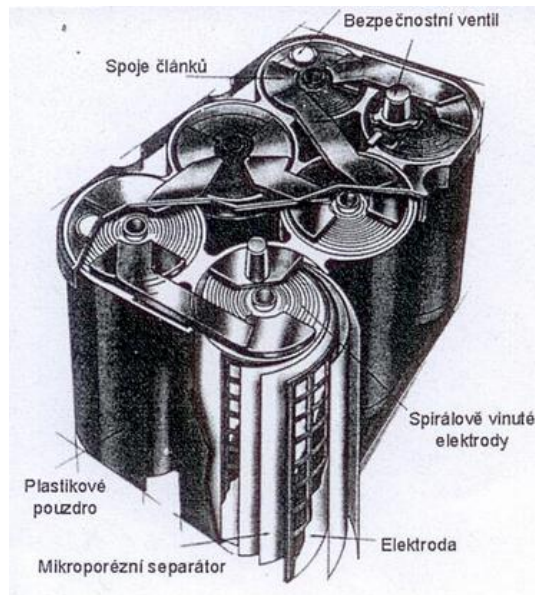
Jedná se o sekundární zdroj stejnosměrného napětí s elektrodami na bázi olova a jeho elektrolytem je zředěná kyselina sírová. V nabitém stavu je kladná elektroda (anoda) tvořena oxidem olovičitým a záporná elektroda (katoda) je čisté olovo. Napětí mezi oběma elektrodami je asi 2 V. Při vybíjení akumulátoru ionty olova difundují do elektrolytu, tam reagují na sulfát olova a uvolňované elektrony protékají vnějším proudovým obvodem k anodě. Při nabíjení je reakce opačná ze sulfátu olova a vody je opět tvořeno olovo, oxid olovičitý a kyselina sírová.

Reakce při vybíjení olověného akumulátoru:



Novější typ olověného akumulátoru je založen na bázi spirálových článků (Obr. 16) a má třikrát větší životnost oproti klasickým akumulátorům. Nosné části jsou z čistého olova, elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě separátoru. Vodík a kyslík vznikající při nabíjení jsou nakombinovány na vodu, akumulátor je bezúdržbový. V tomto uspořádání je v článku udržováno vakuum během cyklování a zvláště při rychlém nabíjení vysokými proudy. Tím můžeme nabíjení zkrátit až na 1 hodinu. Nabíjecí proud může dosáhnout až 100 A při 14,4 V.





Obrázek 16. Olověný akumulátor se spirální technologií[2]

Reálný dojezd vozidel na elektrický pohon s olověným akumulátorem, při plném nabití, je kolem 50 km. Ovšem při nižších teplotách je nutno počítat s poklesem kapacity a tím i dojezdu. Životnost akumulátoru ve vozidle je asi 4 roky nebo 700 cyklů nabíjení a vybíjení a dojezd 25 000 km. Při použití akumulátoru, jako zdroje energie při startování, je životnost dvakrát větší. To je dáno vyšším namáháním akumulátoru v případě vozidla.

Hlavní výhodou olověných akumulátorů, oproti ostatním, je nízká cena. Naopak nevýhodou je hmotnost, pokles kapacity při nízkých teplotách, citlivost na nabíjení a vybíjení a měrná energie.

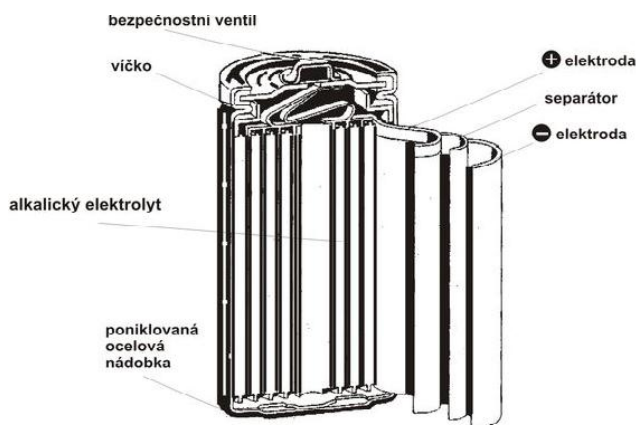
### 3.1.2 Akumulátor nikl-kadmium

Tyto akumulátory se dosud používají ve tvaru otevřených článků. Mají-li být ale použity pro elektrovozidlo nebo hybridní vozidlo musí být vyrobeny jako bezúdržbové a plynotěsné. Speciální stavbou elektrod lze zvýšit kapacitu akumulátoru. Elektrody jsou složeny z vrstveného materiálu, které obsahují elektricky vodivá vlákna niklu. Obě aktivní hmoty nikloxid a kadmium umožňují silné vybití akumulátoru. Elektrolyt je zde použit vodný roztok hydroxidu draselného a stejně jako u olověného akumulátoru se nepodílí na reakci, ale jen zprostředkovává přesun iontů mezi elektrodami.[17]

Reakce při nabíjení a vybíjení nikl-kadmiového akumulátoru je následující:



Baterie nikel-kadmiové mají sice vyšší pořizovací náklady než olovené akumulátory, ale při stejné hmotnosti mají nikel-kadmiové baterie dvakrát větší dojezd než olovené. Dosahují tedy životnosti 1500 cyklů při dojezdu 120 000 km. Ovšem, abychom dosáhli plné kapacity, je třeba baterii pravidelně plně cyklicky vybíjet.



Obrázek 17. Níkel-kadmiový článek[19]

Například HOPPECKE FNC je novinkou těchto akumulátorů. Zde je použita technologie umělohmotných vláken, které jsou poniklovány ve speciálních lázních, ze kterých jsou vytvořeny desky pro obě elektrody, jak kladnou tak zápornou. Tím nám vzniká lehká kompaktní elektroda, kde je do kladné desky pastován hydroxid nikelný a do druhé hydroxid kademnatý. Desky jsou od sebe izolovány plastovými separátory. Napětí článku je 1,2 V. Tyto akumulátory snášejí vysokou proudovou zatížitelnost. Vynikají vysokým počtem cyklů nabití a vybití až 3000, životnost se pohybuje v rozmezí 20 až 25 let, nízkou hmotností a širokým rozsahem teplot -50 až 50 °C. Máme dva typy těchto akumulátorů „T“ se používá k pohonu akumulátorových trakčních vozidel a typ „X“, který splňuje požadavek nabíjení vysokým proudem po dobu kratší 10 minut.

