

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## TRENDY VE VÝVOJI HYBRIDNÍCH VOZIDEL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HYBRID VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FILIP ŠEBESTA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

Brno 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Šebesta

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:

### **Trendy ve vývoji hybridní vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Trends in the development of hybrid vehicles**


Stručná charakteristika problematiky úkolu:


Popis konstrukčních řešení aktuálně vyráběných hybridních vozidel a jejich řešení. Koncepce full hybrid, Atkinsonův cyklus, akumulace energie, baterie.

Cíle bakalářské práce:

Základní rozbor Atkinsonova cyklu a proč je používán u hybridních vozidel. Přehled technických řešení hybridů na trhu. Rozbor výhod a nevýhod jednotlivých řešení. Metody akumulace energie.



  
prof. MGR. Miroslav Douřádek, CSc., dr. h. c.  
Děkan

  
doc. Ing. Zdeněk Štáhl, CSc.  
Ředitel ústavu

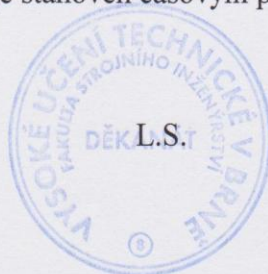
Seznam odborné literatury:

- [1] Cengel Y., Boles M.: Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Professional 2010.
- [2] Nerad Jack R., Hybrid and Alternative Fuel Vehicles, Alpha
- [3] Pistoia Gianfranco, Electric and hybrid vehicles, Elsevier
- [4] Fuhs Allen E., Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation. CRC Press 2009
- [5] Mi Cris, Masrur Abul, Gao David, Hybrid Electric Vehicles. Wiley 2011

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 18.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

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

## ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na zpracování přehledu moderních elektrických a hybridních pohonů osobních vozidel. U jednotlivých druhů pohonů jsou uvedeny jejich vlastnosti, konstrukční řešení, využití, výhody a nevýhody. Dále popisuje nové trendy a technologie hybridních vozidel. V závěru jsou srovnány výhody a nevýhody hybridních pohonů a spalovacích motorů. Zhodnocení z hlediska dostupnosti a ekonomiky provozu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Automobil, hybridní, spalovací, motor, pohon, elektromobil, elektromotor, technologie

## ABSTRACT

This bachelor is aimed on making a survey of modern electric drives and hybrid cars. For each kind of drive out their properties, structural design, usage, advantages and disadvantages. It also describes new trends and technology of hybrid vehicles. In conclusion, the comparison of the advantages and disadvantages of hybrid drives and internal combustion engines. Assessment of the availability and economy of operation.

## KEYWORDS

Automobile, hybrid, combustion, engine, drive, electric vehicle, electromotor, technology

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEBESTA, Filip. *Trendy ve vývoji hybridních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 35 s., 1 příloha. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Trendy ve vývoji hybridních vozidel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22. května 2013

.....

Filip Šebesta

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

## OBSAH

Úvod .....	10
1 Historie hybridních vozidel .....	11
2 Elektrická vozidla .....	13
2.1 Jak elektrická vozidla pracují? .....	13
2.2 Baterie v elektromobilech .....	13
2.3 Bezpečnost elektromobilů .....	14
2.4 Porovnání nákladů na palivo x elektřinu .....	15
3 Hybridní vozidla .....	17
3.1 Jak funguje hybridní pohon? .....	17
3.2 Rozdělení hybridních motorů podle uspořádání .....	18
3.2.1 Sériové uspořádání .....	18
3.2.2 Paralelní uspořádání .....	19
3.2.3 Kombinované uspořádání .....	19
3.3 Rozdělení podle výkonu elektromotoru .....	20
3.3.1 Mikro-hybrid .....	20
3.3.2 Mild-hybrid .....	21
3.3.3 Full hybrid .....	21
3.3.4 Plug-in hybrid .....	22
3.4 Atkynův cyklus .....	23
4 Regenerativní brzdění .....	25
5 Nové technologie hybridních vozidel .....	28
5.1 Bezdrátové dobíjení elektromobilů .....	28
5.2 Inteligentní tlumiče vyrábějící elektrickou energii .....	29
5.3 Nové palivové čerpadlo .....	30
Závěr .....	31
Použité informační zdroje .....	32
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	35

## ÚVOD

V této práci je zpracován přehled jednotlivých druhů elektromobilů a hybridních vozů, a to zejména jejich vlastnosti a nové trendy ve vývoji. Dané téma jsem si zvolil kvůli jeho aktuálnosti a neustálému vývoji nových technologií v oblasti hybridních vozidel. Téma je aktuální zejména z důvodu snahy snížit spotřebu vozidel a množství škodlivých látek, které při spalování unikají do atmosféry. Dalším problémem jsou ubývající zásoby fosilních paliv, a tím i jejich zdražování.

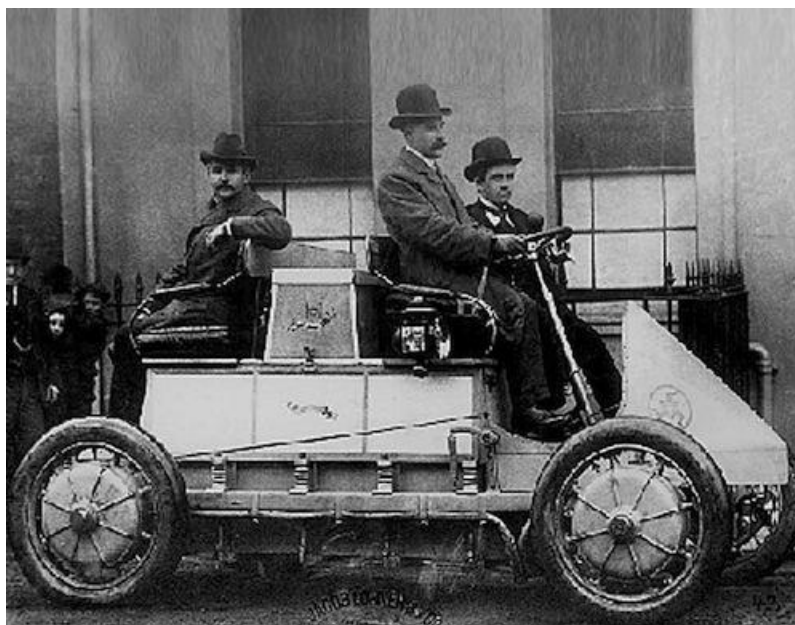
Hlavním cílem je přehled technických řešení jednotlivých hybridů a rozbor jejich hlavních výhod a nevýhod oproti běžným vozidlům.

Do budoucna se počítá s dalším zpřísněním emisních norem, které budou jen stěží schopny dnešní vozidla se spalovacím motorem dosáhnout. Je tedy zapotřebí najít vhodný systém spalování, který bude šetrný k životnímu prostředí a bude mít pokud možno nevyčerpatelný zdroj zásob.

## 1 HISTORIE HYBRIDNÍCH VOZIDEL

Hybridní vozy byly vynalezeny v roce 1834, to znamená, že asi o 60 let dříve, než benzínem poháněné vozy, které byly vynalezeny v roce 1895. V roce 1900 bylo ve Spojených státech 4200 prodaných automobilů, z nichž 40% byly auta na elektrický pohon.

V roce 1898 postavil v Německu Dr. Ferdinand Porsche pravděpodobně jako první na světě hybridní vůz, kde generátor poskytoval sílu elektromotorům umístěných v náboji kol.



*Obr. 1 První hybridní vůz[1]*

Další hybridní vozidlo, ze strany společnosti Krieger v roce 1903 používalo benzínový motor doplněný elektrickým motorem, který používá elektřinu z akumulátoru.

Také v roce 1900 belgická automobilka Pieper představila hybridní vůz s názvem "Voiturette", ve kterém byl malý zážehový motor spojen s elektromotorem umístěným pod sedadlem. V roce 1905 americký inženýr H. Piper podal patent na benzín-elektrický hybridní vůz. Jeho myšlenkou bylo použít elektrický motor, umožňující vozidlu dosáhnout rychlosti kolem 25 mph. V roce 1920 bylo ve Spojených státech velké množství elektrických automobilových firem, z nichž dominující byly Baker z Clevelandu a Woods v Chicagu. Obě automobilky nabízejí hybridní elektrické automobily. Nicméně, hybridní auta byla dražší než automobily s benzínovým motorem, tudíž se prodávali méně. Mezi hlavní důvody, proč se hybridní vozy prodávali méně jako benzínové byla vysoká cena, menší výkon, dlouhá doba dobíjení a málo dobíjecích míst. To platilo až do arabského ropného embarga v roce 1973, kdy rostoucí cena benzínu odstartovala nový zájem o elektromobily. Americký kongres představil v roce 1976 zákon o vývoji, výzkumu a demonstraci elektrických a hybridních vozidel za účelem snížení závislosti na ropě a znečištění ovzduší.

V roce 1993 americké ministerstvo energetiky nastavilo program pro příští generace vozidel na podporu rozvoje hybridních vozidel. Výzkumný program mezi americkou vládou a hlavními automobilními podniky byl zaměřený zejména na posílení účinnosti vozidel.

V rámci tohoto programu tři americké automobilky prokázaly proveditelnost různých nových automobilových technologií, včetně hybridních vozidel, které mohou dosáhnout 70 MPG.

Světová automobilová historie se obrátila na novou stránku v roce 1997, kdy první moderní hybridní auto na elektrický pohon, Toyota Prius, bylo prodáváno v Japonsku.



