

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Bakalářská práce**

**2009**

**Jan Suk**

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Využití energie vzniklé při zpomalování vozidla

Bakalářská práce

Autor: Jan Suk

Vedoucí práce: Ing. Jan Pokorný

2009

University of Pardubice

Jan Perner transport faculty

Energy utilization originated from vehicle deceleration

BACHELOR WORK

Author: Jan Suk  
Supervisor: Ing. Jan Pokorný

2009

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky  
Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan SUK**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Využití energie vzniklé při zpomalování vozidla**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Úvod 2. Způsoby docilování snížení energetické spotřeby automobilů 3. Systémy rekuperace energie 4. Elektrodynamické brzdění 5. Návrh systému rekuperace energie u osobních vozidel se spalovacím motorem 6. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno : Nakladatelství Vlk, 2004. 250 s. ISBN 80-239-1602-5 [2] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. Brno : Nakladatelství Vlk, 2004. 392 s. ISBN 80-238-0025-0 [3] PAVELKA, Vladek. REKUPERAČNÍ SYSTÉM SE SUPERKONDENZÁTOREM. [s.l.], 2003. 27 s. Dizertační práce. Dostupný z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4.RSSS.pdf>>

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jan Pokorný**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 17. 1. 2009

Jan Suk

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce, Ing. Janu Pokornému a doc. Ing. Stanislavu Gregorovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a připomínky při vypracování mé závěrečné práce.

## **ANOTACE**

Práce je věnována možnostem snižování energetické spotřeby automobilů, novým druhům pohonu a dále možnostem, jak zvýšit celkové energetické využití fosilních paliv při spalování ve spalovacích motorech. Konkrétně se jedná o rekuperační systémy, které uchovávají energii získanou při brzdění ve formě mechanické, elektrické a hydraulické energie.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

rekuperační, elektrodynamické brzdění, elektromobily, setrvačníky, hybridní pohony

## **TITLE**

Energy utilization originated from vehicle deceleration.

## **ANOTATION**

Work is devoted possibilities dispraise power consumption cars, new kinds drive and further possibilities, how heighten general power usage fossil firings at combustion in combustion motors. In the concrete acts about recuperative systems that the preserve energy gained at braking in practice mechanical, seat power control and hydraulic energy.

## **KEYWORDS**

recuperation, electrodynamic braking, electromobile, balance wheel, hybrid propulsion



# Obsah

Úvod.....	7
1. Způsoby snižování energetické spotřeby u automobilů .....	8
1.1. Zvyšování účinnosti spalovacích motorů.....	8
1.1.1. Řízení průběhu spalování.....	9
1.1.2. Systém „stop and go“ .....	10
1.2. Snižování energetických nároků na jízdu vozidla.....	10
1.2.1. Snižování hmotnosti vozu.....	11
1.2.2. Vývoj pneumatik se sníženým odporem valení .....	11
1.2.3. Snižování součinitele odporu vzduchu.....	12
1.3. Využívání nových druhů pohonu vozů .....	12
1.3.1. Využití elektromotorů pro pohon vozidel.....	12
2. Systémy rekuperace energie.....	15
2.1. Hydraulický rekuperační systém <sup>[3]</sup> .....	15
2.2. Mechanické setrvačníky <sup>[4]</sup> .....	16
3. Hybridní pohony .....	17
3.1. Paralelní spojení elektromotoru a spalovacího motoru <sup>[5]</sup> .....	17
3.2. Sériové zapojení spalovacího motoru a elektromotoru <sup>[6]</sup> .....	18
3.3. Využití vozidel s hybridními pohony ve městech a mimo město <sup>[7]</sup> .....	19
3.4. Elektrodynamické brzdění <sup>[8]</sup> .....	20
3.5. Superkondenzátor <sup>[9]</sup> .....	21
3.5.1. Technologie.....	21
3.5.2. Vlastnosti.....	23
3.5.3. Použití .....	24
4. Návrh rekuperačního systému.....	24
4.1. Rozbor jízdních režimů .....	25
4.2. Určení velikosti energie získané z brzdění.....	26
4.2.1. Odpor ze stoupání .....	27
4.2.2. Odpor valení.....	28
4.2.3. Aerodynamický odpor.....	28
4.2.4. Odpor ze setrvačných hmot.....	28
4.2.5. Výpočet energie získané při jízdě v městském provozu .....	28
4.2.6. Výpočet energie získané v provozu mimo město .....	31
4.3. Schéma rekuperačního systému a přehled použitých prvků .....	33
4.3.1. Alternátor .....	33
4.3.2. Řízený usměrňovač .....	34
4.3.3. Superkapacitor.....	34
4.3.4. Pulzní měnič.....	35
4.3.5. Spínací prvky .....	35
4.3.6. Schéma obvodu a umístění na vozidle .....	36
5. Závěr .....	37
6. Použitá literatura: .....	38
7. Seznam obrázků .....	39
8. Seznam tabulek .....	40

## Úvod

Současný vývoj automobilů se stále více zaměřuje na úsporu energie potřebné k pohonu vozů, nebo k hledání jiných zdrojů energie. S ubývajícím množstvím světových zásob fosilních paliv je tento trend stále více aktuální. Zároveň ale dochází i k nárůstu počtu osobních vozů, zejména v asijských státech, které poslední dobou zaznamenávají silný ekonomický růst. Mezi tyto země patří i Čína a Indie, dva nejlidnatější státy světa, kde je nárůst počtu osobních vozů nejvýraznější.

Jedním z dalších důvodů vývoje spalovacích motorů a alternativních zdrojů energie jsou i stále náročnější požadavky na ekologický provoz vozů. Současné emisní limity jsou vozy schopné splňovat už jen za cenu snižování spotřeby.

Cest k řešení této situace je mnoho, od získávání energie z obnovitelných zdrojů, např. rostlinného nebo živočišného původu, přes snižování energie potřebné k pohonu vozu a jeho systémů, až po samotné omezování počtu potřebných automobilů a jízd. To se týká například budování vyspělých logistických systémů a hromadných doprav o schopnosti efektivně přepravovat velké množství lidí, při co nejmenší spotřebě energie.

Ve své práci bych se chtěl konkrétně zabývat úsporou energie vzniklou při brzdění automobilů. Pro rozjezd vozidla a následné udržení dnes už poměrně vysokých průměrných rychlostí je třeba spálit mnoho paliva a velká část energie je potom bez užitku přeměněna na teplo odvedené z brzdných kotoučů nebo bubnů vozidel. Zbytek energie pak je pak spotřebován na překonání jízdních odporů.

Dnes již existuje mnoho systémů, jak tuto energii alespoň částečně uchovávat a použít znovu k pohonu vozidla. Jedním z nejvyspělejších je systém hybridních pohonů, skládající se ze spalovacího motoru, elektromotoru a akumulátorů. Tento systém je ale dost nákladný, proto ještě není běžně rozšířen. Cílem mé práce je umožnit uložení energie a znovu alespoň část z ní použít i u běžných vozidel se spalovacími motory, u nichž se nedá akumulovaná energie použít přímo k pohonu, jelikož nemají elektromotory, ale je možno díky ní snížit spotřebu.

V dnešních vozech najdeme mnoho systémů, které jsou závislé na elektronice a s postupem času jich bude jenom přibývat. Proto i stoupá podíl spotřeby vozu díky většímu množství vyrobeného elektrického proudu akumulátorem. Energie vznikající při brzdění by se tedy podle mého návrhu dala uchovávat ve vysokokapacitních akumulátorech, nebo dalších dnes vyvíjených kapacitátorech, jako je třeba superkondenzátor, a používat poté k napájení elektrických součástek vozu a tím méně zatěžovat akumulátor.

# 1. Způsoby snižování energetické spotřeby u automobilů

Kromě vyvíjení zcela nových pohonných jednotek pro automobily se pohled soudobých vývojářů soustředí také na snižování energetické spotřeby již existujících pohonných systémů a zároveň zvyšování účinnosti jednotlivých přeměn energie. Cest k dosažení tohoto cíle je mnoho. Mezi nejvýznamnější patří bezesporu zvyšování účinnosti spalovacích motorů, snižování energetických nároků na jízdu vozu, využívání systému na opětovné použití energie a další.

## *1.1. Zvyšování účinnosti spalovacích motorů*

Dosažitelná účinnost spalovacích motorů je omezena termickou účinností Carnotova oběhu, která je dána maximální a minimální teplotou oběhu. Jelikož je třeba brát ohled i na množství produkovaných oxidů dusíku, musí se hledat kompromis mezi účinností a emisemi. Za hranici celkové účinnosti spalovacích motorů je tedy považováno asi 50%.