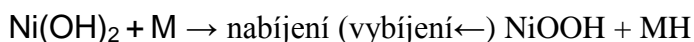
Mezi další vhodné akumulátory pro pohon vozidel je typ STM od firmy SAFT. Tento typ disponuje kapacitou 100 Ah, vodním chlazením a automatickým systémem doplňováním destilované vody, který je umístěn přímo ve víku baterie.

### 3.1.3 Akumulátor níkel-metalhydrid

Jedná se o podobnou baterii, jako je předchozí baterie níkel-kadmium. Materiálem kladné elektrody je sloučenina niklu, záporná elektroda je tvořena slitinou pohlcující vodík. Elektrolytem je zde vodný roztok hydroxidu draselného. Mezitím je separátor, naplněný basickým elektrolytem, většinou ředěným roztokem vápenného nebo lithiového hydroxidu. Při vybíjení vzniká na anodě níkelhydroxid, který přitom odebírá jeden elektron z molekuly. Vzniká skupina OH, která cestuje ke katodě, kde hydrid předá jeden elektron a jeden atom

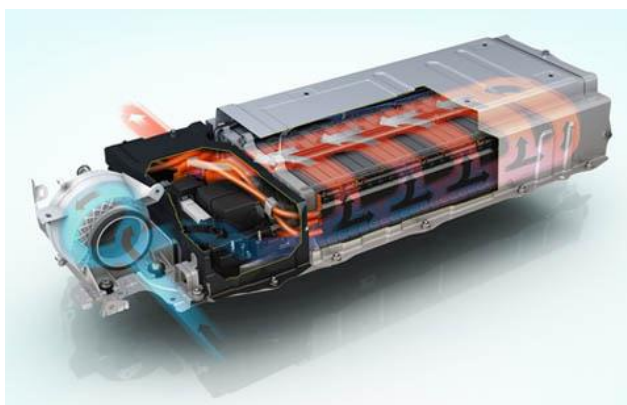
vodíku. Elektron protéká vnějším proudovým obvodem, atom vodíku tvoří se skupinou OH vodu. Při nabíjení tato reakce probíhá v obráceném směru.

Reakce při nabíjení a vybíjení nikl-metalhydridového akumulátoru je následující:



Ni-MH akumulátory jsou ekologické a ve srovnání s nikl-kadmiovými akumulátory mají vyšší výkon i energetickou hustotu. Nevýhodou těchto akumulátorů je citlivost na nabíjecí a vybíjecí režim, vyskytuje se u nich paměťový efekt, vysoká cena a relativně nákladná recyklace na konci jejich životnosti.

Příkladem hybridního vozidla, které využívá Ni-MH akumulátor je Toyota Prius. Hmotnost akumulátoru je 39 kg, skládá se z 28 článků, poskytuje napětí 201,6 V a dosahuje kapacity 6,5 Ah. [2]

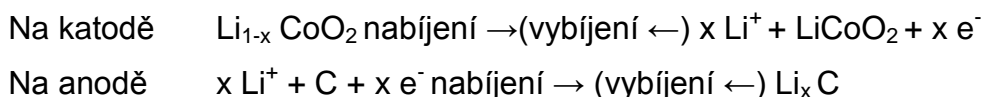


Obrázek 18. Akumulátor Ni-MH Toyoty prius[18]

### 3.1.4 Akumulátor lithium-ion

Kladná elektroda se skládá ze směsi kysličníku lithia s dalším kovem (např. Mn, Co, Ni). Záporná elektroda je tvořena směsí uhlíku s další chemikálií. Jako elektrolyt je zde použita směs vodivé soli a rozpouštědla. Mezi elektrodami vzniká rozdíl potenciálu 3,6 až 3,7 V. Při nabíjení dochází k ukládání iontů lithia do uhlíkové mřížky (katody). Při vybíjení je proces opačný a dochází k uvolňování iontů. Tento akumulátor bývá hovorově nazýván jako kmitavý, neboť ionty mezi katodou a anodou kmitají (oscilují).

Reakce při nabíjení a vybíjení lithium-iontového akumulátoru je následující:



Lithium-iontové baterie mají zvýšenou kapacitu, která ovšem závisí na teplotě, vysokou energetickou a výkonovou hustotu. Životnost až 1000 cyklů, měrná energie dosahuje 120 až 130 Wh/kg. Značnou výhodou je, že se u těchto baterií nevyskytuje paměťový efekt. Asi jedinou větší nevýhodou je jejich vyšší cena.[2]

### **3.1.5 Akumulátor lithium-polymer**

Lithium-polymerové akumulátory je poměrně nový druh elektrochemických článků, které byly vyvinuty z lithium-iontových článků, a tudíž jmenovité napětí jednoho článku je 3,6 V. Anoda je z lithiové a katoda z kovové fólie se zakotveným organosulfidovým polymerem. Pracovní teplota akumulátoru je 40-150 °C. Za podmínek rychlého nabíjení můžeme dosáhnout nabíjecí účinnosti 90 %. Funkčností se nejvíce podobají akumulátorům Li-Ion.

Výhodou těchto baterií je především malá hmotnost, vysoká kapacita, velká výkonnost a velmi malé samovybíjení. Díky těmto svým vlastnostem se neustále více prosazují. Naopak nevýhodou je nutnost používání elektronické ochrany jednotlivých článků při nabíjení a vybíjení. Pro nabíjení je třeba používat pouze nabíječky, které jsou pro tyto články určené.

## **3.2 Vysoko energetický kondenzátor – Superkondenzátor**

Kondenzátor pracuje na elektrostatickém principu uložení náboje a je vhodný pro krátkodobé uložení energie a její rychlé čerpání. Na rozdíl od všech ostatních akumulátorů, u kterých je energie uchovávána ve formě mechanické, chemické nebo magnetické formě je u kondenzátorů energie akumulována přímo v elektrické formě. Každá přeměna energie je spojena se ztrátami, proto se kondenzátor jeví jako nejvýhodnější zařízení pro akumulaci elektrické energie. Ovšem běžný kondenzátor není díky své nízké měrné energii (0,01 Wh/kg) vhodný pro akumulaci energie, proto se v posledních letech začíná používat superkondenzátor, který dosahuje až stonásobku měrné energie oproti běžnému kondenzátoru. Také měrný výkon této součástky je relativně velký.