*Obr. 2 Hybridní vůz Toyota Prius[2]*

Toto auto spolu s Hondou Insight a Civic byly k dispozici ve Spojených státech od roku 2000. Tato hybridní vozidla rozpoutala radikální změnu v typech automobilů nabízených veřejnosti. V dnešní době existuje více než 40 modelů hybridních vozidel a jsou nabízeny z více než 10-ti velkých automobilek.[21]

## 2 ELEKTRICKÁ VOZIDLA

Elektrická vozidla (EV) používají elektrický motor pro trakci, chemické baterie, palivové články, ultrakapacitátory, setrvačníky pro jejich odpovídající zdroje energie. Elektromobil má mnoho výhod oproti konvenčnímu spalovacímu motoru vozidla (ICEV), jako je například absence emise, vysoká účinnost, nezávislost na ropě, klidný a plynulý provoz.

### 2.1 JAK ELEKTRICKÁ VOZIDLA PRACUJÍ?

Hlavním zdrojem elektrických vozidel je baterie, která musí být nabíjena z elektrické sítě, což v praxi znamená velký odběr pro váš domov nebo kancelář. Mnoho elektrických vozidel také používá regenerační brzdění, které generuje elektřinu, když vůz zpomaluje, zatáčí nebo třeba jen jede z kopce.

Elektrické pohonné systémy jsou v podstatě neznečišťující a mimořádně energeticky efektivní. Přestože jen asi 20 procent chemické energie z benzínu je přeměněno na užitečnou práci u spalovacího vozidla, asi 75 a více procent energie z baterie je přeměněno na užitečnou práci u elektrického vozidla. Klíčovou výhodou elektromotoru je jeho schopnost poskytovat sílu a točivý moment při téměř jakýchkoliv otáčkách motoru. V kontrastu spalovací motory produkují jejich maximální výkon a točivý moment v poměrně úzkém rozsahu otáček motoru, proto u elektrických vozidel požadujeme, aby motor mohl pracovat v jeho „klidném“ rozsahu, zatímco auto jede různými rychlostmi. Elektrické motory poskytují téměř maximální výkon i při velmi nízkých otáčkách za minutu, a to dává elektrickým vozidlům silnou akceleraci již od samotného startu.

V dnešní době je k dispozici několik nových typů automobilových baterií, včetně pokročilých olověných baterií, nikl-metal hydridových, lithium-polymerových, a lithium-iontových. Přesto, dokonce i nejlepší z těchto nových baterií může mít pouze malou frakci energie. Což ve skutečnosti znamená, že dojezdová vzdálenost je stále velkým problémem. To by mohlo být řešeno alespoň do určité míry rychle se dobíjející palubní baterií. Nicméně i ty nejlepší dnešní systémy nabíjení zaberou značné množství času, rozhodně déle, než natankování palivové nádrže vašeho vozu. Na druhou stranu jsou k dispozici relativně jednoduché domácí nabíjecí systémy. Ty mohou sloužit jako pohodlný způsob, jak naplnit baterie každou noc, aniž bychom museli jít k čerpací stanici.

### 2.2 BATERIE V ELEKTROMOBILECH

Baterie (akumulátor) je zařízení na opakované uchování elektrické energie. Většina akumulátorů je založena na elektrochemickém principu. Proud procházející v elektrochemickém akumulátoru vyvolá vratné chemické změny, které se projeví rozdílným elektrochemickým potenciálem na elektrodách. Množství energie v bateriích je měřeno v ampérhodinách.

Baterie jsou základní stavební částí elektromobilů. Svojí cenou a parametry jsou jedinou limitující součástí elektromobilů, bránící jejich masovému nasazení na našich silnicích. Různá zejména přenosná zařízení kladou na akumulátory stále větší požadavky, proto se od roku 1990 do jejich dalšího „raketového“ vývoje investují vysoké prostředky.

Kromě kapacity akumulátorů se sledují také další parametry jako je hmotnost, cena, rozměry, rychlost dobíjení, paměťový efekt, počet možných hlubkových dobíjecích cyklů, samovybíjení a mnohé další. Tyto parametry budou jedním z klíčových ukazatelů, které ovlivní budoucnost elektromobilů ve světě.



Obr. 3 Nádrž elektromobilu[3]

Měrná kapacita (množství energie na kilogram) celkem jasně ukazuje, proč je tak těžké konkurovat benzínu. Benzín obsahuje 11 kWh/kg, zatímco např. olověný akumulátor obsahuje pouze cca 40 Wh/kg. Litr benzínu obsahuje tedy 275krát více energie oproti olověnému akumulátoru.

U elektromobilů budeme hovořit o tzv. trakčních bateriích. Oproti klasickým startovacím bateriím jsou trakční baterie navrženy pro hluboké vybití a mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybíjení a nabíjení. Používají se tedy na místech, kde se baterie pravidelně vybíjejí a nabíjejí. Tyto baterie mají tlusté elektrody, které nejsou schopny dodat tak velký proud, jako startovací baterie, ale vydrží časté a hluboké vybíjení. Existuje několik typů těchto akumulátorů (olověné, NiCd, NiMH, Li-on aj.) a každý má své výhody i nevýhody.

Akumulátory i přes obrovský posun v posledních letech jsou stále největším omezením elektromobilů. Jejich velká hmotnost, objem nebo cena limitují parametry elektromobilů, díky kterým pak nejsou pro uživatele tak zajímavé. Pro vzdálenosti dojezdu do 200 km jsou však jejich vlastnosti v dnešní době již plně dostačující. Ceny akumulátorů stále klesají a s nimi by měla klesnout i cena elektromobilů.[26]

## 2.3 BEZPEČNOST ELEKTROMOBILŮ

Bezpečnosti elektromobilů se věnují i mezinárodní normy, zejména ISO 6469. Tato norma rozdělená do tří částí se zabývá:

- Skladování baterií na palubě vozidla
- Funkčnost zařízení a ochrana proti selhání

- Ochrana osob před elektrickým nebezpečím

Obecný názor je ten, že při havárii jsou elektromobily méně nebezpečné než automobily s benzínovým nebo diesellovým motorem poháněné hořlavým palivem.

Jednou z nejjednodušších cest jak zvýšit dojezd elektromobilu je redukce váhy vozidla. Když se společnost General Motors rozhodla vytvořit novou platformu pro svůj „revoluční“ elektromobil GM EV1, bylo snížení váhy při zachování bezpečnosti jednou z jejich priorit. Společnost GM tehdy svůj elektromobil postavila z lehkých slitin hliníku, skla a plastů a podařilo se jí dostat na hodnotu spotřeby 10-11 kWh/100 km. Toho spol. GM docílila nejen snížením hmotnosti, ale i rekuperací a novým tvarem karoserie s nízkým odporem vzduchu.

Ovšem tato koncepce má také svá úskalí a tím hlavním je bezpečnost. Při havárii automobilu s hmotností 900 kg s automobilem vážícím 1400 kg budou škody o 50% větší na lehčím vozidle (uvažováno pokud obě vozidla jedou stejnou rychlostí). Kupříkladu je mnoho našich spoluobčanů, kteří po městě jezdí automobily typu SUV. Tyto osobní vozidla mají kromě pohonu 4x4, výkonu motoru 70 kW -150 kW, hmotnost cca 1900 kg, a to bez nákladu. Sřet s odlehčeného elektromobilu s takovýmto vozidlem by mohl mít pro posádku menšího vozidla tragické důsledky, to však platí i pro všechna lehčí vozidla, nejen pro elektromobily.[27]

## 2.4 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA PALIVO X ELEKTŘINU

Náklady na provoz a údržbu elektromobilů jsou oproti pořizovací ceně jedním z největších lákadel pro případné zájemce. Průměrný elektromobil spotřebuje na 100 km asi 12-15 kWh energie.

### Vstupní parametry pro výpočet ceny energie a paliva na 100 km

- účinnost dobíjení baterií – 80,5% (průměr mezi vysokou účinností lithiových (fosfátových) baterií s 95% účinností a nízkou NiMH s 66% účinností)
- cena elektřiny - noční tarif 1,92 Kč/kWh, denní tarif 4,5 Kč/kWh

Elektromobil – předpokládejme elektromobil se spotřebou 12 kWh/100 km (některé elektromobily mají spotřebu 10 kWh, jiné třeba 15 kWh). Jelikož je předpokládána účinnost dobíjení baterií 80,5%, budeme pro nabití potřebovat 14,9 kWh energie.

**Cena na 100 km-noční režim: 28,68 Kč.**

**Cena na 100 km-denní režim: 67,50 Kč.**

Náklady na palivo pro ujetí vzdálenosti 100 km jsou tedy 28,68 Kč, pokud dobíjíme v nočním tarifu, 67,5 Kč v denním tarifu. Náklady by klesly s použitím lithiových akumulátorů, kde je účinnost dobíjení vyšší. Naopak stouply u akumulátorů olověných, NiCd, nebo NiMH. V ceně by se ještě měl částečně zohlednit tarif/paušál za elektřinu. Předpokládá

se však, že téměř všechny domácnosti jsou připojené k elektrické síti a paušál platí, ať elektromobil v domácnosti mají nebo ne.

Klasický automobil- u klasického automobilu nastal problém jaký motor zvolit. Kromě rozhodování mezi typem motoru (dieselový, benzínový) je nutné zvolit výkon motoru, který přímo ovlivňuje spotřebu. Cena nafty a benzínu je 36 Kč/litr.