Možné cesty vývoje spalovacích motorů:

- řízení průběhu spalování (snímače tlaku ve válci), řízený pohyb vzduchu ve válci, proměnný kompresní poměr,
- vznětový motor spalující homogenní směs (HCCI),
- optimalizace výměny náplně válců s omezením ztrát škrcením při částečných zatíženích, elektronické řízení rozvodu, ovládání zdvihu ventilů elektromagnety,
- zvyšování mechanické účinnosti snížením tření - menší počet válců a pístních kroužků,
- vyřazování válců z činnosti,
- využití nových zapalovacích systémů,
- snížení tepelných ztrát vysokým řízeným přeplňováním a regulace přeplňování řízením nastavení lopatek turbodmychadla (dále již jen TBD),
- větší využití odpadního tepla výfukových plynů prostřednictvím TBD, plynové turbíny, termočlánků,
- omezení ztrát při volnoběhu vypínáním motoru „stop-and-go“,
- využití elektromotoru vedle spalovacího motoru v hybridních systémech pohonů, rekuperace energie a akumulace elektrické energie v akumulátorech nebo v superkondenzátorech

### *1.1.1. Řízení průběhu spalování*

Jednou z cest je řízení průběhu spalování. Velmi důležité je toto pak zejména u systémů vznětových motorů HCCI na alternativní paliva jako jsou vodík, syntetická paliva, alkoholy a étery, které umožňuje spalování velmi chudých směsí s vysokou rychlostí hoření. Přínosem je omezení teplot ve válci spalovacího motoru, což vede k omezení produkce NO<sub>x</sub> a nárůstu účinnosti motoru v nízkých zatíženích díky rychlému hoření. Nevýhodou je nárůst spalovacích tlaků, zvýšená tvrdost chodu, nárůst produkce HC a především náročné řízení počátku hoření.

Další systémy umožňující dokonalejší průběh spalování paliva a tím energetickou úsporu jsou např. systémy Common Rail a systém vstříkovací jednotky UIS - Unit Injector (systém čerpadlo-tryska), které umožňuje během jednoho cyklu až pět vstříků. To dovoluje lepší jemné vyladění celého průběhu spalování, čímž lze snížit hlučnost motoru a více redukovat emise částic i oxidů dusíku.

U zážehových motorů se pomocí řízení spalování dosahuje zvýšení účinnosti zejména u takzvaného vrstveného spalování.

#### **Řízené spalování vznětových motorů na alternativní paliva (HCCI)**

Počátek hoření je možno ovlivnit především indukční dobou vznětu, která je závislá na teplotě plynu, do které je směs vstříknuta. Proto je třeba využívat systémy, které jsou schopny teplotu ve válci na počátku kompresního zdvihu ovlivnit.

Mezi tyto systémy patří především:

- předčasné zavření výfukového ventilu – variabilní časování, vnitřní recirkulace výfukových plynů,
- vnější recirkulace výfukových plynů (EGR),
- ohřev nasávané směsi – elektrický ohřev, výměníky + míšení teplého a studeného vzduchu,
- obtok mezichladiče plnicího vzduchu u přeplňovaných motorů.

#### **Řízené spalování zážehových motorů**

Při řízení přímého vstříkovaní paliva zážehových motorů je třeba rozlišovat dva způsoby provozu a to tak, aby bylo možno dosáhnout minimálních emisí a vysokého výkonu motoru. Jinak bude vstřík probíhat při nízkých otáčkách a malém zatížení a jinak při vysokém zatížení.

Za účelem minimální spotřeby paliva je motor v nízkých otáčkách provozován se silně vrstveným plněním válce doprovázeného velkým přebytkem vzduchu. Palivo je vstříknuto těsně před zapálením a tím se rozdělí spalovací prostor do dvou oblastí, které mají jiný směšovací poměr. V oblasti kolem zapalovací svíčky je rozprášeno palivo se vzduchem. Tato směs je lehce zapalitelná a má příznivý průběh hoření. Naopak v oblasti u stěn válců se vytvoří izolační vrstva plynů, která pomáhá ke zvýšení celkové termické účinnosti motoru.

U takto provozovaných motorů je po celou dobu chodu naplno otevřená škrtkovací klapka a velikost momentu závisí pouze na množství vstříknutého paliva, ne na množství vzduchu. V režimu vysokého zatížení motoru vzrůstá množství vstříknutého paliva, směs se stává silně bohatou ve všech vrstvách. Tím ale dochází ke zvyšování emisí a to zejména pevných částic. Válec je v tomto režimu plněn homogenní směsí a to už v době sání. Točivý moment je při vysokém zatížení závislý i na poloze škrtkovací klapky, na rozdíl od prvního uvedeného režimu.

### *1.1.2. Systém „stop and go“*

V souvislosti se snahou uspořit co nejvíce energie začala řada automobilek v poslední době vybavovat své automobily systémem stop and go, které fungují vesměs podobně. Některé jsou napojeny na tempomat, jiné pracují samostatně. Obecně lze říci, že tento systém vypíná motor, pokud řidič sundá nohu z plynového pedálu a sešlápne spojku buď u stojícího vozu, nebo v rychlosti pod 10 km/h. Všechny elektronické systémy ale v tuto dobu samozřejmě fungují.

Systém může řidič samovolně deaktivovat. Navíc řídicí jednotka nezapíná systém, pokud se vozidlo vyskytuje v nevyhovujících podmínkách. Těmi jsou například příliš krátká doba po startu (nedostatečně zahřátý motor), nebo nízká okolní teplota.

## ***1.2. Snižování energetických nároků na jízdu vozidla***

Snížení těchto energetických nároků se dosahuje snížením jízdních odporů. Tedy odporu z valení pneumatik, aerodynamického odporu a odporu ze stoupání. Jeho redukce je nejjednodušší. Jelikož odpor ze stoupání je závislý kromě sklonu stoupání pouze na hmotnosti vozidla, sníží se tento odpor redukcí váhy vozu. Na hmotnosti vozu jsou pak závislé i ostatní jmenované odpory.

### *1.2.1. Snižování hmotnosti vozu*

Pro snížení hmotnosti karoserie se používají speciální materiály, hliníkové slitiny, plasty s uhlíkovými vlákny a např. laminát. Je snaha docílit redukce přebytečných dílů karoserie, ovšem ne za cenu ohrožení bezpečnosti cestujících.

Ovšem samotná změna materiálu by nebyla příliš efektivní, zvláště vzhledem k požadované pevnosti. Proto se také stále vyvíjí dokonalejší tvary karoserií. Postupuje se přibližně tak, že se vezme neformovaný kus hmoty a stanoví se, jakým silám má na voze podléhat a postupně se odstraňuje všechny materiál, který s přenosem a reakcí na síly nemá nic společného. Takto lze dosáhnout vysoce efektivních tvarů, které vyhovují svou pevností a zároveň mají co nejnižší hmotnost.

Ovšem pokrok jde dál i ve vývoji ocelí, a tak se dnes objevují oceli, které mají mez pevnosti až okolo 1600 MPa. Při použití ocelí s takovou pevností lze samozřejmě redukovat hmotnost karoserie a podvozku také velmi efektivně.

Oproti celkovému snižování hmotnosti vozu se ale staví negativně stále vyšší požadavky zákazníků na komfort a vybavení vozů. Každý další systém ve voze přidává na hmotnosti, proto se očekává, že u vozů s maximální výbavou nebude možné hmotnost vozů snižovat. Snahou tedy zůstává alespoň udržet jejich hmotnost co nejbližší současných průměrů. Hmotnost vozu se základní výbavou se ale snižovat bude.

### *1.2.2. Vývoj pneumatik se sníženým odporem valení*

První výrazný krok ke snížení odporu zaznamenaly pneumatiky v 90. letech minulého století, kdy saze jako plnidlo nahradila kyselina křemičitá. Tyto nové pneumatiky prokazovaly vyšší přenos adhezivní síly za mokra, lepší trakční vlastnosti na sněhu a hlavně snížení valivého odporu až o 25%.

Ke snižování odporu z valení lze dojít ale i jinou cestou, než jen změnou materiálu. Díky modelování a výpočtům na počítači ve speciálních softwarových aplikacích se výrazně snížil čas pro návrh nové pneumatiky. Lze tedy poměrně rychle a přesně stanovovat tvary pneumatiky a dezénu tak, aby její odpor byl co nejmenší, ale vyhovovala požadovaným vlastnostem.

### *1.2.3. Snižování součinitele odporu vzduchu*

V této oblasti došlo v poslední době také k výraznému kroku. Na celkové energetické spotřebě vozu má tento odpor podíl až 20%. Odpor vzduchu závisí na několika faktorech, z nichž s konstrukcí vozu souvisí pouze čelní plocha vozu a součinitel odporu vzduchu. Výrazné snižování čelní plochy vozu není možné, proto se konstruktéři věnují nejvíce vývoji tvaru karoserie tak, aby byl součinitel odporu co nejnižší.

Testy a vývoj se provádí v aerodynamických tunelech, kdy je většinou na zmenšené modely aut hnán vzduch, či spíše kouř, a je sledován průběh jeho proudění. Dnešní tunely jsou schopny pomocí lopatek vrtulí dosáhnout rychlosti proudění až 250 km/h.

Na snížení tohoto odporu má vliv i snížení podvozku, použití spoilerů na pátých dveřích a uzavření přívodu chladícího vzduchu k předním brzdám, jak to předvedli konstruktéři u nového vozu Škoda Superb. Bylo tak dosaženo příznivé hodnoty 0,28 součinitele odporu vzduchu.