Superkondenzátor (obr. 19) je tvořen těmito částmi: kladná a záporná elektroda z hliníkové fólie, dvě vrstvy aktivního uhlíku a mezi nimi separátor. V nenabitém stavu jsou částice s nenulovým nábojem (ionty) rozloženy rovnoměrně v tekutém nebo gelovém elektrolytu, který je mezi elektrodami. K jejich rozpočívání dojde při přiložení napětí, a to tak, že záporné ionty se budou pohybovat ke kladné elektrodě a obráceně. Tím vznikne dvouvrstva se zrcadlovým rozložením elektrického náboje. Použitelné napětí je dáno disociačním napětím a obvykle nepřesahuje 2,3 V.



Obrázek 19. Struktura svitku superkondenzátoru[20]

Vhodným materiálem pro aktivní elektrody (vnitřní strana hliníkových vnějších kontaktních elektrod) superkondenzátou je aktivní uhlík. Důvodem je velká dosažitelná plocha skutečného povrchu (vysoká poréznost), chemická netečnost, elektrická vodivost a relativně nízká cena. Při extrémně malé tloušťce dvouvrstvy do 10 nm můžeme dosáhnout povrchu elektrod až  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ , což znamená kapacitu řádově tisíců Farad ve velmi malém objemu. Nízký odpor přívodních elektrod zaručuje vysokou rychlost nabíjecího a vybíjecího procesu a malé ohmické ztráty při provozu. Například superkondenzátor o rozměrech 4 x 6 x 9 cm, hmotnosti 290 g a parametrech 600 F/ 2,3 V má v porovnání s elektrolytickým kondenzátorem 100 x vyšší měrný výkon vztažený k objemu i hmotnosti.[20] [2] [1]

Vrstvy aktivního uhlíku mohou být vytvořeny z následujících materiálů:

1. uhlíkový aerogel – je to unikátní pevný materiál s nízkou hustotou vzniklý z normálního gelu náhradou kapalně složky vzduchem.
2. uhlíkový polymer – vyznačují se redukční - oxidační paměťovým mechanismem s velkou povrchovou oblastí.
3. uhlíkové nanotrubicice – jsou budoucností superkondenzátorů. Nanotrubicice mají výbornou pórovitost s póry o velikosti několika nm.

Výhody:

- nízký vnitřní odpor
- životnost a účinnost
- vyroben z netoxických materiálů
- možnost častého nabíjení a vybíjení
- vysoká efektivita nabíjení
- je bezúdržbový
- snáší teploty až do  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$

Nevýhody:

- závislost napětí na množství uloženého náboje
- nízký poměr uložené energie na váhu (10 x horší vztaženo k běžným bateriím)
- nejvyšší dielektrická absorpce ze všech kondenzátorů

Tabulka 1. Porovnání výkonových parametrů olověné baterie, super-kondenzátoru, a běžného kondenzátoru [1]

	<b>olověná baterie</b>	<b>super-kondenzátor</b>	<b>běžný kondenzátor</b>
<b>nabíjecí doba</b>	1 – 5 h	0,3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
<b>vybíjecí doba</b>	0,3 – 3 h	0,3 – 30 s	$10^{-3} - 10^{-6}$ s
<b>měrná energie [Wh/kg]</b>	10 - 100	1 - 10	< 0,1
<b>měrný výkon [W/kg]</b>	< 1000	< 10 000	< 100 000
<b>životnost [cyklů]</b>	1000	> 500 000	> 500 000
<b>účinnost nabíjení a vybíjení [%]</b>	70 - 85	85 - 98	> 95

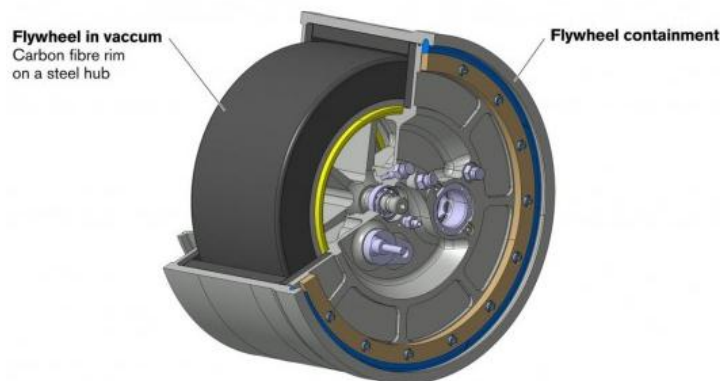
Z hlediska použití je superkondenzátor vhodný k nasazení ve dvou oblastech. V té první jako nouzový zdroj elektrické energie u zařízení s malým příkonem. Druhou oblastí je pak využití jeho schopnosti dodávat velký špičkový proud. Sem zapadá využití u vozidel s hybridním pohonem, kde hraje hlavní roli spalovací motor, a to ve dvou základních činnostech. Jako akumulátor brzděné energie, zdroj špičkového výkonu potřebného pro akceleraci, nebo jako startér automobilu, který je schopný poskytnout proud až 400 A po několik sekund, což je pro nastartování dostatečná doba. To nám umožní snížení proudového dimenzování baterie, a tím i její velikosti.

## 4 Mechanický akumulátor energie

U hybridních pohonů osobních automobilů se v rámci mechanických akumulátorů uvažuje hlavně o využití setrvačníku. Setrvačnick (Obr. 20) je rotační těleso deskovitého tvaru pro akumulaci kinetické energie a využívá se jeho momentu setrvačnosti. Přičemž u automobilu využívá brzdící kinetickou energii a později pomocí generátoru ji opět využívá pro další jízdu. Kapacita setrvačníku závisí na rozdělení hmotnosti a maximálních otáčkách. Princip uložení energie je tedy velmi jednoduchý. Množství uložené energie je přímo úměrné hmotnosti a úhlové rychlosti rotujícího kola okolo osy procházející těžištěm.

Platí tedy  $E_k = \frac{1}{2} * J * \omega^2$  kde  $J$  = moment setrvačnosti a  $\omega$  = úhlová rychlost [22]

Z tohoto vztahu vyplývá, že potenciál setrvačnicku lze zvýšit hmotností, průměrem nebo rychlostí otáčení. Jelikož zvyšování rozměrů by přineslo další zvyšování jízdních odporů, vývoj se ubírá směrem zvyšování otáček.



Obrázek 20. Setrvačnick Volvo[23]

Výhodou oproti bateriím je, že snímá energii ve zlomku sekundy bez velkých ztrát a opět ji předává. Dosahuje vysoké životnosti, pracuje bez škodlivých látek, tudíž je ekologičtější a pracuje bez opotřebení.