#### Vstupní parametry modelového automobilu

- zážehový (benzínový) motor-kombinovaná spotřeba 8 litrů/100 km
- vznětový (dieselový) motor-kombinovaná spotřeba 5 litrů/100 km

**Cena na 100 km-NAFTA: 180,00 Kč.**

**Cena na 100 km-BENZÍN: 288,00 Kč.**

Porovnáme-li náklady na provoz, zjistíme, že:

- u modelového automobilu na benzín vyjde cena pohonných hmot na 100 km při denním nabíjecím tarifu přibližně 4,27krát nákladněji, při nočním tarifu dokonce 10krát
- u modelového automobilu na naftu vyjde cena pohonných hmot na 100 km při denním tarifu přibližně 2,7krát nákladněji, při nočním dokonce 6,28krát[28]

### 3 HYBRIDNÍ VOZIDLA

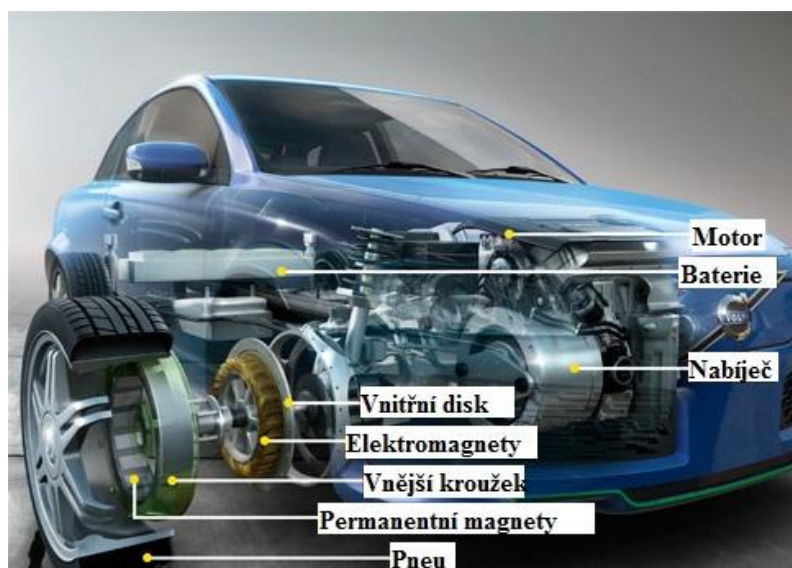
Hybridní automobily zaznamenávají v poslední době velký „boom“. Hybridní automobil kombinuje výhody elektromobilů a automobilů se spalovacími motory. Spalovací motor pak zajišťuje neomezený rádius (daný fungující sítí benzínových stanic), na který jsou dnes již motoristé zvyklí.

Hybridní automobil se skládá ze dvou motorů, a to z klasického spalovacího motoru a elektromotoru. Je mnoho typů kombinací těchto motorů, hybridní automobily navíc také využívají rekuperační brzdění, které jim pomáhá šetřit elektrickou energií.

#### 3.1 JAK FUNGUJE HYBRIDNÍ POHON?

Mezi hybridní pohony patří odzkoušený sériový hybridní pohon - kombinace spalovacího motoru s elektromotorem a akumulátorem. Tento sériový pohon je při jízdě na krátké vzdálenosti poháněn stejnosměrným točivým strojem. Stroj se napájí jako elektromotor elektrickou energií z akumulátoru.

V automobilu jsou dvě spojky, jedna spojuje elektromotor se spalovacím motorem a druhá elektromotor s převodovkou. Při jízdě na elektrickou energii je první spojka, která připojuje spalovací motor rozpojená. Při jízdě na delší vzdálenost např. z města do města, při potřebě větší akcelerace nebo při plném zatížení zajišťuje pohon spalovací motor. Pokud se vozidlo pohybuje silou spalovacího motoru, tak se výkon přenáší prostřednictvím první spojky a druhé spojky na převodovku. Stejnosměrný elektrický točivý stroj v této chvíli mění svoji funkci a pracuje jako generátor stejnosměrného proudu. Takto získaná elektrická energie je přivedena do akumulátoru. V okamžiku brzdění se rozpojí první spojka, tím je odpojen spalovací motor a generátor vytváří elektrickou energii pro dobíjení akumulátoru ze setrvačné energie vozidla.



Obr. 4 Schéma hybridního pohonu[4]

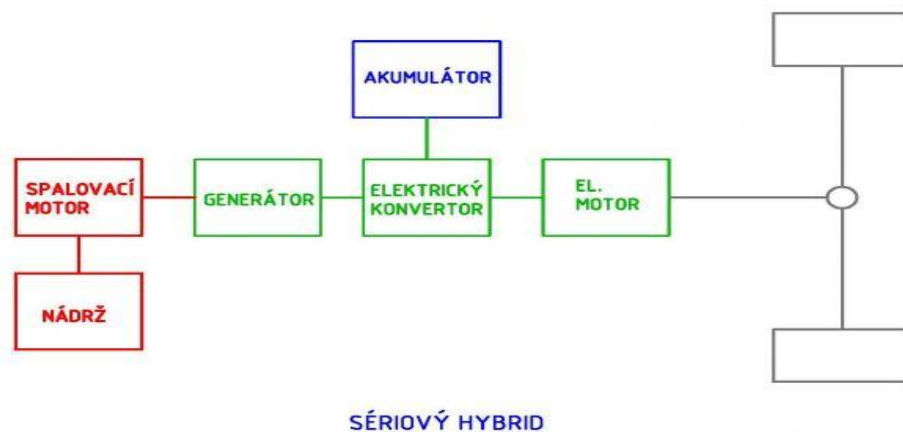
U hybridního pohonu lze využívat výhody jednotlivých pohonů. U elektropohonu nízkou hlučnost, žádné výfukové zplodiny a vysokou účinnost elektromotoru. U pohonu se spalovacím motorem velký dojezd vozidla, ve střední a vyšší oblasti otáček vysoký točivý

moment a možnost jízdy vysokou rychlostí. Mezi největší výhodu tohoto kombinovaného pohonu patří možnost použití jednotlivých pohonů v oblasti nejvyšší účinnosti, čímž se zajišťuje snížení spotřeby energie. Nevýhodou pohonu jsou vysoké pořizovací náklady, zvýšení hmotnosti vozidla o hmotnost akumulátoru a zmenšení úložného prostoru ve vozidle.

## 3.2 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH MOTORŮ PODLE USPOŘÁDÁNÍ

### 3.2.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

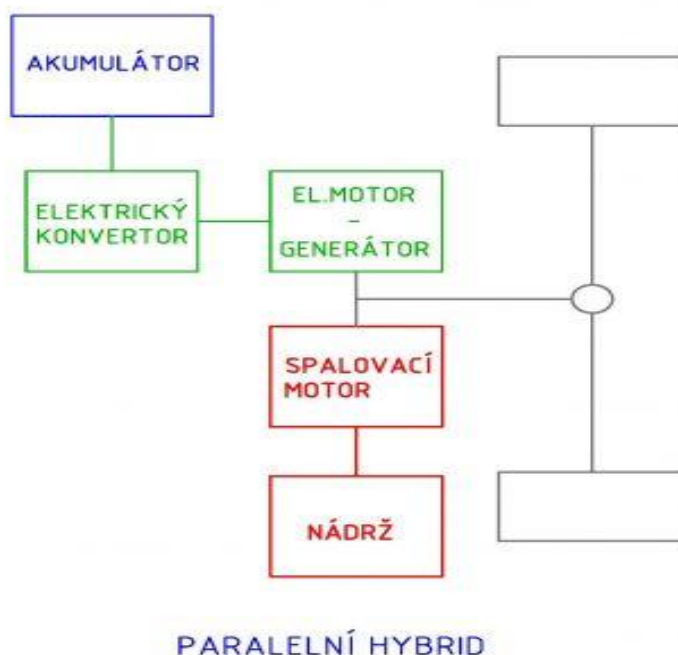
V tomto uspořádání je spalovací motor zapojen do série s elektromotorem. Spalovací motor pak slouží pouze jako zdroj energie potřebné k činnosti elektromotoru. Proto se dá říci, že se tento systém nejvíce podobá elektromobilu. Za jednu z největších předností lze považovat to, že spalovací motor může pracovat v oblasti nejvyšší účinnosti. Motor pak vykazuje nízké hodnoty spotřeby fosilního paliva, a s tím ruku v ruce nízké hodnoty vypouštěných emisí do ovzduší. S vozem vybaveným tímto druhem pohonu je nejvýhodnější pohybovat se nízkými rychlostmi, tedy převážně po městě. Při náruživější jízdě je potřeba hodně elektrické energie, kterou je v tuto chvíli nutno odebírat z elektromotoru i baterie najednou a efektivita tak klesá. Vyšší účinnosti tohoto systému lze dosáhnout použitím elektromotorů v kolech automobilu. Tím odpadá nutnost použití převodovky a rozvodovky a razantně se tím sníží ztráty v celém systému. V neposlední řadě se ušetří také prostor, který se tak dá využít ve prospěch cestujících nebo zavazadel. Velkou nevýhodou je ale značný nárůst neodpružených hmot, který má neblahý vliv na ovladatelnost vozu a vůbec na životnost podvozku.[4]



Obr. 5 Schéma sériového uspořádání[4]