### *1.3. Využívání nových druhů pohonu vozů*

Spalovací motory jsou zejména nevhodné svojí nízkou účinností a emisemi pro městský provoz. Ve městech je koncentrováno velké množství vozů a jejich provoz je specifický. Dochází k častému zastavování a rozjíždění, většinou se jezdí na krátké úseky se studeným motorem a motory často běží na volnoběžné otáčky při čekání na křižovatkách. Toto všechno jsou faktory, které hovoří proti využívání spalovacích motorů pro městský provoz. Naopak pohonná jednotka, která všem výše uvedeným podmínkám bez problému vyhovuje, je elektromotor. Umožňuje využití maximálního výkonu od prvního okamžiku, oproti spalovacímu motoru vydává daleko nižší hluk, je bezemisní a dosahuje vysoké účinnosti, dnes kolem 97%.

Mezi spalovacími motory a elektromotory se potom pohybují systémy hybridních pohonů, které využívají jak spalovací motor, tak i elektromotory.

#### *1.3.1. Využití elektromotorů pro pohon vozidel*

Elektromotor je všeobecně považován za nástupce spalovacích motorů v automobilech. Existují různé typy elektrických strojů, jako např. elektromotory stejnosměrné, asynchronní, synchronní, bezkartáčové, s příčným polem, krokové, s permanentními magnety atd.

Nedořešenou otázkou zatím zůstává, odkud přímo ve voze získávat elektřinu. Jednou možností jsou vysokokapacitní akumulátory a superkondenzátory, které elektřinu uchovávají. Přestože jde i vývoj akumulátorů stále dopředu, nedosahují zatím kapacit, které by vyhovovaly dlouhým jízdám. Někteří výrobci ovšem již dnes uvádějí dojezd takovýchto elektromobilů až několik set kilometrů. Takovéto automobily jsou vhodné především v městských provozech. Pro využití elektromotorů na dlouhé cesty by mohly být docela dobře využívány palivové články, které mají vysokou účinnost přeměny energie. Na obrázku vidíme porovnání elektromobilu s palivovým článkem a s akumulátorem.

Typ elektromobilu	S baterií	S palivovým článkem
Trakční motor	Elektrický	Elektrický
Nosič energie	Baterie	Palivové články
Zdroj energie	Elektrochemický	Vodík Methanol Ethanol
Požadavky na infrastrukturu	Síť nabíjecích stanic	Síť prodeje paliva
Vlastnosti	Žádné emise Nezávislost na ropě Nízký akční rádius Vysoká cena Obchodně přístupný	Téměř žádné emise Vysoká účinnost Nezávislost na ropě Vyhovující akční rádius Vysoká současná cena Stále ještě ve vývoji
Problémy	Baterie a její management Doba nabíjení Hmotnost Nároky na prostor Výkon REKUPERACE	Cena palivových článků Dynamika Řízení spalování Nároky na prostor Bezpečnost

Obr. 2.1. – porovnání elektromobilů s akumulátorem a palivovým článkem  
 [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4\_RSSS.pdf]

### Elektromobily s akumulátory

Vývoj takovýchto vozů začal už v devatenáctém století. Jenže nástup spalovacích motorů toto odvětví zcela zmrazil. Další vzestup začal až kolem roku 1965, kdy přišla první ropná krize. Dalším důvodem, proč se oči odborníků začaly obracet směrem k elektromobilům bylo stále se zhoršující životní prostředí. Opravdový rozmach elektromobilů začal



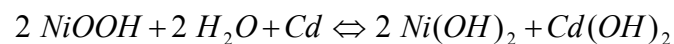
v devadesátých létech 20. století. Důležité je, že takovéto elektromobily potřebují poměrně hustou síť dobíjecích míst.

Pro tento typ pohonu je nejdůležitější dostatečná kapacita akumulátorů. Staré olovené baterie proto tomuto systému už nevyhovují. Dnešní elektromobily využívají zejména nikloželezné a niklokadmiové baterie. Niklokadmiové jsou přitom ještě rozšířenější díky své vyšší účinnosti.

Niklokadmiový akumulátor (NiCd) používá jako aktivní materiál pro kladnou desku hydroxid nikelnatý a pro zápornou desku hydroxid kademnatý. Elektrolytem je roztok hydroxidu draselného obsahující malé množství hydroxidu lithého pro zlepšení životnosti během cyklu a pro zlepšení funkce při vysokých teplotách. Roztok je optimalizován tak, aby dodával co nejlepší kombinaci výkonu, životnosti, energetické účinnosti a širokého teplotního rozsahu. Elektrolytu se používá pouze pro přenos iontů, během nabíjecího / vybíjecího cyklu nedochází k jeho chemickým změnám ani nedochází k znehodnocování.

*V případě olovené baterie kladná a záporná složka reagují s elektrolytem (kyselinou sírovou), což vede ke stárnutí. Nosná konstrukce kladné i záporné desky NiCd baterií je z oceli. Ta zůstává elektrolytem nedotčena a uchovává si pevnost po celou dobu životnosti článků. U olovených baterií je základní konstrukce u obou desek z olova a oxidu olovnatého. Tyto látky se zúčastňují elektrochemických pochodů uvnitř baterie a přirozeně korodují během životnosti baterie.*

*Chemická reakce při nabíjení a vybíjení niklokadmiové baterie je:*



*Na rozdíl od olovené baterie, dochází během nabíjení a vybíjení k minimální změně hustoty elektrolytu. To umožňuje používat značnou rezervu elektrolytu bez ovlivnění elektrochemických procesů mezi deskami. Vzhledem k jejímu elektrochemickému principu je chování nikl – kadmiové baterie stabilnější než u olovnaté baterie, je jí dána vyšší životnost, lepší charakteristiky a větší odolnost proti nepříznivým podmínkám.<sup>[2]</sup>*

### **Palivové články<sup>[1]</sup>**

Palivový článek je elektrochemické zařízení vytvářející elektrickou energii. Palivový článek je galvanický článek, k jehož elektrodám jsou přiváděny jednak palivo (k anodě) jednak okysličovadlo (ke katodě). Mezi těmito dvěma elektrodovými prostory se nachází elektrolyt. Na katodě se oxidační činidlo (většinou kyslík) redukuje na anionty (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), a ty pak reagují s H<sup>+</sup> ionty na vodu. Palivové články mohou operovat nepřetržitě, pokud se nepřeruší přívod paliva a okysličovadla k elektrodám.

Na rozdíl od obvyklých monočlánků (baterií), ve kterých se elektrody při odběru proudu spotřebovávají, zůstávají elektrody v palivovém článku stálé, avšak spotřebovává se palivo a okysličovadlo, kterými jsou elektrody omývány. Zatímco elektrody uvnitř baterie jsou opotřebovávány, v palivovém článku jsou elektrody katalyticky i relativně stabilní.

Existuje mnoho kombinací paliva a okysličovadla. Např. kyslíko-vodíkový článek používá vodík jako palivo a kyslík jako okysličovadlo. Jiné články užívají jako paliva uhlovodíky a alkoholy. Místo čistého kyslíku se jako okysličovadla může použít například vzduch, chlór a oxid chloričitý.

## 2. Systémy rekuperace energie

Další možností, jak snížit energetickou spotřebu vozu je akumulování energie, která vzniká při brzdění, tedy tzv. rekuperace. Když se vezme v úvahu pouze energie potřebná k rozjezdu vozidla na určitou rychlost, snížená o různé třecí ztráty a nedokonalosti přenosu momentu z motoru na kola, tak celá tato energie je rozdělena do energetické spotřeby jízdních odporů a na energii odevzdanou ve formě tepla do ovzduší vlivem brzdění vozidla.

Stavěním rychlostních silnic a dálnic se umožňuje přímá jízda bez častého brzdění a zpomalování, ale dosáhnout toho, aby se vozidlo rozjelo na určitou rychlost a poté si tuto rychlost udrželo celou předpokládanou trasu je nemožné, obzvláště pak ve městech.

Proto vědci neustále vyvíjí a zdokonalují systémy, které energii vzniklou při brzdění akumulují a poté je opět použita k trakci vozidla. Některé systémy jdou cestou přeměny mechanické energie na elektrickou pomocí generátorů proudu, další shromažďují energii ve formě kinetické energie rotujících částí a existují i systémy, které ji přeměňují na vnitřní tlak v kapalinách.

### ***2.1. Hydraulický rekuperační systém<sup>[3]</sup>***

Díky systému rekuperace energie od firmy Parker lze snižovat spotřebu paliva a hladiny emisí u vozidel prostřednictvím ukládání kinetické energie vozidla při brzdění do formy energie tlakové. Během akcelerace se tato energie opět využívá. Toho lze docílit pomocí hydrostatického převodu vybaveného hydraulickou jednotkou napojenou na kola vozu, která během brzdění funguje jako hydraulické čerpadlo a během akcelerace jako hydraulický motor. Práce prováděná hydraulickou jednotkou na kolech při zpomalování

vozidla se ukládá ve formě stlačené tekutiny (plynu) v akumulátoru. Během akcelerace tato stlačená tekutina pohání hydraulickou jednotku a zrychluje pohyb vozidla. Další hydraulická jednotka je namontována na primárním zdroji energie (obvykle spalovací motor). Tato jednotka obvykle pracuje jako čerpadlo a přenáší energii z motoru do hydraulických jednotek na kolech vozidla případně do akumulátoru.

Velmi důležitou roli hraje vývoj samotného softwaru, tj. účinné strategie řízení a ovládacích programů, které vozidlu zajišťují nezbytné vysoké výkonnostní parametry a zároveň se starají o to, aby motor i převodovka pracovaly v optimalizovaném režimu a minimalizovaly tak co nejvíce spotřebu energie.