Vzhledem k tomu, že rotační části vyvolávají velké síly je kladen důraz na materiál, z něhož je setrvačnick sestaven. Proto bývá použita pevnostní ocel legovaná vysokohodnotným titanem a vláknitým spojovacím materiálem. Vysoké požadavky jsou kladeny také na ložiska, proto se zavádí magnetická ložiska, která pracují bez otěru a bez tření. Tím značně zvýšíme výkonovou hustotu setrvačnicku a můžeme uspořit až 30 % energie. Setrvačnick se využívají jak u osobních vozidel tak i u velkých (autobus, trolejbus)[2]

V minulosti byl v praxi využit setrvačnick například ve Švýcarsku, Belgii, Švédsku nebo Číně ke stavbě gyrobusů (Obr. 21). Na každé zastávce se sběrače gyrobusu připojil k nabíjecímu stožáru a proud ze sítě během výměny cestujících urychlil setrvačnick tak, že naakumuloval dostatečné množství energie. To stačilo gyrobusu k ujetí několika kilometrů k další zastávce s nabíječkou. Problémem bylo umístění setrvačnicků z důvodu působení gyroskopického momentu. Ten musel být uložen tak, aby osa rotace byla ve svislé poloze a neovlivňoval jízdní vlastnosti.[21]



Obrázek 21. Gyrobus na jedné ze zastávek[21]

Konstrukce se setrvačником jako jediným akumulátorem energie se neosvědčila. Hlavním problémem byl akční rádius vozidla, který činil asi 2 km, a tím nezbytné připojení k síti stanic pro doplnění energie. Dalším jeho nedostatkem byla vysoká hmotnost, vysoký mechanický i aerodynamický odpor, nízká bezpečnost, vysoký gyroskopický moment ovlivňující jízdní vlastnosti vozidla (průjezd zatáčkou, odpružení vozidla) atd. Možným řešením k odstranění gyroskopického efektu je použití dvou setrvačníků, které se budou otáčet opačným směrem. Problémem ovšem je značné namáhání ložisek setrvačnicku.

V současnosti se i přes uvedené nedostatky setrvačnick využívá. Například v Basileji je v provozu 12 trolejbusů. Elektrická energie je dodávána elektromotoru ze sítě, nebo ze setrvačnickového zásobníku. U těchto trolejbusů byl proveden test a zjistilo se, že odebírají o 25 až 30 % méně energie ze sítě. Setrvačnick využívá energii vzniklou při brzdění. Použitý vysoce výkonný magnetodynamický zásobník lze nabít výkonem až 150 kW a umožňuje dojezd po rovině až 3 km. Zastávky jsou rozmístěny, tak aby byl co nejvíce využit zásobník, jenž zachycuje volnou brzdící energii.

Jelikož vozidlo koná různé druhy pohybu, při kterých dochází ke změně osy rotace setrvačnicku, vznikají dynamické jevy (precese a nutace), které by ovlivňovaly dynamické vlastnosti vozidla. Asi nejvhodnějším umístěním osy setrvačnicku je napříč vozidla, kde nepůsobí žádné zmiňované síly, a při vhodné volbě směru otáčení setrvačnicku můžeme dosáhnout stabilizačního účinku. Přesto je řada dalších problémů jako například:

- chlazení vnitřního prostoru setrvačnicku
- utěsnění setrvačnicku
- náplň plynu v uzavřeném prostoru setrvačnicku
- regulace systému a vyřešení komplexního působení jednotlivých agregátů

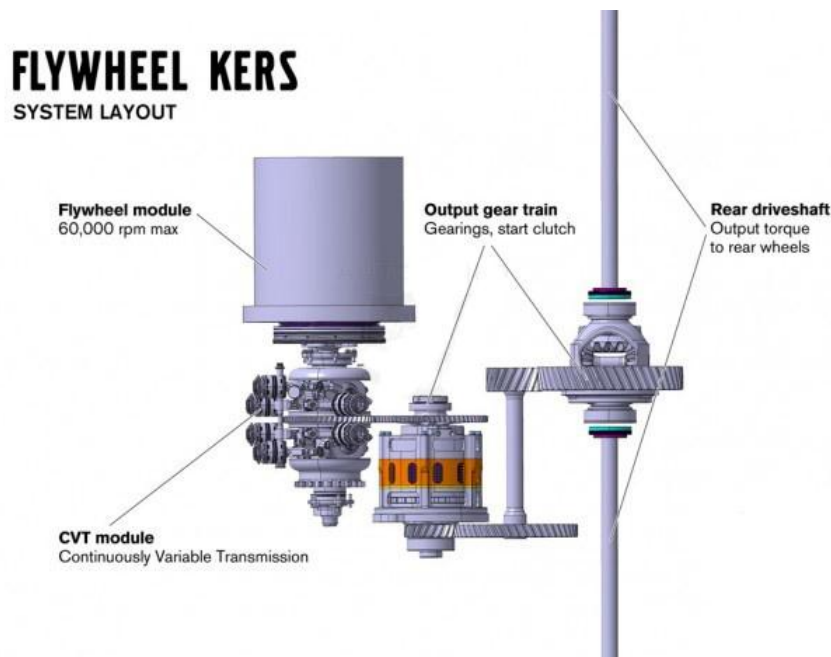


Tento druh hybridního pohonu (SM + setrvačnick) byl vyvinut v Eindhoven. Setrvačnick o hmotnosti 19 kg je uložen ve vakuu. K přenosu energie na kola slouží převodovka  $i^2 - CVT$ . Jméno je dáno tím, že převodový stupeň v pracovním rozsahu probíhá dvakrát. Velkou možností pohonu nám umožňuje 9 převodových stupňů dopředu, které poskytuje pět volně stavitelných třecích spojek. Do rychlosti 120 km/h je využito spalovacího motoru především pro odpor vůči valení, vzduchu, nebo ztráty hnacího ústrojí. Pro brzdění nebo zrychlení zde slouží pouze setrvačnick.

Novinku v oblasti tohoto pohonu představilo Volvo a systém nazvalo FKERS. Tento systém rekuperuje kinetickou energii čistě mechanickým využitím setrvačnicku.

FKERS je zkratkou pro Flywheel Kinetic Energy Recovery System a odkazuje na systém KERS, který je především znám z formule 1. Z prohlášení Volva zní, že FKERS představuje lehký a levný systém, který při akceleraci u automobilu s čtyřválcovým motorem vyvolá dojem šestiválce. Navíc dokáže snížit spotřebu vozidla zhruba o 20 %.