### 3.2.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

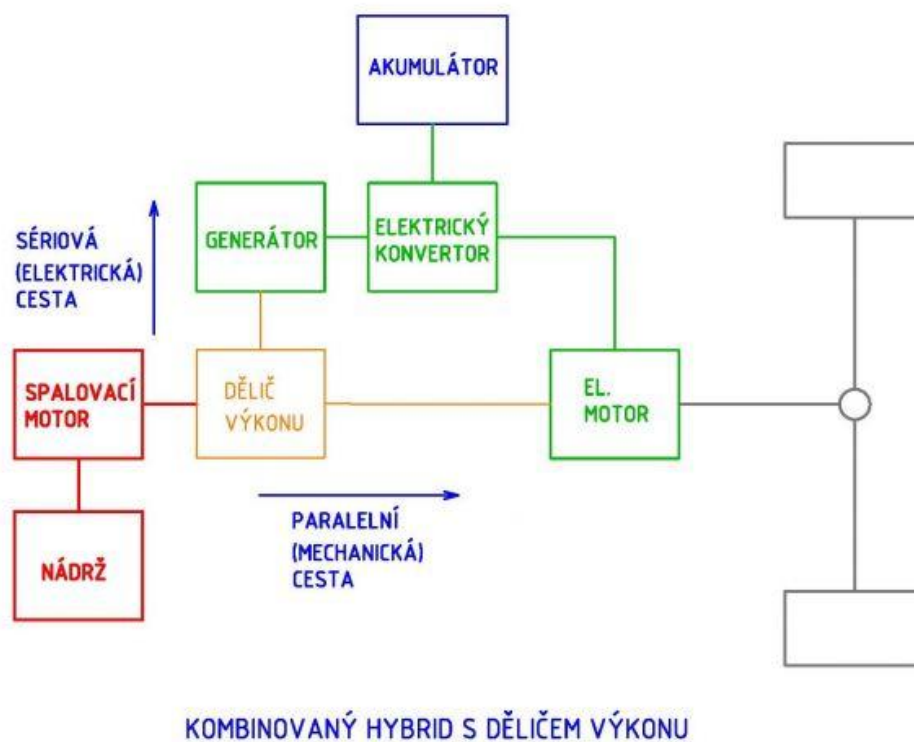
V tomto případě hraje hlavní roli spalovací motor a druhé housle elektromotor. Elektromotor může pracovat jako motor – odevzdává energii, nebo jako generátor – produkuje energii. V prvním případě pouze vypomáhá spalovacímu motoru, a to v situacích, kdy je zapotřebí velkého výkonu, tedy například při rozjezdech nebo při akceleraci. Svou činností tedy elektromotor zvyšuje výkonnost celého pohonného ústrojí vozu. V druhém případě, při přebytku kinetické energie kdy vozidlo jede z kopce, pracuje elektromotor jako generátor. Elektřina je posléze ukládána do baterií. I když nemá elektromotor dostatek síly na rozpohybování auta, je tento systém až o 30% účinnější, než je tomu v případě sériového uspořádání.[4]



Obr. 6 Schéma paralelního uspořádání[4]

### 3.2.3 KOMBINOVANÉ USPOŘÁDÁNÍ

U kombinovaného uspořádání slouží pro pomalou klidnou jízdu elektromotor, jenž získává potřebnou energii z baterií. V této situaci je spalovací motor vypnutý. V případě jízdy vyšší rychlostí (mimo město, dálnice) nebo nedostatečného nabití akumulátorů, spalovací motor naskočí a stane se tak hlavním zdrojem kinetiky vozidla. K činnosti obou motorů najednou dochází při nutnosti maximálního výkonu například při předjíždění. Opět při nadbytku pohybové energie (jízda z kopce, brzdění) elektromotor pracuje jako generátor a dobíjí tak baterie. Spalovací motor je v tuto chvíli vypnutý.[4]



Obr. 7 Schéma kombinovaného uspořádání[4]

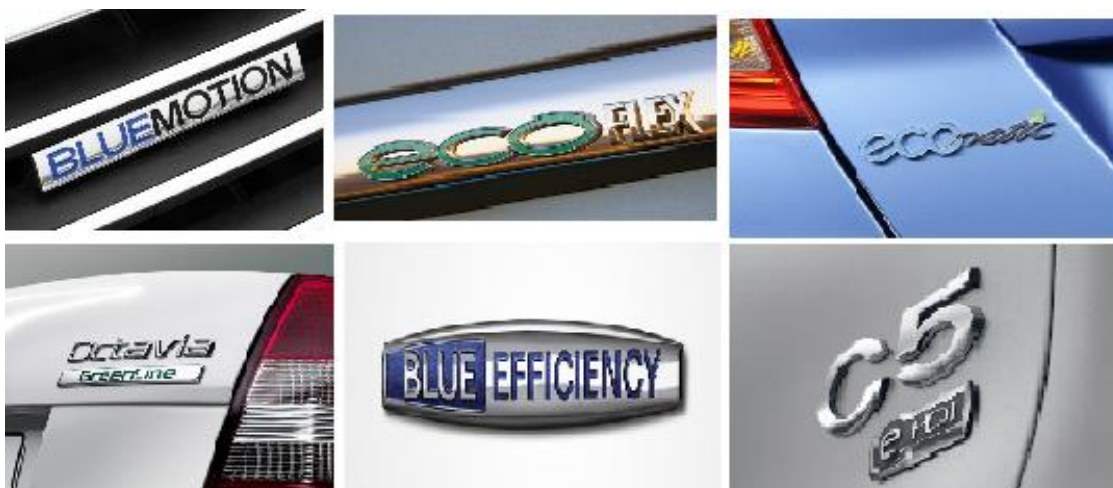
### 3.3 ROZDĚLENÍ PODLE VÝKONU ELEKTROMOTORU

#### 3.3.1 MIKRO-HYBRID

Tyto „nejméně zelené“ vozy mají upravenou aerodynamiku. Nástavce prahů, modifikované nárazníky, spoilery, uzavřené masky chladiče nebo zakrytovaná spodní část přispívají k lepšímu obtékání vzduchu kolem vozu a tím snižují ztráty vznikající jeho prouděním. K dalšímu snížení odporů přispívá použití pneumatik se sníženým valivým odporem nebo zmenšení světlé výšky vozu. Nežřídká kdy mají taková auta upravená data v řídicí jednotce motoru, která pak upřednostňuje hospodárný chod a ve většině případů snižuje také volnoběžné otáčky. „Dlouhých kvaltů“ se docílí změnou převodového poměru a na přístrojové desce pomáhá řídicí ukazatel doporučující zařazení vhodné rychlosti.

Dále jsou tyto vozy vybaveny systémem START&STOP. Zastaví-li řidič a vyřadí rychlost, automaticky se vypne motor. Jeho opětovné nastartování zajistí sešlápnutí pedálu spojky. V provozu lze s takovým vozem ušetřit maximálně kolem 10 % paliva.

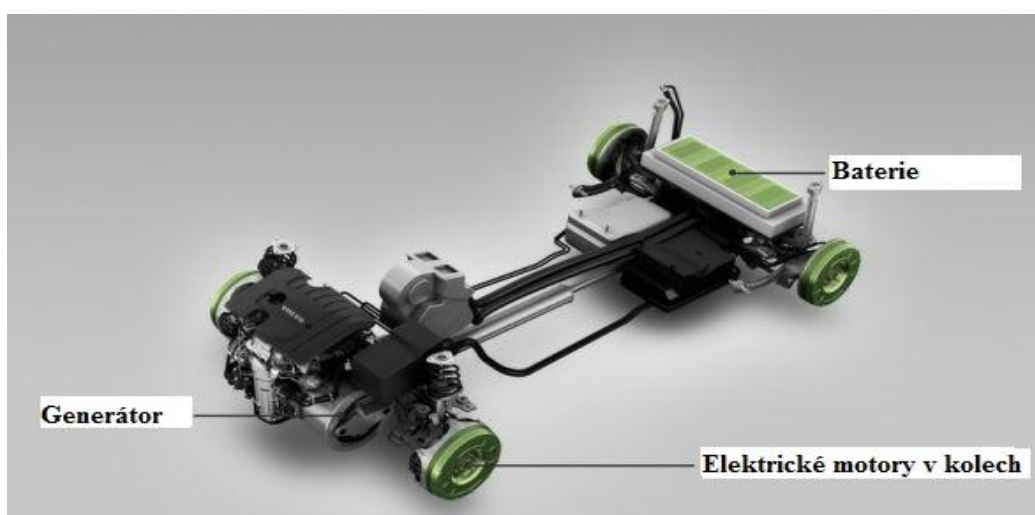
Každá ze značek, která mikro-hybridy nabízí, má svůj vlastní přístup. Obecně ale existují prvky, které jsou pro všechny mikro-hybridy víceméně totožné. Modely označované BLUEMOTION (Volkswagen), ECOFLEX (Opel), E-HDI (Citroën, Peugeot), BLUE EFFICIENCY (Mercedes-Benz), nebo například GREENLINE (Škoda Auto) se dají ve většině případů poznat na první pohled.[5]



Obr. 8 Značení mikro-hybridů jednotlivých automobilek[5]

### 3.3.2 MILD-HYBRID

Pojmem mild-hybrid označujeme vozy, jež mají namontován spouštěcí generátor mezi spalovací motor a převodovku. Generátor pomáhá spalovacímu motoru při rozjezdech nebo při náhlé potřebě vyššího výkonu například při předjíždění. Zároveň dokáže při brzdění kinetickou energii přeměňovat na energii elektrickou a dobít tak baterie. Tomuto procesu se říká rekuperace. Výkon tohoto generátoru se pohybuje do 25 kW. Mild-hybrid dokáže ušetřit až 15% paliva. Kvůli tomu, že elektromotor zpravidla nedosahuje dostatečně vysokého výkonu, nemůže sloužit jako primární pohon automobilu. Elektromotor je stále „pouhá“ výpomoc pro spalovací motor. Typickými představiteli jsou například Honda Insight, CR-Z nebo vozy značky Mercedes-Benz ve verzích BlueEFFICIENCY.[29]