Akumulátor je vyroben z kompozitu, a proto má jen polovinu hmotnosti klasických akumulátorů vyrobených z oceli. Ale v tomto systému rekuperace energie nemá akumulátor za úkol obnovovat pouze energii z brzdění. Stejně důležitá je schopnost vyrovnávat výkonové špičky. Namísto zvýšení otáček při sešlápnutí plynu se využije akumulátor, který dodá okamžitý potřebný výkon, a tím přispívá k lepší efektivitě využití energie i nižším emisím.

## ***2.2. Mechanické setrvačnický<sup>[4]</sup>***

Setrvačnický je v tomto případě samotným zásobníkem mechanické energie, která se přímo použije k urychlení vozidla. Zdánlivě celá záležitost funguje relativně jednoduše – přes převodovku s plynule proměnným převodem (CVT) je setrvačnický napojen na hnací hřídel. Jakmile začne vůz brzdit, setrvačnický se začne roztáčet (a díky tomu bude vlastně vůz brzdit). V ideálním případě se bude setrvačnický točit rychlostí až 60 000 otáček za minutu. Při potřebě využití energie z takového systému pak převodovka opět sepne a roztočený setrvačnický začne pohánět hnací hřídel.

Tento systém v současnosti vyvíjí společenství firem Xtrac, Torotrak a Flybrid a podle všeho si jej zvolily již dva týmy F1. Co je možná ale ještě důležitější, je fakt, že zároveň se počítá s přenesením této technologie do běžných osobních vozů.

Společně s dalšími firmami - konkrétně jde o Prodrive, Ricardo a Ford - se výše zmíněné společnosti podílí na vývoji setrvačnickového hybridu pro auta takzvaného premium segmentu.

Vedoucím tohoto projektu je automobilka Jaguar a vývoj bude částečně financován z grantů britské vlády.

V automobilech nebude systém KERS (kinetic energy recovery systém) klást tak vysoké nároky na jeho nízkou hmotnost (verze pro F1 váží 6,5 kilogramu) a zástavbové poměry, rovněž nebude omezen výkonem. Na druhou stranu bude klást daleko vyšší nároky na rozsah CVT převodovky – pokud se má setrvačnick točit otáčkami  $60\,000\text{ min}^{-1}$ , znamená to, že pro použití v automobilech musí být rozsah převodovky zhruba v rozmezí 1:10 až 1:80.

Setrvačnickový KERS by se měl v podobě pro sériové automobily objevit do dvou let. Navíc výše zmíněné firmy jistě nejsou jediné, které na vývoji obdobného systému pracují. A tak možná opravdu není příliš daleko doba, kdy se bude jezdit auty, kterým bude při zrychlování pomáhat setrvačnick.

### **3. Hybridní pohony**

Jako alternativa k elektrickému pohonu vozidel se začal intenzivně vyvíjet pohon s vynikajícími vlastnosti elektromobilů a možností využívat kinetickou energii jedoucího vozidla pro rekuperaci energie, ale zároveň i přednosti klasického pohonu se spalovacími motory, tedy dlouhý dojezd a snadné doplňování energie. Automobil spojující výhodné vlastnosti obou koncepcí se nazývá hybridní. Je podstatně lehčí než elektromobil a má vyšší instalovaný výkon, který je plně využitelný pro akcelerace. Při rovnoměrném pohybu pracuje spalovací motor v režimu s maximální tepelnou účinností a koncepce hybridního pohonu umožňuje rekuperaci energie při brzdění motorem. Celá pohonná jednotka je založena na specifickém propojení spalovacího motoru a vhodných akumulátorů pro akceleraci a deceleraci vozidla. Existuje několik variant uspořádání hybridního pohonu se specifickými výhodami jednotlivých řešení.

#### ***3.1. Paralelní spojení elektromotoru a spalovacího motoru<sup>[5]</sup>***

První variantou je paralelní koncepce. Základem je spalovací motor s převodovkou a mechanickým náhonem na hnací nápravu. Paralelně k hnacímu motoru je přes soustavu spojek připojen elektrický motorgenerátor. S využitím energie akumulátorů zvyšuje tato soustava elektrického a spalovacího motoru celkový moment. Vhodnou momentovou charakteristikou elektrického motoru lze zaručit dostatečný moment celého soustrojí na kolech vozidla v celém rozsahu uvažovaných rychlostí. Převodová skříň může být proto velmi jednoduchá a základní převod by měl odpovídat nejpravděpodobnější předpokládané

rychlosti vozu a současně i takové poloze pracovního bodu pro spalovací motor, kdy má nejvyšší termodynamickou účinnost. Protože mechanická převodovka s pevnými převody má větší účinnost proti elektrickému přenosu síly na kola, je paralelní princip hybridního vozidla velmi často využíván. Je na něm založen jak experimentální vůz Volkswagen Golf, tak i první komerčně vyráběný hybridní automobil Toyota Prius, Ford a mnoho dalších.

S paralelní koncepcí souvisí i nadějná varianta pohonu s palubní sítí 42 V. Nástup této generace vozidel lze očekávat v dohledné době. Při tomto napětí je akumulátor sice větší, ale maximalizuje se tím hustota výkonu, takže je možné dosáhnout krátkodobě přímo nebo pomocí vzestupných (step up) konvertorů s elektrickým motorem výkonu v rozpětí 5 až 10 kW. Při této koncepci je obvykle součástí setrvačnicku spalovacího motoru motorgenerátor na společné hřídeli, který slouží pro startování, dále jako zdroj dodatečného momentu motoru zejména v oblasti malých otáček a konečně jako zdroj energie při regenerativním brzdění. Klasické schéma pohonu je tedy doplněno o možnost akumulace brzdné energie, výrazně se zlepšuje akcelerace vozidla a obvykle se i zjednoduší převodovka. Celková hmotnost vozidla vzroste proti klasickým hybridním vozidlům pouze nepatrně. Ostatní dobré vlastnosti klasického pohonu zůstanou zachovány.

### ***3.2.Sériové zapojení spalovacího motoru a elektromotoru<sup>[6]</sup>***

Druhou základní možností je tzv. sériová koncepce hybridního vozidla. Základem je spalovací motor (ICE – Internal Combustion Engine) pevně spojený s generátorem. Motor je provozován zásadně v oblasti své nejvyšší termodynamické účinnosti a jeho výkon je navržen tak, aby zajišťoval střední hodnotu nutného výkonu pro požadovanou ustálenou rychlost vozidla. Pohonná náprava nebo nápravy vozidla jsou pevně spojeny s jedním nebo několika trakčními elektromotory. Většinou se jedná o asynchronní motory s výkonovými invertory, umožňující dosažení téměř ideálních trakčních vlastností. Nedílnou součástí pohonného systému je dále vhodná akumulátorová baterie, která zajišťuje veškeré požadované výkonové špičky v obou směrech při akceleraci i regenerativním brzdění. Protože motorgenerátor není pevně spojen s hnací nápravou, lze celý pohonný systém vozidla navrhnout modulárně a návrh jeho umístění na vozidle je mnohem volnější oproti paralelní koncepci.

Ve městě při typické jízdě v hustém provozu může pracovat motor pouze výjimečně a provoz je převážně zajištěn akumulátory, zatímco ve volné krajině s minimálními ventilačními problémy může motorgenerátor pracovat v optimálním režimu. Otáčky

motoru nejsou svázány s otáčkami kol, a proto může pracovat v podmínkách maximální termodynamické účinnosti a současně dobíjet akumulátory bez nutnosti vnějšího nabíjení. Při výběru velikosti a typu akumulátoru je prvořadým určujícím kritériem jeho výkonová hustota. Ta určuje celkovou hmotnost pohonu. Hustota energie použitého akumulátoru má proti elektromobilům menší význam. Dá se předpokládat, že v budoucnu bude tato koncepce výhodnější. Již dnes se začínají vyrábět speciální akumulátory, které preferují výkonovou hustotu na úkor energetické hustoty.

### ***3.3. Využití vozidel s hybridními pohony ve městech a mimo město<sup>[7]</sup>***

Podle velikosti použitých akumulátorů, resp. podle množství energie, kterou akumulátory mohou pojmout, lze navrhovat hybridní pohon pro konkrétní provozní podmínky. Z možných řešení lze na jedné straně použít velké množství akumulátorů a relativně malou pohonnou jednotku se spalovacím motorem. To je varianta pro městský provoz a předpokládá časté vypínání pohonné jednotky, ne zcela autonomní nabíjení akumulátorů palubními zdroji a limitovaný akční rádius vozidla v okolí nabíjecí stanice.

Na druhé straně lze zkonstruovat hybridní automobil pro ryze silniční provoz a vybavit ho silnou pohonnou jednotkou, akumulátory s malou kapacitou a vysokou výkonovou hustotou. V této koncepci je pohonný agregát schopen dodávat veškerou energii pro požadovanou dlouhodobou maximální požadovanou rychlost a krátkodobé akumulátory hradí pouze výkonové špičky při akceleraci. Současně lze tyto akumulátory nabíjet vysokým špičkovým výkonem při regenerativním brzdění. Automobil této koncepce je zcela autonomní a veškeré nabíjení akumulátorů je zajištěno palubními agregáty. Vzhledem k možnostem elektronického řízení trakčního motoru nebo několika motorů lze při konstrukci maximálně zjednodušit převodovku. Je třeba poznamenat, že tato vlastnost se plně uplatní zejména u sériové koncepce hybridního automobilu.