Systém FKERS je napojen na zadní nápravu, kde sbírá kinetickou energii ze zadních kol. Jakmile řidič sešlápne brzdící pedál, energie vytvářená při brzdění roztáčí setrvačnick až do otáček 60 000 ot/min a v momentu, kdy bude auto akcelarovat, začne se kinetická energie ze setrvačnicku přenášet na zadní kola vozidla za pomoci speciální převodovky. Tento systém tedy uchovává energii trvale v „kinetickém stavu“. Motor, který pohání běžně přední nápravu, je vypnut v momentu, kdy dochází k brzdění a roztáčení zmiňovaného setrvačnicku. Podle Volva je kinetická energie dost velká, aby dokázala rozpohybovat automobil bez pomoci spalovacího motoru. Setrvačnick bude také možno využít i v případě že automobil dosáhl cestovní rychlosti.



Obrázek 22. Schéma funkce systému FKERS[23]

Automobil vybavený tímto systémem dostane jako bonus až 80 koní. Ovšem tato technologie má své omezení, které je dané funkčním principem. Setrvačnick se sice roztočí na dané otáčky při brzdění, ale v těch nevydrží po neomezenou dobu a využitelná energie tak v čase rapidně klesá.

Největší účinnosti se tedy bude systém FKERS těšit v městském provozu, kde je brzdění a rozjíždění podstatně vyšší než v jiných jízdních režimech. Zde má technologie největší opodstatnění a bude mít zásadní vliv na spotřebu. Ta bývá v městském provozu vysoká hlavně kvůli častému rozjíždění a zastavování.

Samotný setrvačnick je tvořen z uhlíkových vláken a váží přibližně okolo 6 kg. Průměr setrvačnicku se podařil udržet pod 20 cm. To umožní bezproblémovou montáž na zadní nápravu běžného automobilu. Setrvačnick pracuje ve vakuu (samozřejmě ne ideálním), čímž předchází ztrátám a využitelnost kinetické energie je v podstatě větší. [23]

**KERS**, nebo li Kinetic Energy Recovery System slouží k rekuperaci brzděné energie, která může být akumulovaná ve formě elektrické (baterie), nebo mechanické (setrvačnick). Tento systém je nejvíce spojován s vozy formule 1 a je koncipován ke krátkodobému uchování energie a následovnému zvýšení výkonu vozidla (předjíždění, rozjezd). Tato novinka se poprvé objevila v seriálu mistrovství světa vozů formule 1 v roce 2009 a jednotlivé stáje si mohou zvolit, zda budou používat ukládání v podobě elektrické energie, nebo mechanické.

Pravděpodobně jediná stáj, která využívá systému KERS se setrvačnickem je Williams. Ostatní týmy používají systém s ukládáním energie do superkondenzátorů nebo baterií. Williams svůj systém nehodlá vyvíjet pouze pro potřeby závodů F1, ale také ho prodávat ostatním automobilovým závodům a dokonce i do běžných automobilů.

Systém KERS Williamsu sice využívá setrvačnick, ale není plně mechanický. Setrvačnick není roztáčen převodovkou, ale elektromotorem, který při brzdění dodává energii setrvačnicku a ten se roztáčí. Při potřebě zvětšení výkonu je proces opačný.

Použití elektromechanického systému má mít za výhodu možnost libovolného umístění setrvačnicku ve voze, a tím optimalizovat vliv gyroskopického efektu na jízdní vlastnosti. Setrvačnick tedy funguje jako baterie nebo kondenzátor, ovšem může mít vliv na jízdní vlastnosti vozu. Williams si od tohoto systému slibuje, že jejich systém s elektromotorem bude pro automobily výhodnější z hlediska hmotnosti, oproti bateriovým hybridům a je schopný dodávat vysoké výkony podobné superkondenzátorům.[24]



Obrázek 23. KERS systém Williamsu[24]

## 5 Hydrostatický akumulátor energie

Rekuperace brzděné energie do hydrostatických akumulátorů má své kořeny už v 80. letech minulého století. Tehdy byl ovšem vývoj příliš drahý a kvůli poměru úspory energie, kterou měl systém přinést a tehdejší ceně ropy byl výzkum ukončen. Ovšem v současnosti, kdy je značný tlak na snižování spotřeby paliva, ekologické aspekty, vysoká cena pohonných hmot, se opět tato technologie začíná objevovat.

Největší výzkum provádějí firmy Bosch Rexroth, Eaton a Parker. Anglicky se tento systém nazývá Hydrostatic Regenerative Braking systém (HRB). Hydrostatický rekuperační systém slouží k ukládání brzděné energie v tlakové nádrži a zmírňuje zátěž hlavní pohonné jednotky při zrychlování vozidla.

Hydrostatický rekuperační systém použitý v automobilech má za cíl snížit spotřebu paliva. Využití je především plánováno u vozidel s velkým počtem rozjezdů a brzdění jako třeba městské autobusy, popelářské vozy nebo vysokozdvizné vozíky. Například v USA ve Virginii používají hydrostatický rekuperační brzdový systém od firmy Bosch Rexroth v popelářských automobilech, kde se každý kamion zastaví a rozjede asi 800 krát denně. Tento systém lze do automobilu přidělat i dodatečně bez větších úprav.

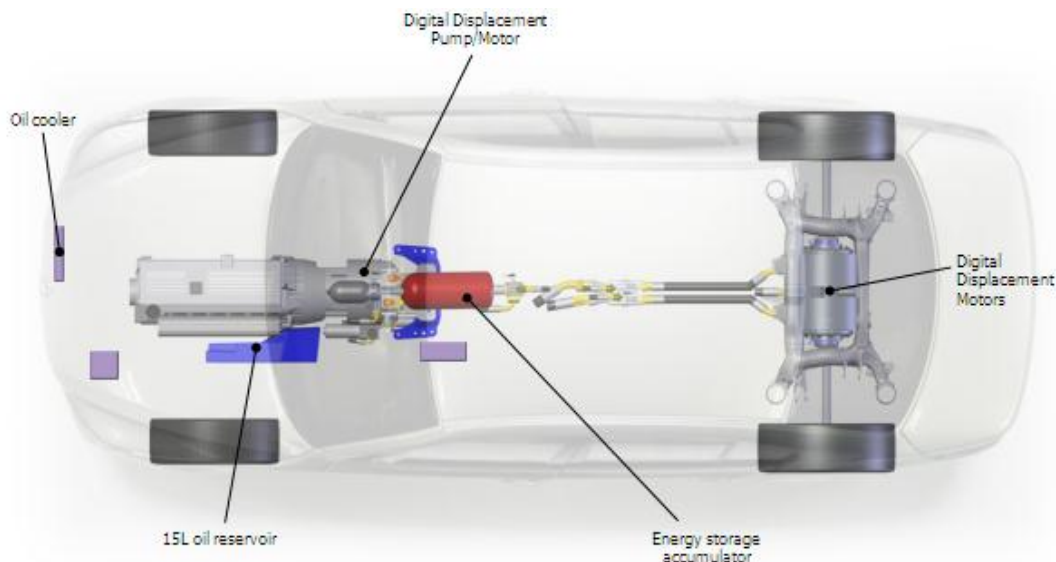
Princip činnosti HRB je následující. Automobil je vybaven vysokotlakým zásobníkem a hydromotorem, který pracuje také jako hydrogenerátor. Pokud řidič sešlápne brzdový pedál, hydrogenerátor začne stlačovat kapalinu do vysokotlakého zásobníku a výsledný odpor vozidlo zpomalí. Při zrychlování dojde k uvolnění kapaliny ze zásobníku, která roztáčí hydromotor. Výsledkem je menší měrná spotřeba paliva až o 25 % a menší emise.[25]