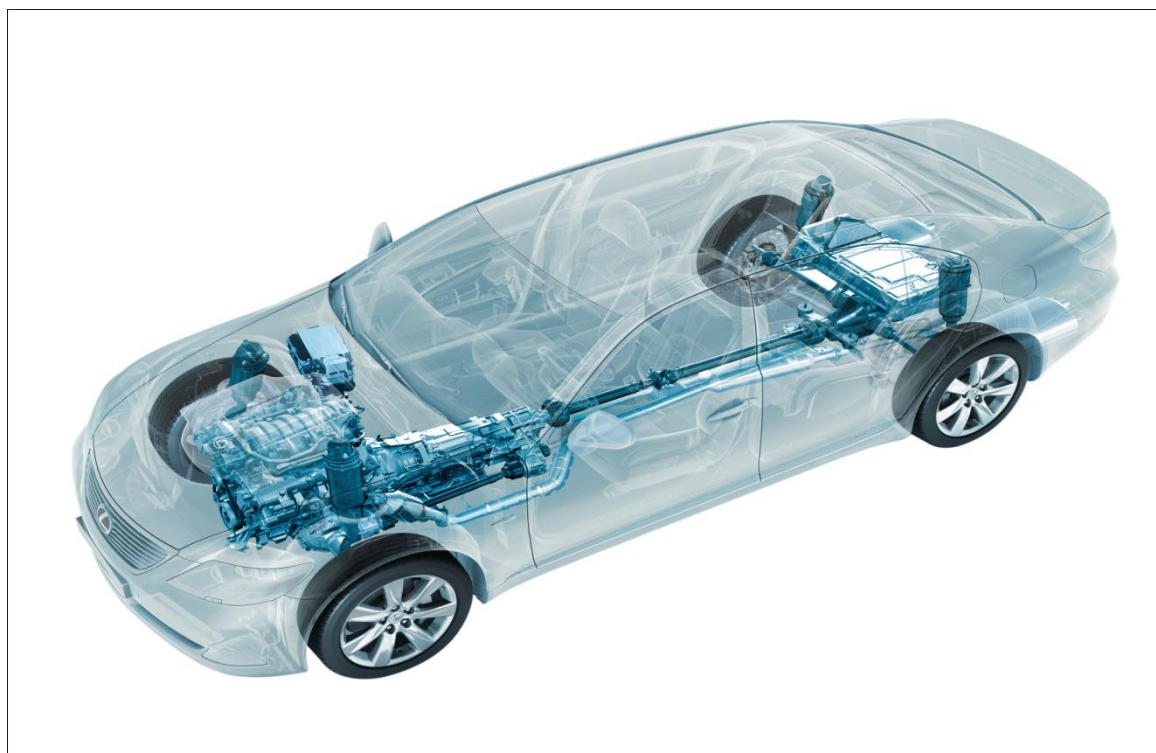


Obr. 9 Mild-hybrid[4]

### 3.3.3 FULL HYBRID

Vozy, u kterých už nemá spalovací motor výsadní postavení. Jsou schopny jet pouze na elektřinu, ale jen omezenou rychlostí a jen několik kilometrů. U těchto vozů se dá hovořit o 20% úspoře paliva. Výkon generátoru může dosahovat až 75 kW. U Full hybridů si může

řidič sám volit, na jaký druh pohonu chce právě cestovat. Tento druh je typický pro značku Lexus.



*Obr. 10 Full Hybrid[6]*

### 3.3.4 PLUG-IN HYBRID

Plug-in hybrid neboli "hybrid do zásuvky", případně PHEV. Označují se tak hybridní auta, jejichž baterie mohou být dobity tak, že je připojíte k elektrickému zdroji. Jde tedy o mezistupeň mezi klasickými hybridy a elektromobily. Jedná se o Full hybridy, které mohou být poháněny jak čistě baterií, tak čistě benzinovým motorem, případně kombinací obojího.

V současné době je možné v České republice zakoupit tři typy Plug-in hybridů a to Opel Ampera, Fisker Karma a Toyota Prius plug-in hybrid.[6]

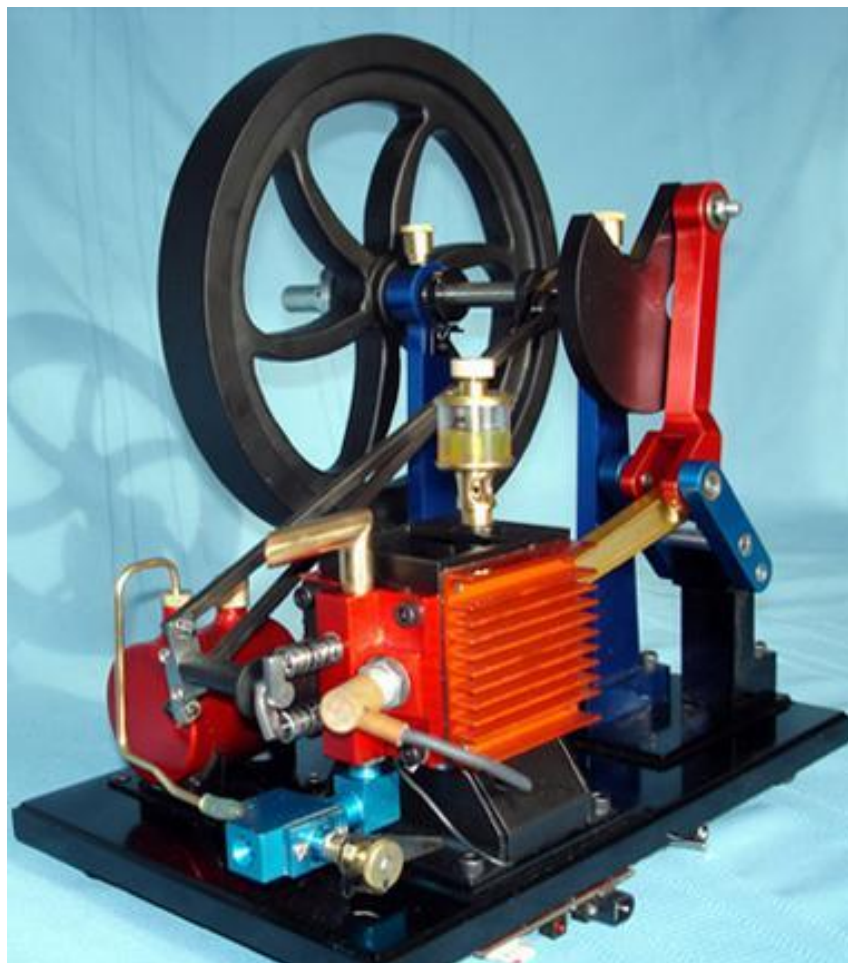


*Obrázek 11 a)Opel Ampera b)Fisker Karma c)Toyota Prius[7]*

### 3.4 ATKINSŮV CYKLUS

Motor s Atkinsonovým cyklem, neboli motor s prodlouženou expanzí patří mezi motory s vnitřním spalováním. Navrhl ho James Atkinson v roce 1882. Atkinsonův cyklus je navržen tak, aby poskytl vyšší účinnost motoru.

Motor s Atkinsonovým cyklem byl zkonstruován tak, že nasávání, komprese, spalování, expanze a výfuk respektují cyklus čtyřdobého motoru, avšak speciálním klikovým mechanismem s ojnicí připojenou na bok klikového hřídele se dosáhne takový převod, že všechny takty nastanou během jednoho otočení klikového hřídele.



Obrázek 12 Motor Atkinsova cyklu[32]

Moderní motor s Atkinsonovým cyklem je čtyřtaktní motor, ve kterém sací ventil zůstává otevřený déle než obvykle. To umožní zpětný tok náplně do sacího potrubí. Proto se komprese nezačíná v dolní úvrati, ale až po uzavření sacího ventilu následkem čehož se snižuje skutečný kompresní poměr a relativně k němu pak zůstává expanzní poměr větší.

#### ÚČINNOST CYKLU

Uvedená konstrukce, kdy expanzní poměr je větší než kompresní poměr, vede k větší účinnosti než u motorů s klasickým cyklem, kde je kompresní a expanzní poměr stejný. Při stejném přivedeném teple se získá více práce, protože tlak a teplota výfukových

plynů na konci expanzního zdvihu je nižší. Motor s Atkinsonovým cyklem je účinnější než srovnatelný motor s Ottovým cyklem. Je však rozměrnější a těžší.

### **VYUŽITÍ**

V současnosti se motory s Atkinsonovým cyklem využívají jen zřídka. Používají je například motory automobilů Toyota Prius a Ford Escape hybrid electric. Efektivnějším způsobem zvýšení účinnosti spalovacích motorů je dnes přeplňování, nejčastěji realizované turbodmychadlem. Na stejném principu je založen i tzv. motor s Millerovým cyklem. Toto označení se používá, pokud je motor přeplňovaný.[31]

## 4 REGENERATIVNÍ BRZDĚNÍ

Regenerativní brzdění umožňuje přeměnu mařené kinetické energie na takovou formu energie, kterou lze uchovat a později znovu využít. Nejčastěji bývá kinetická energie automobilu přeměňována na elektrickou a uchovávána např. v bateriích.