Vlastnosti skutečného hybridního automobilu se pohybují podle specifického zadání vlastností mezi oběma uvedenými krajními řešeními. Pro řídicí techniku je zajímavý problém řešení strategie využití všech energetických zdrojů podle zvoleného kritéria kvality. Jiná strategie bude uplatňovaná v hustém provozu ve městě a jiná při jízdě plnou rychlostí v krajině. Využití brzděné energie je efektivní, pokud ji lze skladovat. Na druhé straně je dobré, když při jízdě ustálenou rychlostí je akumulátor maximálně dobíjen pro zajištění nenadálých výkonových špiček. Pokud však bude následovat dlouhé klesání v horském terénu, není brzděnou energii kde skladovat. Pro strategii doplňování energie do

akumulátorů se proto začíná používat prediktivní řízení ve spojení s prostředky globální navigace (GPS – Global Positioning System).

### ***3.4. Elektrodynamické brzdění*** <sup>[8]</sup>

Elektrodynamická brzda je zvláštní technické zařízení, které mění pohybovou energii na elektrickou energii. Připojený stroj je brzděn, čímž je snižována jeho rychlost. Takto vytvořená elektrická energie je mařena v odpornících nebo je rekuperována zpět do napájecí sítě.

Nejčastěji je využívána u kolových dopravních prostředků: lokomotiv, trolejbusů či tramvají. Může ale brzdit i dopravníkové pásy, výtahy či jiná zdvihací zařízení (zdvihadla). Významné je i její užití u měřících přístrojů pro testy motorů.

V principu může být elektrodynamickou brzdou každý elektrický generátor resp. dynamo či alternátor. Obvykle se ale jako specializovaná brzda nepoužívá. Jako elektrodynamická brzda může totiž sloužit i elektromotor či elektromagnet.

U stejnosměrného sériového motoru stačí přepólovat zapojení kotvy, nebo buzení a připojit spotřebič. Vznikne tak pozitivní zpětná vazba, motor se nabudí, spotřebič začne elektrickou energii odebírat a motor působí proti směru pohybu. V novějších strojích se používá častěji principu cize buzeného generátoru, kdy buzení a kotva nejsou zapojeny v jednom obvodu. Do buzení se dodává elektrická energie z napájecí troleje nebo elektrického generátoru a kotva je zdrojem elektrické energie, která se pak nevratně maří v odpornících, kde je přeměňována na ztrátové teplo.

Třífázový asynchronní motor začne vyrábět proud pokud úhlová rychlost točivého magnetického pole je menší než úhlová rychlost kotvy. Kotva se pak snaží přiblížit své otáčky točivému poli a opět působí proti pohybu. Takto vyrobená elektrická energie je pak buď nevratně mařena na ztrátové teplo v elektrických odpornících, nebo se zpětně zužitkovává (rekuperací) elektrické energie zpět do napájecí soustavy.

Elektrodynamická brzda odporová se používá u trakčních vozidel dopravních prostředků, poháněných stejnosměrnými elektromotory. Například u elektrických a dielelektrických lokomotiv, tramvají, vozů metra a trolejbusů. Pokud je u daného dopravního prostředku využita odporová regulace výkonu, obvykle se k maření elektrického proudu využívají rozjezdové odporníky, což znamená, že při rozjezdu i při brzdění vozidla (t.j. při řízeném zrychlování či zpomalování vozidla) se energie nevratně maří na ztrátové teplo v tomtéž zařízení.

Dalším systémem jsou brzdy pracující na principu vířivých proudů. Taková brzda se skládá z kovového kotouče a elektromagnetů. Kotouč rotuje v magnetickém poli, tím v něm vznikají proudy, které v něm také zanikají a tím jej zahřívají. Brzdný účinek lze regulovat intenzitou magnetického pole, to znamená velikostí proudu v elektromagnetech. Kotouč může být vybaven žebry, která zlepší chlazení - zvětší jeho povrch a zajistí nucený oběh vzduchu.

Elektrodynamická brzda má brzdnou sílu závislou přibližně na druhé mocnině rychlosti. Znamená to, že při malých rychlostech vozidla je její účinek prakticky nulový. Naopak při vysokých rychlostech je její účinek velmi vysoký. V praxi bývají elektrické brzdy kombinovány obvykle s brzdami mechanickými (jejíž brzdná síla je prakticky nezávislá na rychlosti). Elektrické brzdy mohou být doplněny regulací (u nejnovějších konstrukčních řešení se jedná o regulaci elektronickou).

### ***3.5. Superkondenzátor<sup>[9]</sup>***

Kondenzátor je jediná součástka, ve které lze akumulovat energii přímo v elektrické formě. U všech ostatních typů akumulátorů je energie uchovávána v mechanické, chemické nebo magnetické formě. Pro akumulaci elektrické energie je tedy kondenzátor principiálně nejvýhodnější, jelikož není nutné energii před akumulací transformovat do jiné formy. Každá přeměna formy energie je totiž spojena se ztrátami, případně i škodlivými vedlejšími jevy. Další nevýhodou může být omezená rychlost přeměny energie, která zároveň omezuje proudovou zatížitelnost akumulátoru.

Běžný elektrolytický kondenzátor není pro akumulaci el. energie vhodný, vzhledem ke své nízké měrné energii (0.01 Wh/kg). V posledních letech se ovšem začíná hovořit o tzv. superkondenzátoru (příp. ultrakondenzátoru), jehož měrná energie je až 100 x vyšší. Také měrný výkon této součástky je relativně vysoký a tak se superkondenzátor jeví jako perspektivní akumulátor elektrické energie.

#### ***3.5.1. Technologie***

Princip uchování energie v superkondenzátoru vychází z efektu, který popsal již v roce 1856 K. Hemholtz. Jedná se o vytvoření elektrochemické dvouvrstvy po přiložení napětí na elektrody ponořené ve vodivé tekutině. Proto je superkondenzátor někdy také nazýván



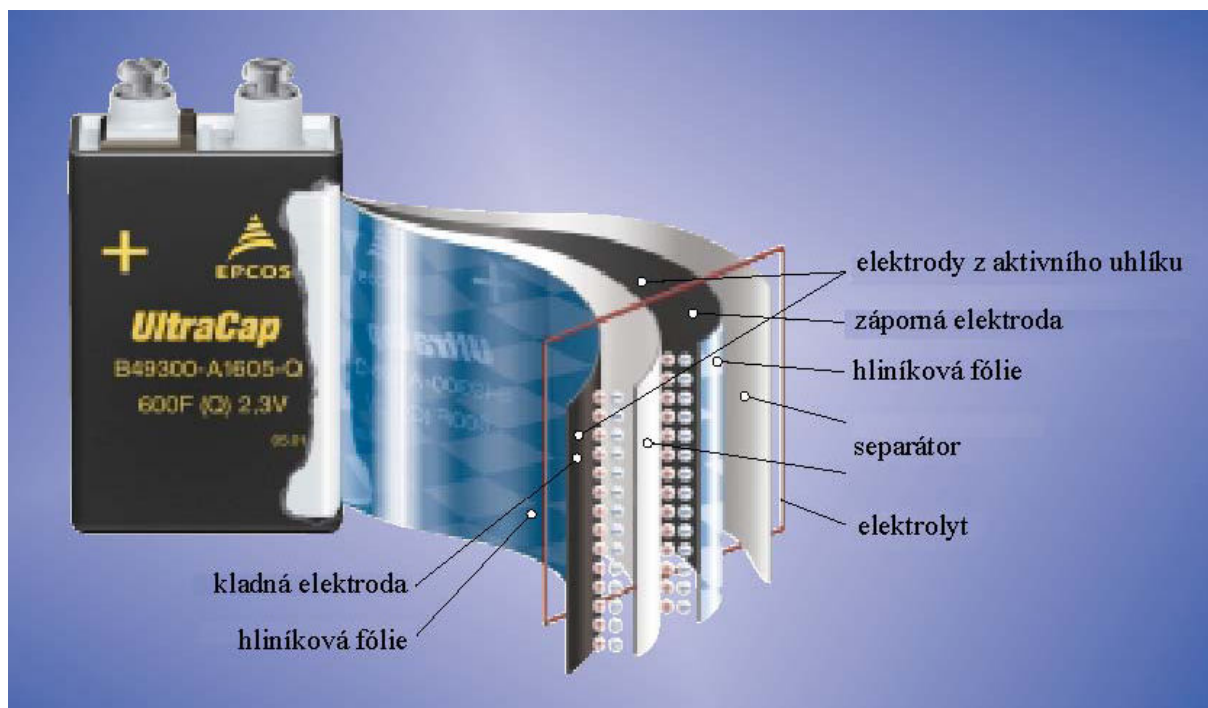
elektrochemickým dvouvrstevným kondenzátorem. Stejně jako u běžného kondenzátoru je zde energie uchovávána v elektrostatickém poli.