Charakteristika hydraulického hybridu:

- vysoký měrný výkon, nižší hustota energie
- velké množství uložené energie v krátkém čase
- ideální pro vozidla s častým brzděním a rozjezdem

Výhody systému HRB: [26]

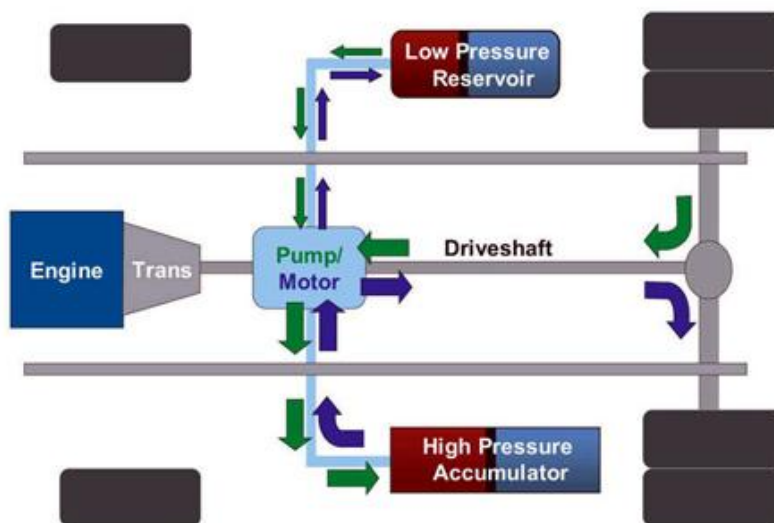
- snížení spotřeby paliva až o 25 %
- snížení emisí výfukových plynů
- menší opotřebení brzd
- snížení nákladů na provoz
- efektivnost systému ve srovnání s ostatními
- jednoduchá údržba a dlouhá životnost
- zlepšení akcelerace vozidla



Obrázek 24. Schéma systému HRB od firmy Bosch[28]

Společnost Eaton ve spolupráci s automobilkou Ford Motor Company představili regenerační brzdový systém s názvem (HLA) Hydraulici Launch Assist (Obr. 25). Systém je navržen pro potřeby velkých automobilů a městského provozu, a tím snížení spotřeby paliva vozidla o 25 – 35%. Tento systém je použit v automobilu Ford – 350 Automobil je poháněn naftovým 6,0 l o výkonu 350 koňských sil.

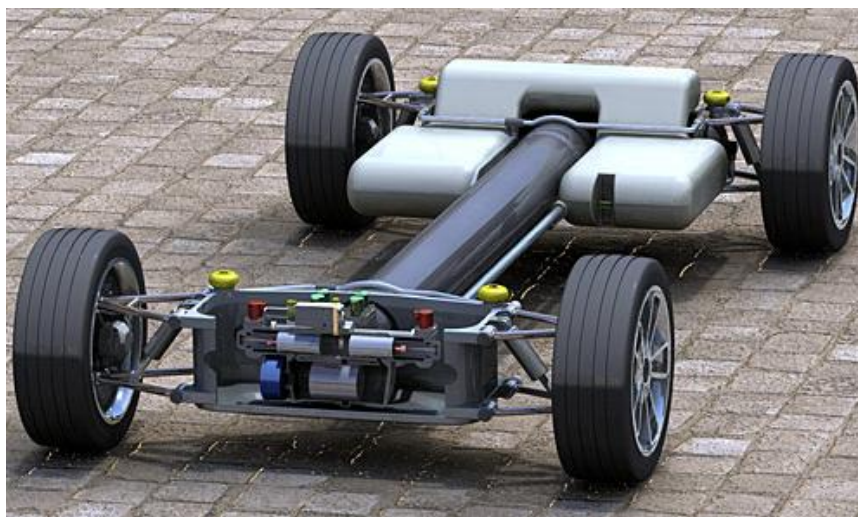
Systém HLA umožňuje výrazně lepší hospodaření s palivem, obnovuje část energie ztracené při brzdění, převádí a ukládá ji hydraulickým tlakem. Při akceleraci je uložená energie uvolněna a pomocí spojky působí na hnací hřídel po dobu 10 – 15 vteřin pohání automobil, zatímco spalovací motor zahálí.[27]



Obrázek 25. Schéma hydraulického (HLA) systému Ford[29]