Princip brzdění u klasických automobilů spočívá v maření kinetické energie vozidla a její přeměně na tepelnou energii prostřednictvím třecích brzd. K tomuto účelu jsou obvykle využívány kotoučové či bubnové brzdy, v poslední době se experimentuje také s využitím klínové brzdy. Nicméně všechny tyto „klasické“ brzdy přeměňují kinetickou energii na tepelnou, bez možnosti jejího dalšího využití. Dokonce je nutné tuto tepelnou energii z brzd odvádět čili brzdy chladit.

Z dnešního pohledu je takové počínání neekonomické a neekologické, proto výrobci automobilů přicházejí s více či méně sofistikovanými systémy pro rekuperaci brzděné energie. Nejčastěji se pohybová energie vozidla uchovává ve formě elektrické energie prostřednictvím baterií a kondenzátorů nebo jako kinetická energie prostřednictvím setrvačníků – systémy KERS.

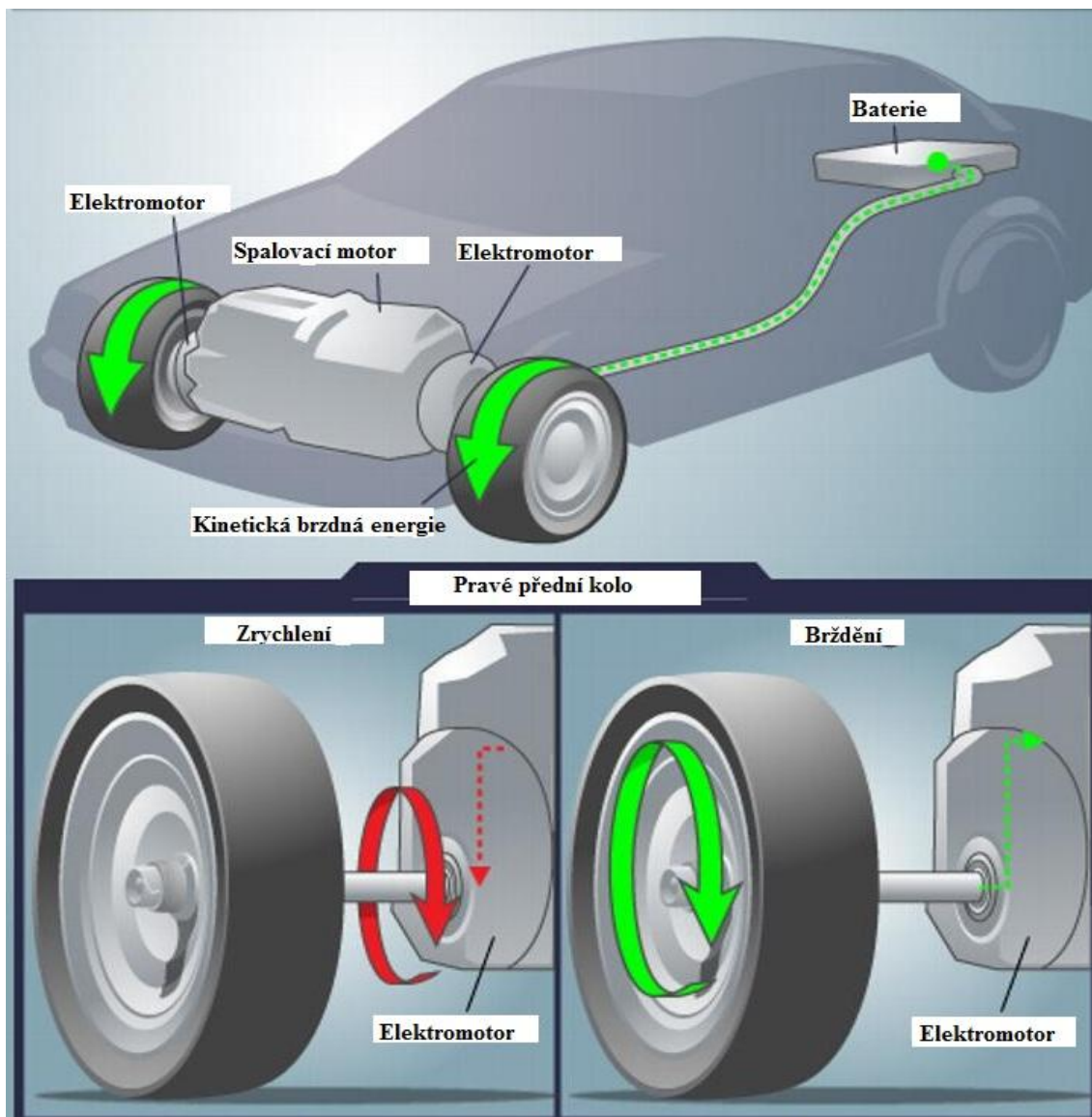
### PŘÍKLAD FUNKCE REGENERATIVNÍHO BRZDĚNÍ

Při regenerativním brzdění přeměňuje vozidlo svoji pohybovou energii na později využitelnou elektrickou energii. Ta může být rovnou spotřebována na provoz vozidla nebo může být ukládána do akumulátorů. Princip je jednoduchý: Při deceleraci se posílí funkce alternátoru, který mechanickou energii přeměňuje na elektrickou. Při deceleraci alternátor jednoduše odebírá více mechanické energie, čili brzdí, a tím vytváří přebytek napětí, který je dále využit nebo uchován.

Při akceleraci nebo ustálené jízdě je tomu naopak, alternátor v tomto případě může pracovat s nižší zátěží. Krátkodobě může alternátor dokonce vyrábět méně elektrické energie než je pro provoz automobilu zapotřebí. V tomto případě se energie odebírá z akumulátoru, tím se ulehčí práce spalovacímu motoru a uspoří se palivo. Část energie se do akumulátoru opět získá při brzdění.[30]

Výše popsaný systém je asi nejjednodušší bez větších nároků na techniku. Existují ještě další sofistikovanější možnosti a kombinace jako např.:

- Využití kondenzátorů, které lépe uchovávají elektrický náboj
- Využití alternátoru jako elektrického motoru, který pak podporuje spalovací motor při akceleraci nebo podporuje systém STOP/START
- Samostatnou kapitolou jsou pak hybridní automobily vybavené elektromotory



Obr. 13 Regenerativní brzdění-princip získávání energie[8]

## SYSTÉM KERS

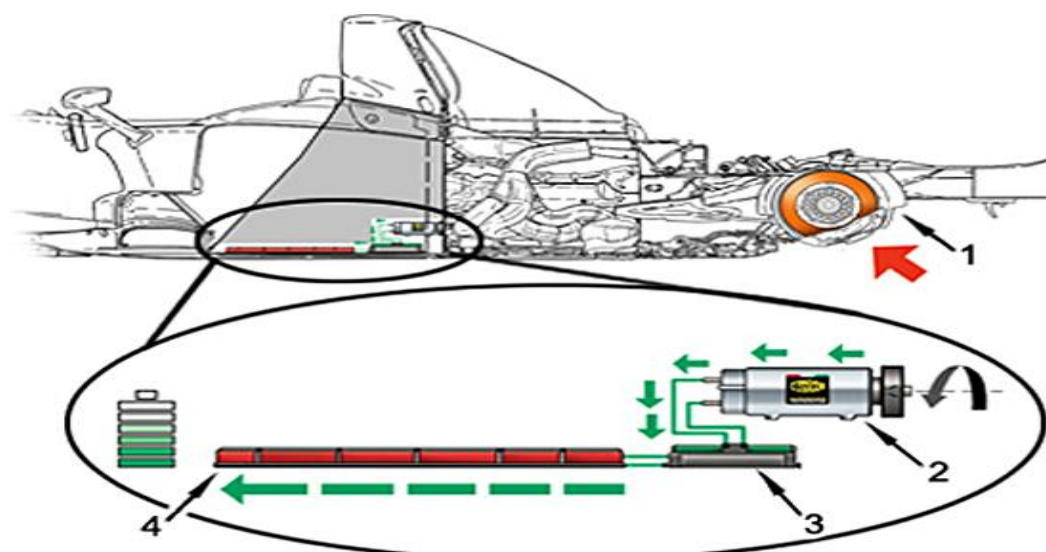
KERS je zkratka označující systém pro rekuperaci kinetické energie. Tato technologie umožňuje zachytit a později využít kinetickou energii, která by jinak nebyla využita, např. při brzdění. KERS je však možné využít pro krátkodobé zvýšení celkového výkonu vozidla, např. při závodech Formule 1.

KERS (Kinetic Energy Recovery System) umožňuje využití kinetické energie, která může být akumulována a později opět využita. Tato energie může být akumulována buď ve formě elektrické (baterie), nebo kinetické (setrvačnické) energie. Systém KERS je v poslední době nejvíce zmiňován v souvislosti s Formulí 1. KERS je koncipován spíše ke krátkodobému uchování energie a následnému využití při krátkodobém zvýšení celkového výkonu vozidla. Toho je možné využít při závodech třeba při předjíždění.

Odbrzděná energie ze zadních kol je zachycena alternátorem/motorem a uložena do baterií. Jelikož je KERS poměrně těžký jsou baterie umístěné co nejbližší k těžišti ve spodní části palivové nádrže.