V nenabitém stavu jsou částice s nenulovým nábojem (ionty) rovnoměrně rozloženy ve vodivé tekutině, elektrolytu, který se nachází mezi elektrodami. Po přiložení napětí na elektrody se začnou záporné ionty pohybovat ke kladné elektrodě a naopak kladné ionty k záporné elektrodě. Na obou elektrodách se tak vytvoří dvouvrstva se zrcadlovým rozložením elektrického náboje. Použitelné napětí je omezeno hodnotou disociačního napětí, při kterém jsou náboje z elektrod schopny přejít k iontům v elektrolytu. Při vyšším než disociačním napětí dochází k chemickým reakcím, které vedou k vývinu vzduchu a následnému zničení kondenzátoru. U elektrolytů na bázi vody je tato napěťová hranice 1.2 V, zatímco u elektrolytů na bázi organických rozpouštědel se tato napěťová hranice pohybuje v rozmezí 2 až 3 V.

Materiálem vhodným pro elektrody superkondenzátoru se ukázal být aktivovaný uhlík. Důvodem je velká dosažitelná plocha skutečného povrchu (vysoká poréznost), chemická netečnost, elektrická vodivost a relativně nízká cena. Lze dosáhnout povrchu elektrod až 2000 m<sup>2</sup>/g, což při extrémně malé tloušťce dvouvrstvy (do 10 nm) znamená kapacitu řádově tisíců Farad ve velmi malém objemu. Pro ilustraci: superkondenzátor s parametry 600 F / 2.3 V má rozměry 4 x 6 x 9 cm a váží pouze 290 g. Jeho měrný výkon (vztažený k objemu i hmotnosti) je tak v porovnání s elektrolytickým kondenzátorem přibližně 100 x vyšší.

Elektrody superkondenzátoru jsou vytvořeny paralelním propojením porézních uhlíkových „plátů“, ponořených ve vysoce vodivém organickém elektrolytu. Elektrické připojení je realizováno spojením uhlíkového plátu s hliníkovou fólií. Jednotlivé elektrody jsou navzájem odděleny tenkými separátory z papíru, polymerů nebo skleněných vláken.

Narozdíl od baterie, ve které je energie uchovávána přeměnou chemických vazeb, spočívá činnost dvouvrstevného kondenzátoru v prostém posuvu iontů v elektrickém poli. Jelikož u elektrod nedochází při nabíjení a vybíjení k žádné látkové přeměně, dosahuje superkondenzátor velmi vysoké životnosti a, pro kondenzátor typického, vysokého počtu cyklů.



Obr. 4.1. – Řez superkapacitátorem  
 [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4\_RSSS.pdf]

### 3.5.2. Vlastnosti

V tabulce je uvedeno porovnání výkonových parametrů superkondenzátoru, olověné baterie a běžného elektrolytického kondenzátoru. Jak je vidět, superkondenzátor má 10 až 20 x vyšší měrný výkon oproti baterii a vyznačuje se podstatně kratší nabíjecí i vybíjecí dobou. V porovnání s běžným kondenzátorem lze naopak vyzdvihnout jeho měrnou energii, která je až 100 x vyšší. Svými parametry leží tedy superkondenzátor v oblasti mezi baterií a elektrolytickým kondenzátorem.

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

Tab. 4.1. – Srovnání parametrů akumulátoru, superkondenzátoru a kondenzátoru  
 [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4\_RSSS.pdf]

Významným kladem superkondenzátoru je jeho bezproblémová funkce při nízkých teplotách a to až do  $-40$  °C. Narozdíl od baterie je také zcela bezúdržbový a jeho životnost

je díky vysokému počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů dostatečně dlouhá. Ani následná likvidace není problematická, nejsou nutná žádná zvláštní opatření. V neposlední řadě je velkým kladem superkondenzátoru možnost jednoduchého určení velikosti akumulované energie resp. „stavu nabití“ z velikosti napětí. Narozdíl od chemického článku, kde tomu tak není a určení skutečného stavu nabití článku je velmi problematické.

### 3.5.3. Použití

Z hlediska použití lze očekávat nasazení superkondenzátorů ve dvou oblastech. Vzhledem k poměrně vysoké měrné energii je superkondenzátor schopen plnit funkci nouzového záložního zdroje el. energie u zařízení s malým příkonem. Při řádné funkci zařízení je superkondenzátor nabíjen z primárního zdroje el. energie, při jeho výpadku se pak stává náhradním zdrojem. Stává se tak v této oblasti alternativou k doposud používaným bateriím. Druhá oblast nasazení vyplývá z vysokého měrného výkonu superkondenzátoru, neboli jeho schopnosti dodávat velký špičkový proud. Do této oblasti spadá i hybridní pohon automobilu, ve kterém plní roli hlavního zdroje energie spalovací motor. Využití superkondenzátoru se předpokládá pro dvě základní činnosti. Jako akumulátoru brzdě energie a jako zdroje špičkového výkonu pro start spalovacího motoru a pro urychlení vozidla. Startér v automobilu odebírá při startování proud několik set ampér. Takto vysoký proud znamená pro běžně používanou baterii velkou zátěž a výrazně urychluje její stárnutí. U superkondenzátoru tomu tak není. Ten je schopen bez potíží dodávat proud až 400 A po dobu několika vteřin, což je pro nastartování motoru dostatečně dlouhá doba. Díky superkondenzátoru je tedy možné podstatně snížit proudové dimenzování baterie a tím i její velikost. Před startem je však nutné, aby byl superkondenzátor plně nabit. Toho může být dosaženo buď již zmíněnou předchozí akumulací brzdě energie, nebo pozvolným nabitím z baterie.

## 4. Návrh rekuperačního systému

Hybridní pohony jsou dnes už celkem běžně na seznamu výrobků řady automobilek. Díky své vysoké ceně ale ještě stále nejsou na trhu tolik žádané jako klasické automobily se spalovacími motory. Můj návrh spočívá v nahrazení klasicky umístěného alternátoru, jakožto zdroje energie pro elektrický okruh vozu, generátorem proudu, který by akumuloval brzděnou energii do superkondenzátoru a ten by jí poté uvolňoval do

elektrického okruhu vozu. Alternátor sám osobě brzdí spalovací motor, jelikož je neustále v záběru a odebírá u vozů s vysokým požadavkem na elektrický výkon, přes 1 kW. Toto se samozřejmě projeví i na zvýšené spotřebě paliva.

#### ***4.1. Rozbor jízdních režimů***

Nejprve je třeba vybrat vhodné místo v převodovém a hnacím ústrojí, kde by mohl být takový generátor umístěn. Záleží to na tom, při jakých jízdních podmínkách bude požadováno spínání dobíjení.

Jednou z možností je spínání dobíjení pouze pokud řidič sešlápne brzdový pedál, chce tedy vozidlo zpomalit, nebo zastavit. V takovémto případě by bylo vhodné, aby dobíjecí zařízení bylo v činnosti při jakémkoliv zařazeném rychlostním stupni, tedy i neutrálu. To by vyžadovalo umístění generátoru proudu mezi převodovku a hnaná kola. V této části převodového ústrojí jsou všechny členy při pohybu vozu aktivní.

Toto zapojení je ovšem silně závislé na pohybu vozu v prostředí, kde se vyžaduje časté brzdění. Při dlouhých jízdách například po dálnici by nedocházelo k dobíjení a vůz, u něhož je dnes většina systémů řízena elektronicky, by se ocitl bez elektrické energie a došlo by přinejmenším k nemožnosti další jízdy, v horším případě k ohrožení bezpečnosti.

Proto by bylo nezbytně nutné zařadit do dobíjecího systému prvek, který by hlídal hodnotu napětí v elektrickém okruhu vozu a v případě poklesu pod stanovenou hodnotu by byl generátor sepnut a fungoval by vynuceně.

Další možností je řízení spínání dobíjení pokud řidič sundá nohu z plynového pedálu. Při tomto druhu zapojení by byl vůz dobíjen i při jízdě z dlouhých kopců a celkově při výběhu vozu. Vlivem brzdného momentu generátoru by se ale výběhová dráha vozu snížila, popřípadě by nevyhovujícím způsobem klesala rychlost při jízdě z táhlých, nepřiliš prudkých klesání. Naopak vhodné by toto bylo do terénu s prudkým a dlouhotrvajícím klesáním, tedy do nějakých horských oblastí, kde by generátor nahrazoval funkci retardéru s tím rozdílem, že by vzniklá energie nebyla mařena, ale dobíjela by elektrický okruh vozu. Dnes už se doporučuje jízda z kopce se zařazeným rychlostním stupněm, kdy je úplně zavřen přívod paliva a tedy nulová spotřeba. Na neutrál se již z kopce příliš nejezdí, proto by takto byly využity téměř všechny situace, kdy je žádáno zpomalování vozu, nebo alespoň zabránění zvyšování rychlosti jízdy.

První i druhý systém mají své pro a proti. Je zřejmé, že každá z možností je vhodná do jiného terénu. První do městského provozu, kde se často zpomaluje a zastavuje, druhá naopak do členitého terénu.

Jednotlivé výhody a nevýhody prvního a druhého způsobu by pak dále vyžadovaly, aby byly vyráběny vozy speciálně pro provoz ve městě a mimo město. I když k podobným náznakům dochází, zákazníci budou vždy preferovat vůz, který mohou použít všude a za jakýchkoliv podmínek.