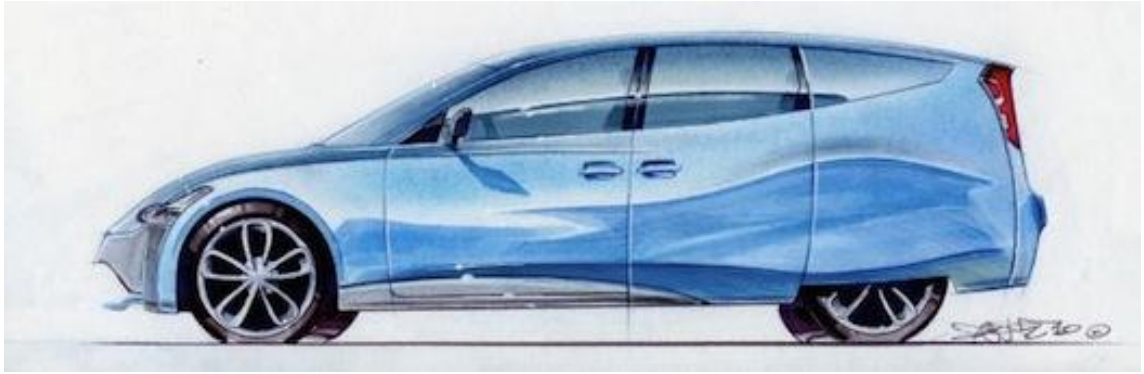
Americká společnost Valentin Technologies zabývající se vývojem hydrostatických motorů pro automobily. Přišla s vývojovým konceptem hybridního osobního automobilu IngoCar jedná se o pětimístný automobil se spotřebou 1,4 l/100 km o hmotnosti 725 kg. IngoCar je hydraulické hybridní vozidlo, které stejně jako některé elektrické hybridy (např. Chevrolet Volt) používá spalovací motor nepřímo. Oproti běžným spalovacím motorům je tento koncept lehčí díky použití motoru o menším objemu a nedochází k velkým ztrátám energie, které se vyskytují mezi motorem, hnacím ústrojím a koly.

Automobil je postaven na jednoduchém tvaru I trubkového rámu (Obr. 26), na kterém jsou umístěny tlakové nádrže, které slouží jako akumulátory energie pro pohon hydromotorů umístěných ve všech kolech. Hydromotory mohou také pracovat obráceně, a to jako generátor brzděné energie, který je schopen uložit až 85 % energie, kterou může poté využít k pohonu. Spalovací motor, který poskytuje výkon potřebný pro kompresi tekutiny, může běžet dle potřeby (start-stop).[30]



Obrázek 26. I trubkový rám automobilu IngoCar[30]

Automobil má rozměry 430 cm x 175 cm x 142 cm, maximální rychlost automobilu je 160 km/h, z nuly na sto zrychlí za 5 vteřin, na jednu nádrž ujede až 1600 km a kufr o objemu 620 l.



**Obrázek 27. Náčrt hydraulického automobilu IngoCar[31]**

Kromě IngoCar s hybridním hydrostatickým pohonem vyvinula firma také verzi E s elektrickou hydraulickou jednotkou. Systém se zde skládá z baterie, elektromotoru a hydraulické pumpy. [31]

## 6 Doporučení a závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit literární rešerši o akumulaci energie hybridních pohonů. Elektrické akumulátory jsou v současnosti nejvíce používané pro akumulaci energie u hybridních vozidel. To je dáno především dobře zvládnutou technologií a konstrukcí, nevýhodou je ovšem jejich omezená životnost a hmotnost. Právě díky těmto vlastnostem se vývoj ubírá směrem mechanických a hydrostatických akumulátorů, které jsou oproti elektrickým lehčí, mají větší životnost a při ukládání energie nedochází k velkým ztrátám. Sice vyžadují větší investici na vývoj a výrobu, přesto je můj názor takový, že do budoucna je budeme používat čím dál víc.

Do budoucna se dá očekávat, že tlak na automobilový průmysl v oblasti snižování emisí bude neustále silnější, a proto by měla budoucnost patřit zejména hybridům a elektromobilům. To je šance pro mnohé automobilky prosadit se na trhu a udělat si renomé. Z hlediska nižší spotřeby a šetrnosti k životnímu prostředí se hybridní automobily jeví jako ideální. Možnou nevýhodou se zdá jejich složitost konstrukce, která je způsobená kombinací v podstatě dvou kompletních pohonů. To zvyšuje pravděpodobnost poruch, ale také třeba zvýšení hmotnosti vozidla, nebo výrobních nákladů. Ve vyspělých zemích je z ekologických důvodů do vývoje nových technologií investována velká finanční částka formou daňových úlev, finančními příspěvky či jiným zvýhodněním. Až v následujících letech se ukáže, zda tyto investice byly správné.

Přestože provozování hybridních automobilů neklade na uživatele žádné jiné nároky, než běžné automobily, myslím si, že hybridní automobily jsou jakýmsi mezikrokem mezi automobily se spalovacími motory a elektromobily.



## 7 Zdroje

- [1] Hromádko, J., Hromádko, J., Miler, P., Hönig, V.: Speciální spalovací motory, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011, ISBN 978-80-213-2168-7, 152 s.
- [2] Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. Nakladatelství BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
- [3] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2004. ISBN 80-239-1602-5
- [4] RAUSCHER, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
- [5] AUTO.CZ. *Hybridní automobily – historie* [online]. 3.8.2008 [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: <http://www.baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>
- [6] HORČÍK, Jan. *Historie hybridních aut, 3. díl* [online]. 2.10.2009 [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-3-dil>
- [7] HORČÍK, Jan. *Historie hybridních aut, 2. díl* [online]. 1.10.2009 [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>
- [8] BISKUP, Pavel. *Hybridní pohony* [online]. 22.7.2004 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z:  
[http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/hybridni-pohony\\_990.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/hybridni-pohony_990.html)
- [9] AUTOJOB.CZ. *Spalovací motor nebo elektrický pohon?: Řešením je Lexus Hybrid Drive – to nejlepší z obou světů! PŘEHLED HYBRIDNÍCH TECHNOLOGIÍ* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.autojob.cz/auto-magazin/clanek/862-spalovaci-motor-nebo-elektricky-pohon-.htm>
- [10] IFASTER.TISCALI.CZ. *Seriál: HYBRIDNÍ POHONY, DÍL I.* [online]. 6. 12. 2011 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://ifaster.tiscali.cz/serial-hybridni-pohony-dil-i/>
- [11] DUCHOŇ, Jiří. Audi A8 Hybrid: eko limuzína oficiálně. [online]. [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/audi-a8-hybrid-eko-limuzina-oficialne>