Ve fázi, kdy chce řidič využít nakumulovanou energii, zmáčkne tlačítko na volantu a elektrický proud teče opačným směrem, tedy z baterií. Alternátor/motor začne dodávat souvislý tok výkonu. Tato výkonová injekce má hodnotu kolem 60 kW a může být použita maximálně po dobu 6,6 sekund v každém kole.

Méně používaným způsobem jak kinetickou energii uchovat je mechanická varianta za využití setrvačníků. Při tomto mechanickém způsobu se setrvačník otáčí rychlostí až 50.000 ot/min.[9]

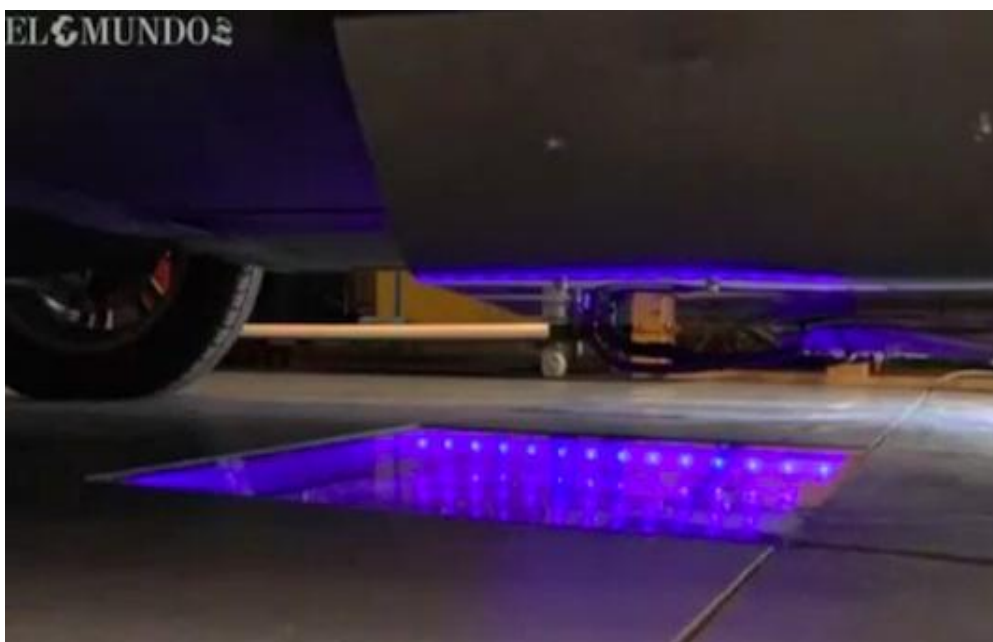


Obr. 14 Systém KERS[9]

## 5 NOVÉ TECHNOLOGIE HYBRIDNÍCH VOZIDEL

### 5.1 BEZDRÁTOVÉ DOBÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ

Vědci z univerzity Britské Kolumbie (UBC) vymysleli bezpečnou a efektivní technologii bezdrátového dobíjení elektromobilů. Nová technologie využívá k nabíjení od sebe vzdálená magnetická zařízení a je v současné době úspěšně testována na čtyřech nabíjecích zařízeních umístěných v areálu veřejné kanadské univerzity.



*Obr. 15 Bezdrátové dobíjení elektromobilů[10]*

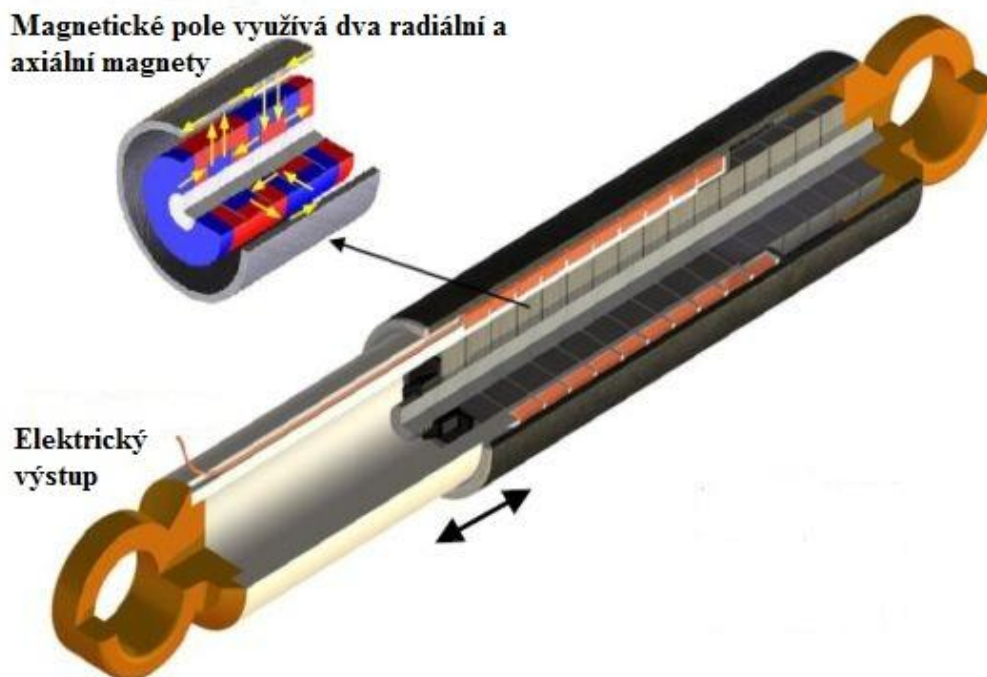
Bezdrátové dobíjení je velmi vhodným technickým řešením pro všechna elektrická zařízení od mobilních telefonů až po elektromobily. Ovšem velkým problémem bezdrátového dobíjení elektromobilů je potřebný vysoký výkon, vysokofrekvenční elektromagnetické pole a jeho případný negativní vliv na zdraví člověka.

Nová technologie využívá dvě od sebe vzdálená magnetická zařízení, z nichž to první je umístěno na vozovce parkoviště a je připojeno k elektrické rozvodné síti, zatímco druhé je umístěno na spodní straně elektromobilu. Vlivem otáčení venkovního hlavního magnetu dochází k rotaci magnetu vnitřního a tím i ke generování elektrické energie.

Běžné využívání elektromobilu obsahuje každodenní povinnost nabíjet baterie nepohodlným používáním elektrických kabelů. Ovšem jediné co musíte udělat při bezdrátovém dobíjení je zaparkovat elektrický vůz na vyhrazeném místě a nabíjení už proběhne zcela automaticky. Nadějnou budoucnost nové technologie potvrzují i výsledky testů, které prokazují více než 90% účinnost nabíjení. Navíc odborníci z UBC vidí její široké využití nejen v oblasti elektromobilové dopravy, ale také ve zdravotnictví například u pacientů s implantovanými kardiostimulátory.[10]

## 5.2 INTELIGENTNÍ TLUMIČE VYRÁBĚJÍCÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ

Auto dokáže využít jen malou část energie z paliva. Velká část je ztracena v důsledku brzdění nebo ve formě tepla či vibrací. Právě z vibrací bychom mohli část energie získat zpět, a to díky nové generaci tlumičů, které využívají nárazy a chvění auta k výrobě elektrické energie. Zavedení těchto „elektrických tlumičů“ sníží spotřebu paliva u hybridních automobilů až o 8 %. Samozřejmostí je také využití tlumičů v elektromobilech.



Obr. 16 Řez inteligentním tlumičem[11]

Zařízení se skládá z magnetického válce, na který se nasazuje cívka. Díky nárazům a vibracím se magnetický válec pohybuje uvnitř cívky, a ta vyrábí elektrickou energii.

Při instalaci na středně velký automobil dokáže tlumič, při rychlosti auta 100 km/h, poskytnout elektrický výkon mezi 100-400 Watty. U cest s horším povrchem může výkon dosáhnout až 1600 Wattů. Ale to není vše. Tlumiče mohou být umístěny také v terénních vozech, nákladních automobilech nebo dokonce vlacích. V tomto případě by tlumiče poskytovaly elektrický výkon v rozmezí 1 -10 kW.

Vyrobená elektrická energie může nabíjet nejen baterie elektromobilů, ale může také snížit spotřebu paliva automobilů se spalovacím motorem. U konvenčních automobilů vyrobená elektřina z tlumičů snižuje zatížení alternátoru a tak i zatížení spalovacího motoru. Díky tomu může dojít k poklesu spotřeby paliva o 1-4 % u vozidel se spalovacím motorem a až o 8 % u hybridních automobilů.

Tlumiče mohou být umístěny do automobilů bez jakýchkoliv konstrukčních zásahů. Podle tvůrců se náklady na instalaci vrátí během 3-4 let u osobních automobilů a během 1-2 let u nákladních vozidel.[11]

### 5.3 NOVÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

Společnost Continental brzy začne se sériovou výrobou nového palivového čerpadla regulovaného integrovanou elektronikou. To slibuje výrobcům automobilů snížení spotřeby paliva a emisí CO<sub>2</sub>. Do aut by se nové čerpadlo mělo začít instalovat od roku 2013.



Obr. 17 Palivové čerpadlo[12]

Nová generace čerpadel je vybavena elektrickou řídicí jednotkou umístěnou uvnitř modulu. Díky tomuto řízení čerpadlo dodává do palivového okruhu pouze tolik paliva kolik je potřeba. Tím je schopno ušetřit část elektrické energie.

Výrobce uvádí, že toto inteligentní řízení uspoří mezi 60 a 70% elektrické energie v porovnání s tradičními systémy řízení dodávek paliva.