#### 4.2. Určení velikosti energie získané z brzdění

Energie, kterou spotřebuje vozidlo k akceleraci na určitou rychlost je z velké části mařena při brzdění. Část energie je potřebná na překonání jízdních odporů. Aby se dala určit energie, kterou bude možno akumulovat a následně použít jako zdroj elektrické energie pro elektrosystémy vozu, je třeba určit právě velikosti jízdních odporů při různých rychlostech vozu.

Pro teoretické výpočty budou potřeba různé údaje týkající se váhy a tvaru vozu. Pro tyto potřeby bude navržen imaginární vůz:

Hmotnost vozu	1500 kg
Součinitel odporu vzduchu	0,3
Čelní plocha vozu	2 m <sup>2</sup>
Součinitel vlivu rot. hmot	1,02
Elektrický odběr vozu	1500 W

Tab. 5.1. – Parametry imaginárního vozu

Pro orientační výpočty množství energie, které bude možno získat, se použije několik hodnot rychlostí, jimiž se vozy při daných jízdních režimech v různých lokalitách mohou pohybovat. Hledanou hodnotu získám ze známého vzorce pro pohybovou energii:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [\text{J}] \quad (1)$$

Pro výpočet je třeba užít hodnoty rychlosti v m/s.

Rychlost vozu před počátkem brzdění [km/h]	Pohybová energie při dané rychlosti [kJ]
30	52

50	145
70	284
90	469
130	978

Tab. 5.2. – Hodnoty kinetické energie

Veličinami, které budou potřeba k výpočtům, jsou dále zrychlení a doba do zastavení, nebo dráha na které vozidlo zastaví. Tyto veličiny jsou na sobě závislé a neovlivní velikost výsledné energie. Projeví se pouze tak, že při nižší velikosti zpomalení bude brzdění trvat déle a naopak. Velikost dráhy bude ale potřeba pro určení energie zmařené nebo dodané jednotlivými odpory, které působí jako síly na dráze zastavení. Vzorce ze kterých zjistím velikost dráhy:

$$t = \frac{v_2 - v_1}{a} \quad [\text{s}] \quad (2)$$

$$s = v_2 \cdot t - 0,5 \cdot a \cdot t^2 \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Proto je také jedna veličina volena, konkrétně zrychlení  $a = 2 \text{ m/s}^2$ .

Výpočty budou prováděny pro jízdu v městském provozu a pro provoz mimo město, jelikož každý má své specifické vlastnosti, které byly již dříve uvedeny.

#### 4.2.1. *Odpor ze stoupání*

Z hlediska odporu ze stoupání se budou muset uvažovat tři různé možnosti. Jednak brzdění po rovině, dále brzdění do stoupání a brzdění při jízdě z kopce. Odpor ze stoupání se vypočte podle vzorce:

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (4)$$

, kde  $m$  je hmotnost vozu,  $g$  tíhové zrychlení a  $\alpha$  úhel stoupání či klesání.

Při zpomalování do kopce bude tento odpor výslednou energii snižovat, při jízdě z kopce zvyšovat. Při jízdě po rovině se samozřejmě neprojeví.

#### 4.2.2. Odpor valení

Co do velikosti vůči ostatním jízdním odporům bude tento odpor nejmenší. Přesto se uvažovat musí. Ale vzhledem k jeho nízké hodnotě, která příliš neovlivní výsledně získanou energii není třeba uvažovat měnící se hodnotu součinitele odporu valení s měnící se rychlostí. Hodnota součinitele valení je zvolena  $f = 0,015$ .

Velikost odporu bude určena ze vzorce:

$$F_f = m \cdot g \cdot f \quad [\text{N}] \quad (5)$$

, kde  $m$  je hmotnost vozu,  $f$  součinitel odporu valení,  $g$  tíhové zrychlení.

#### 4.2.3. Aerodynamický odpor

Tento odpor závisí podle druhé mocniny na rychlosti vozu a při jízdě mimo město bude jeho hodnota převládat nad ostatními.

Rovnice pro výpočet aerodynamického odporu:

$$F_v = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S_x \cdot v^2 \quad [\text{N}] \quad (6)$$

, kde  $\rho$  je hustota vzduchu,  $C_x$  součinitel odporu vzduchu,  $S_x$  čelní plocha vozu a  $v$  rychlost vozu. Při změně rychlosti se ale mění i tato síla. Jelikož mě zajímá její hodnota během brzdění, rychlost se měnit bude a síla nebude stálá. Určím proto její střední hodnotu ze vzorce:

$$F_{stř} = \frac{1}{v} \cdot \int_{v_1}^{v_2} 0,048 \cdot c_x \cdot S_c \cdot v^2 dv = \frac{0,048 \cdot c_x \cdot S_c}{v} \cdot \left[ \frac{v^3}{3} \right]_{v_1}^{v_2} \quad [\text{N}] \quad (7)$$

#### 4.2.4. Odpor ze setrvačných hmot

Tento odpor působí na vozidlo při změně rychlosti, v případě brzdění se tedy musí uvažovat pokaždé. Určí se ze vztahu:

$$F_i = m \cdot a \cdot v \quad [\text{N}] \quad (8)$$

, kde  $m$  je hmotnost vozu,  $a$  zpomalení,  $v$  součinitel odporu setrvačných hmot.

#### 4.2.5. Výpočet energie získané při jízdě v městském provozu

Ve všech městech a vesnicích je u nás povolena maximální rychlost 50 km/h a v některých městských částech dokonce 30 km/h, proto budu počítat tyto změny rychlosti:

Počáteční rychlost [km/h]	Konečná rychlost [km/h]	Ujetá dráha [m]
50	0	48,2
50	30	30,8
30	0	17,4

Tab. 5.3. – velikost ujeté dráhy při brzdění z daných rychlostí v městském provozu

Ve městě se bude uvažovat stoupání 5°, proto výpočty pro každé brzdění budou provedeny pro jízdu po rovinně, do stoupání a při jízdě s kopce. Dále pak pro jízdu se zařazeným rychlostním stupněm a na neutrál, aby bylo zřejmé, kolik energie lze získat při jednotlivých druzích jízdních režimů. Tyto jízdní režimy se liší tím, že na vůz se zařazeným rychlostním stupněm působí navíc odpor z rotujících setrvačných hmot, tedy všech zařazených převodů a motoru. Tento odpor je po zjednodušení reprezentován součinitelem  $\upsilon$  ve vzorci pro odpor ze setrvačných hmot (9).

Energie se vypočítá tak, že se určí střední hodnota síly působící na vůz při brzdění. Ta se pak vynásobí dráhou, kterou vůz při brzdění urazí.

Celková síla působící na vůz při brzdění se získá ze vzorce:

$$F_c = F_v \pm F_S + F_f - F_i \quad [\text{N}] \quad (9)$$

Použitím vzorce pro celkovou sílu působící na vůz při brzdění se získají následující hodnoty uvedené v tabulkách.

Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
50 - 0	2815,28	1532,78	4097,77
50 - 30	2792,24	1509,74	4074,73
30 - 0	2830,64	1548,14	4113,13

Tab. 5.4. – Hodnoty průměrné síly působící na vůz v městském provozu se zařazeným RS

Na neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
50 - 0	2755,28	1472,78	4037,77
50 - 30	2732,24	1449,74	4014,73
30 - 0	2770,64	1488,14	4053,13

Tab. 5.5. – Hodnoty průměrné síly působící na vůz v městském provozu na neutrál



## Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
50 - 0	135696,26	73879,91	197512,60
50 - 30	86000,84	46499,94	125501,74
30 - 0	49253,05	26937,61	71568,49

Tab. 5.6. – Hodnoty energie získané při brzdění v městském provozu se zařazeným RS

## Na neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
50 - 0	132804,26	70987,91	194620,60
50 - 30	84152,84	44651,94	123653,74
30 - 0	48209,05	25893,61	70524,49

Tab. 5.7. – Hodnoty energie získané při brzdění v městském provozu na neutrál

U tohoto systému není možné uchovat veškerou energii z brzdění a to zejména díky tomu, že pro intenzivní brzdění by alternátor musel vykazovat velký brzdový moment, což by vyžadovalo velmi vysoké budící proudy a zřejmě i větší rozměry. Pro bude i nadále část energie při brzdění přeměněna na teplo, které bude následně odvedeno brzdovými kotouči. V samotném systému se musí uvažovat další ztráty díky účinnosti jednotlivých prvků. Pro názornost je vhodné uvést, na jak velký časový úsek by pokryla energie získaná z brzdění elektrickou spotřebu vozu. Pro tento příklad je zvolena celková účinnost přeměny energie v tomto systému 60%. Tato hodnota je orientační. V praxi by závisela nejen na konstrukčním provedení systému a kvalitě použitých prvků, ale také na tom, v jakém provozu by se vůz zrovna nacházel, a jaký druh jízdy by volil řidič.

Nejvyšší a nejnižší hodnota získané energie v městském provozu je 197,5 kJ a 25,8 kJ. Po zohlednění účinnosti rekuperačního systému získáme hodnoty 118,5 kJ a 15,48 kJ.

Vůz s odběrem 1500 W by se dal tedy z energie získané při běžném brzdění ve městě napájet od 10 do 79 sekund.