- [12] TOPSPEED.COM. *2010 Audi A8 Hybrid* [online]. 03.2.2010 [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: <http://www.topspeed.com/cars/audi/2010-audi-a8-hybrid-ar85740/picture350980.html>
- [13] PAVLŮSEK, Ondřej. *Chevrolet Volt: Dodávky prodejcům zahájeny* [online].  
15.12.2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/chevrolet-volt-dodavky-prodejcum-zahajeny-53330>
- [14] DUCHOŇ, Jiří. *Chevrolet Volt: konečně podrobně* [online]. 13.10.2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/chevrolet-volt-konecne-podrobne>
- [15] GM-VOLT.COM. [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://gm-volt.com/wp-content/uploads/2009/11/volt-powertrain.jpg>
- [16] LÁNIK, Ondřej. *Lexus RX 450h – Full-hybrid, coby optimum* [online]. 27.7.2009 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/lexus-rx-450h-full-hybrid-coby-optimum-2083>
- [17] MVE.ENERGETIKA.CZ. *Akumulátory* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/akumulator.htm#olovo>
- [18] HORČÍK, Jan. *Toyota zůstane u NiMH baterií* [online]. 22.12.2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/toyota-zustane-u-nimh-baterii>
- [19] BATERIA.CZ. *Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd)* [online]. [cit. 2012-04-07].  
Dostupné z: [http://www.bateria.cz/editor/image/stranky3/Image/nicd\\_nimh.jpg](http://www.bateria.cz/editor/image/stranky3/Image/nicd_nimh.jpg)
- [20] VOJÁČEK, Antonín. *Superkondenzátor - princip, vlastnosti, použití* [online].  
26.12.2006 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>

- [21] HORČÍK, Jan. *Setrvačník, inovativní řešení pro hybridní a elektrická vozidla, 1. díl* [online]. 20.12.2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/setrvacnik-inovativni-reseni-pro-hybridni-elektricka-vozidla-1-dil>
- [22] PLOMER, Jan. *Setrvačník, inovativní řešení pro hybridní a elektrická vozidla, 2. díl* [online]. 3.1.2011 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/setrvacnik-inovativni-reseni-pro-hybridni-elektricka-vozidla-2-dil>
- [23] ŠTEFEK, Petr. *Volvo FKERS: 80 koní navíc skoro zadarmo* [online]. 30.5.2011 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/volvo-fkers-80-koni-navic-skoro-zadarmo/>
- [24] VOKÁČ, Luděk. *Setrvačníky KERS už míří z formule 1 do obyčejných aut* [online]. 27.4.2009 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/setrvacniky-kers-uz-miri-z-formule-1-do-obycejnych-aut-pf3-/automoto.aspx?c=A090423\\_153801\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/setrvacniky-kers-uz-miri-z-formule-1-do-obycejnych-aut-pf3-/automoto.aspx?c=A090423_153801_automoto_vok)
- [25] DRIVESMAG.COM. *Hydrostatic Regenerative Braking System (HRB) Nets 25% Efficiency in Commercial Vehicles* [online]. 8.5.2008 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.drivesmag.com/index.php/component/content/article/13/550-hydrostatic-regenerative-braking-system-hrb-nets-25-efficiency-in-commercial-vehicles>
- [26] BOSCHREXROTH.COM. *Hydrostatic Regenerative Braking System HRB: Advantages of the HRB* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: [http://www.boschrexroth.com/business\\_units/brm/en/products\\_and\\_solutions/hydraulic-systems/hrb-system/advantages-HRB/index.jsp](http://www.boschrexroth.com/business_units/brm/en/products_and_solutions/hydraulic-systems/hrb-system/advantages-HRB/index.jsp)
- [27] LEVINE, Michael. *Ford Mighty F-350 Tonka Concept* [online]. 01-06-02 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.pickuptrucks.com/html/autoshow/naias2002/ford/tonka.html>

- [28] AUTOPARERI.COM. *Bosch - Hydrostatic Regenerative Braking System HRB: 87% di efficienza* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.autopareri.com/forum/tecnologie-per-lambiente/43735-bosch-hydrostatic-regenerative-braking-system-hrb-87-di-efficienza.html>
- [29] [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://tech.groups.yahoo.com/group/ETList/mesage/535>
- [30] FUTURECARS.COM. *INGOCAR from Valentin : Platform of The Future* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.futurecars.com/future-cars/hybrid-cars/ingocar-from-valentin-platform-of-the-future>
- [31] HORČÍK, Jan. *IngoCar - osobní auto s hydrostatickým motorem* [online]. 22.3.2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/ingocar-osobni-auto-s-hydrostatickym-motorem>
- [32] BUYACAR.CO.UK. *Toyota Prius 1.5 VVTi T Spirit Hybrid 5dr CVT Auto hatchback* [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: [http://www.buyacar.co.uk/toyota\\_prius\\_hatchback/car\\_15\\_vvti\\_t\\_spirit\\_hybrid\\_5dr\\_cvt\\_auto\\_41.jhtml](http://www.buyacar.co.uk/toyota_prius_hatchback/car_15_vvti_t_spirit_hybrid_5dr_cvt_auto_41.jhtml)

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Automobil Mixte 4x4[5].....	12
Obrázek 2: Automobil GM 512[7].....	12
Obrázek 3: Victor Wouk s automobilem Buck Skylark[7].....	13
Obrázek 4: Opel GT[6].....	13
Obrázek 5: Audi Duo první generace[5].....	14
Obrázek 6: Toyota Prius[32].....	14
Obrázek 7. Honda Insight první generace[6].....	15
Obrázek 8.1 Pole účinnosti spalovacího motoru[2].....	17
Obrázek 8.2 Pole účinnosti elektromotoru[2].....	17
Obrázek 9. Schéma sériového uspořádání[2].....	18

Obrázek 10 Chevrolet Volt[13].....	18
Obrázek 11. Podvozek Chevroletu Volt[15].....	19
Obrázek 12. Schéma paralelního uspořádání[2].....	19
Obrázek 13. Řez vozem Audi A8 Hybrid TFSI[12].....	20
Obrázek 14. Schéma smíšeného uspořádání[2].....	21
Obrázek 15. Převodové ústrojí automobilu Lexus RX 450h[16].....	21
Obrázek 16. Olověný akumulátor se spirální technologií[2].....	25
Obrázek 17. Nikl-kadmiový článek[19].....	26
Obrázek 18. Akumulátor Ni-MH Toyoty prius[18].....	27
Obrázek 19. Struktura svitku superkondenzátoru[20].....	29
Obrázek 20. Setrvačnick Volvo[23].....	31
Obrázek 21. Gyrobus na jedné ze zastávek[21].....	32
Obrázek 22. Schéma funkce systému FKERS[23].....	34
Obrázek 23. KERS systém Williamsu[24].....	35
Obrázek 24. Schéma systému HRB od firmy Bosch[28].....	37
Obrázek 25. Schéma hydraulického (HLA) systému Ford[29].....	37
Obrázek 26. I trubkový rám automobilu IngoCar[30].....	38
Obrázek 27. Náčrt hydraulického automobilu IngoCar[31].....	39

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 1. Porovnání výkonových parametrů olověné baterie, super-kondenzátoru, a běžného kondenzátoru [1].....	30
--	----