Tento produkt bude průkopníkem v oblasti elektronicky regulovaných čerpadel. Potenciální úspory elektrické energie ve výši dvou třetin ukazují, jak tento propracovaný palivový systém může přispět k celkovým úsporám.

V současnosti jsou elektronické řídicí systémy lokalizované mimo palivovou nádrž v separovaných modulech. Inovativní řešení spočívá v integraci elektroniky přímo do modulu, který je zabudován uvnitř palivové nádrže.

Toto řešení poskytuje jak ekonomické, tak i technické výhody. Integrace jednotky snižuje prostorové požadavky ve vozidle a také snižuje čas potřebný k montáži, neboť Continental bude dodávat čerpadlo a elektronickou jednotku již spárované do sebe.[12]

## ZÁVĚR

V oblasti automobilové dopravy došlo během několika let k výrazným změnám, a to především v oblasti hybridních vozů. Díky novým technologiím dochází nejen ke snižování spotřeby paliva, ale také ke snižování množství škodlivých látek vypuštěných do ovzduší. Docházející zásoby ropy a stále se zhoršující klimatické podmínky vedou k neustálému výzkumu a následnému vývoji nových alternativních a hybridních pohonů automobilů.

Hybridní automobily zaznamenávají v poslední době velký „boom“. Díky kombinaci elektromotorů a spalovacích motorů, které jsou součástí těchto vozidel, dochází ke snižování provozních nákladů a emisí. Hybridní automobily navíc také využívají rekuperační brzdění, které jim pomáhá šetřit elektrickou energii. Tyto vozidla se dnes těší velké oblibě a čím dál více se prosazují na automobilovém trhu po celém světě. Vlivem neustále se zvětšující konkurence jejich cena klesá a tím se stávají dostupnější i pro obyčejné lidi. Avšak i samotný přínos hybridních automobilů zastiňují otázky týkající se nákladů na vývoj, výrobu a jeho provoz.

Cílem bakalářské práce bylo rozebrat Atkinsonův cyklus a zaměřit se na technická řešení hybridů na trhu, a jejich následné zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých řešení. Dále byly rozebrány jednotlivé metody akumulace energie, které slouží k samotnému pohonu automobilů.

Při zjišťování potřebných informací k bakalářské práci byly využity primární zdroje čerpané z odborné literatury a internetu.

Atkinsonův cyklus neboli motor s prodlouženou expanzí je motor, který slouží k větší účinnosti motorů. Tato účinnost je dána tím, že všechny takty nastanou během jednoho otočení klikového hřídele, a proto jsou využívány u hybridních vozidel.

Bakalářská práce popisuje rozdělení hybridních vozidel do dvou hlavních kategorií, a to podle uspořádání a výkonu elektromotorů. Následně byly tyto kategorie rozděleny do podkategorií, jež byly obecně charakterizovány a uvedeny jejich výhody a nevýhody.

Nejlepší možnou variantou hybridních vozů podle jejich uspořádání je kombinované uspořádání, které je kombinací sériového a paralelního uspořádání. Díky propojení těchto dvou variant tak dochází k ideálnímu rozvržení účinnosti motoru dle aktuálního způsobu jízdy. Hybridní vozidla dle výkonu elektromotorů jsou rozdělena do čtyř druhů, a to na mikro-hybridy, mild-hybridy, full hybridy a plug-in hybridy. Nejúspěšnějším typem jsou full hybridy, které dovedou uspořit až 20% paliva, a to díky přednosti elektromotoru před spalovacím motorem.

Hybridní vozidla jsou stále ve vývoji a nelze předpokládat, že v krátkém časovém období zcela nahradí vozy poháněné jen spalovacími motory. Dobré zprávy pro budoucnost automobilové dopravy jsou však ty, že svět je plný velmi inteligentních a velmi oddaných lidí, kteří pilně hledají řešení současných problémů s vysokými cenami pohonných hmot, plýtvání našich fosilních paliv a jiných přírodních zdrojů, problémů kvality ovzduší a změny klimatu. Ovšem až v následujících několika letech se ukáže, jak moc pilní a oddaní tito lidé doopravdy byli.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 30.9.2009 [cit. 2013-01-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>>.
- [2] BREDEKAMP, Albé. *Myprius.co.za* [online]. 20.10.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.myprius.co.za/index.htm>>.
- [3] *Autorevue.cz* [online]. 21.2.2013 [cit. 2013-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.autorevue.cz/estonsky-primat-zeme-spousti-sit-stanic-pro-elektromobily>>.
- [4] *Hybridní automobily 2* [online]. 5.8.2008 [cit. 2013-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/#comment-4>>.
- [5] REJLEK, Jakub. *Mikrohybridy.cz* [online]. 6.1.2012 [cit. 2013-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.ifaster.tiscali.cz/serial-hybridni-pohony-dil-ii-mikrohybridy/>>.
- [6] REJLEK, Jakub. *Hybridní pohony* [online]. 6.12.2011 [cit. 2013-02-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.ifaster.tiscali.cz/serial-hybridni-pohony-dil-i/>>.
- [7] *Autorevue.cz* [online]. 14.5.2012 [cit. 2013-02-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.galerie.autorevue.cz/showgallery.php?si=&perpage=24&sort=2&cat=all>>.
- [8] LAMPTON, Christopher. *How regenerative braking works* [online]. 24.6.2010 [cit. 2013-03-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.galerie.autorevue.cz/showgallery.php?si=&perpage=24&sort=2&cat=all>>.
- [9] SAJDL, Jan. *KERS* [online]. 12.3.2012 [cit. 2013-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.autolexicon.net/articles/kers-kinetic-energy-recovery-system/>>.
- [10] HORČÍK, Jan. *Ve Španělsku zkouší bezdrátové dobíjení* [online]. 5.1.2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/ve-spanelsku-zkousi-bezdratove-rychlodobijeni>>.
- [11] GROHMANN, Jan. *Inteligentní tlumič vyrábějící elektrickou energii* [online]. 20.7.2011 [cit. 2013-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/inteligentni-tlumice-vyrabejici-elektrickou-energii>>.
- [12] HRADIL, Ivo. *Nové palivové čerpadlo od firmy Continental* [online]. 14.3.2011 [cit. 2013-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/nove-palivove-cerpadlo-od-firmy-continental>>.
- [13] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů* 1. vyd. Praha: BEN- technická literatura, 2004. 232 s. ISBN 80-7300-127-6
- [14] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc. 1. vyd., 2004. ISBN 80-239-1602-5

- [15] EHSANI, GAO, Sebastien GAY a EMADI. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Spojené Státy Americké: CRC Press, 2005. ISBN 0-8493-3154-4.
- [16] ŠTĚTINA, Josef. *Alternativní pohony motorových vozidel* [prezentace]. 2009 [cit. 2013-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/sat/SeminatAT2009-05.pdf>>.
- [17] MI, Ch., M. A. MASRUR and D. W. GAO. *Hybrid Electric Vehicles, Principles and Applications with Practical Perspectives*. UK: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2011. ISBN: 978-0-470-74773-5.
- [18] PISTOIA, Gianfranco. *Electric and Hybrid Vehicles, Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market*. Amsterdam: Elsevier B.V., 2010. ISBN: 978-0-444-53565-8.
- [19] HODKINSON, Ron and John FENTON. *Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design*. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN: 0 7506 5092 3.
- [20] FUHS, E. Allen. *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*. Boca Raton: CRC Press, 2009. ISBN: 978-1-4200-7534-2 (Softcover).
- [21] NERAD, R. Jack. *Hybrid and alternative fuel vehicles*. Indianapolis: Penguin Group, 2007. ISBN: 1-4362-9428-2.
- [22] *Jak funguje hybridní pohon?* [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.auto-motory.com/hybridni-pohon/>>.
- [23] *Hybridní pohon*. [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.autolexicon.net/articles/hybridni-pohon/>>.
- [24] *Hybridní auta dobíjejí svět*. [online]. [cit. 2013-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.automobilovyprumysl.cz/hybridni-auta-dobijeji-svet/>>.
- [25] *Hybridní pohony*. [online]. [cit. 2013-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.krivanek.xf.cz/hybrid.html>>.
- [26] *Baterie v elektromobilech*. [online]. [cit. 2013-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>>.
- [27] *Bezpečnost elektromobilů*. [online]. [cit. 2013-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektromobil.vseznamu.cz/bezpecnost-elektromobil>>.
- [28] *Náklady palivo x elektřina*. [online]. [cit. 2013-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektromobil.vseznamu.cz/ekonomicke-aspekty-ceni-elektromobil/naklady-benzin-vs-elektina>>.
- [29] *Mild-hybridy*. [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.ifaster.tiscali.cz/serial-hybridni-pohony-dil-iii-%E2%80%93-mild-hybridy/>>.

- [30] *Regenerativní brždění*. [online]. [cit. 2013-03-04]. Dostupný z WWW:  
< <http://cs.autolexicon.net/articles/regenerativni-brzdeni/>>.
- [31] *Motor s Atkinsonovým cyklem*. [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupný z WWW:  
< <http://cs.autolexicon.net/articles/regenerativni-brzdeni/>>.
- [32] BLOCK, Michael. *Unique engines: the Atkinson-cycle engine* [online]. 26.6.2009 [cit. 2013-05-17]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.examiner.com/article/unique-engines-the-atkinson-cycle-engine>>.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

EV	[-]	elektrická vozidla
GM	[-]	General Motors
ICEV	[-]	spalovací motor vozidla
PHEV	[-]	Plug-in hybridní elektrické vozidlo
UBC	[-]	University of British Columbia