#### 4.2.6. Výpočet energie získané v provozu mimo město

Pro provoz vozu mimo město použijí tato zpomalení:

Počáteční rychlost [km/h]	Konečná rychlost [km/h]	Ujetá dráha [m]
130	90	169,5
90	0	156,25
90	50	108

Tab. 5.8. - velikost ujeté dráhy při brzdění z daných rychlostí při jízdě mimo město

Výpočty provedu jak pro zařazený rychlostní stupeň, tak pro jízdu na neutrál, dále pro stoupání 5° a 10°.

##### Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	2486,96	1204,46	3769,45
90 - 0	2761,52	1479,02	4044,01
90 - 50	2694,32	1411,82	3976,81

Tab. 5.9. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 5° se zařazeným R.S.

##### Na neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	2426,96	1144,46	3709,45
90 - 0	2701,52	1419,02	3984,01
90 - 50	2634,32	1351,82	3916,81

Tab. 5.10. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 5° na neutrál.

##### Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	421538,87	204155,67	638922,07
90 - 0	431486,72	231096,60	631876,84
90 - 50	290986,02	152476,37	429495,67

Tab. 5.11. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 5° se zařazeným RS

##### Na neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	411368,87	193985,67	628752,07
90 - 0	422111,72	221721,60	622501,84
90 - 50	284506,02	145996,37	423015,67

Tab. 5.12. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 5° na neutrál

## Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	2486,96	-68,28	5042,19
90 - 0	2761,52	206,28	5316,75
90 - 50	2694,32	139,08	5249,55

Tab. 5.13. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 10° se zařazeným RS.

Na  
neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	2426,96	-128,28	4982,19
90 - 0	2701,52	146,28	5256,75
90 - 50	2634,32	79,08	5189,55

Tab. 5.14. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 10° na neutrál.

## Se zařazeným RS

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	421538,87	-	854650,85
90 - 0	431486,72	32231,57	830741,86
90 - 50	290986,02	15020,86	566951,18

Tab. 5.15. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 10° se zařazeným RS

## Na neutrál

Rychlost	Rovina	Do kopce	Z kopce
130 -90	411368,87	-	844480,85
90 - 0	422111,72	22856,57	821366,86
90 - 50	284506,02	8540,86	560471,18

Tab. 5.16. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 10° na neutrál

Pokud opět provedu rozbor z hlediska časového pokrytí elektrického odběru vozu, tak pro nejvyšší hodnotu získané energie 854,65 kJ dostaneme čas 5,7 minuty a pro nejnižší hodnotu 146 kJ čas 87,6 sekundy.

### ***4.3.Schéma rekuperačního systému a přehled použitých prvků***

Generátorem elektřiny při brzdění by podle mého návrhu byl klasický alternátor, umístěný ale na vhodném místě v převodovém ústrojí tak, aby byl schopen zpomalovat vůz. Tento alternátor s cizím buzením by byl spínán čidlem buď na brzdovém nebo na plynovém pedálu, podle zvoleného systému.

Z generátoru by byl střídavý proud veden do měniče, zde by byl usměrňován a pokračoval do superkapacitoru, kde by se akumulovala elektrická energie. Následoval by pulzní měnič pro udržování stálé hodnoty napětí v elektrickém obvodu vozu a pak by proud buď dobíjel akumulátor vozu, nebo přímo dodával potřebnou elektrickou energii pro činnost elektrosystémů vozu. Vzhledem k tomu, že nelze tímto způsobem zajistit stálý přísun elektrické energie a mohlo by tedy dojít k tomu, že bude při jízdě bez brzdění elektrická energie zcela vyčerpána, čímž by se vůz stal nepojízdným, je třeba ještě přidat do systému nějaký jistící člen. Ten musí spustit alternátor v případě, že napětí v elektrickém obvodu vozu poklesne pod požadovanou hodnotu. V tuto chvíli by alternátor odebíral výkon z motoru a nedocházelo by k úspoře energie. Vzhledem k tomu, kolik má ale dnešní vůz elektronických systémů, tak je tato pojistka nezbytně nutná k dodržení jak spolehlivosti jízdy vozu, tak hlavně bezpečnosti jízdy.

U vozu by ale musely z hlediska dodržení bezpečnosti zůstat klasické brzdy v provedení buď kotoučových, nebo bubnových. Toto by bylo nutné při nečekaném intenzivním brzdění, kdy by alternátory jako zpomalovače nestačili. Dalším důvodem je i to, že dnešní vozy musejí mít alespoň dva na sobě nezávislé brzdové systémy.

#### ***4.3.1. Alternátor***

Alternátor je rotační generátor střídavého proudu. Budící magnetický tok je rotující a je vybuzen elektromagnetem. Skládá se ze statoru a rotoru.

Kvůli omezení vířivých proudů je stator z dynamových plechů. V drážkách statoru je pak uloženo třífázové vinutí. Konstrukce umožňuje dvě různá zapojení a to buď do trojúhelníku, nebo do hvězdy.

Rotor bývá proveden jako elektromagnet napájený přes kroužky kartáče regulovaným proudem. Díky tomu je možno měnit i napětí a proud, který alternátor indukuje.

Dnešní alternátory mají již zabudovaný i usměrňovač, ale vzhledem k tomu, že ideální by bylo umístit tento generátor v navrhovaném rekuperačním systému na hnací hřídele kol, co

nejblíže rozvodovce, je třeba dbát i na co nejmenší hmotnost generátoru. Proto je lepší usměrňovač střídavého proudu na stejnosměrný umístit až do míst, kde bude pevnou součástí karoserie a tedy odpérovanou hmotou.

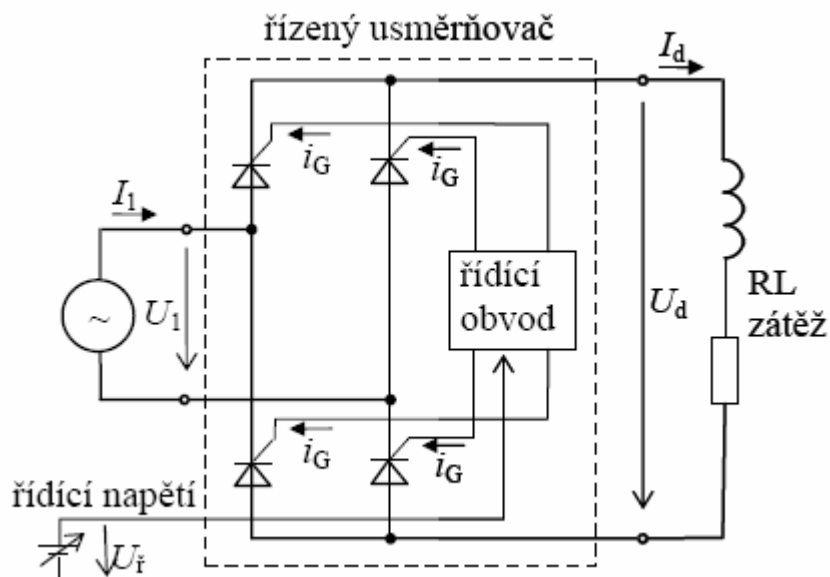
Rovnice napětí indukovaného alternátorem:

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}] \quad (10)$$

, kde  $\phi$  je magnetický indukční tok a  $t$  čas.

#### 4.3.2. Řízený usměrňovač

Řízený usměrňovač je polovodičový měnič, který využívá k usměrňování řízených polovodičových spínacích prvků - tyristorů. Vhodným zvolením okamžiku sepnutí tyristoru (tento okamžik se vyjadřuje řídicím úhlem  $\alpha$ ) se dosáhne změny střední hodnoty výstupního napětí. Jedná se o řízení fázové. Okamžik sepnutí tyristoru je dán okamžikem příchodu proudového impulsu do hradla tyristoru.



Obr. 5.1. – Řízený usměrňovač [[http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4\\_RSSS.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4_RSSS.pdf)]

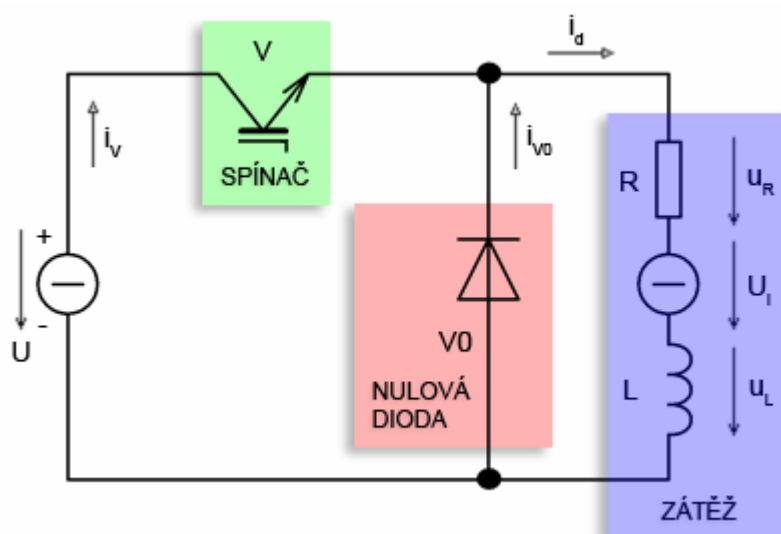
#### 4.3.3. Superkapacitor

Funkce superkapacitoru v systému je uchovávat okamžitou energii získanou při brzdění. Klasické akumulátory nejsou schopny v krátkých časech přeměnit dodanou energii z elektrické na chemickou. Podle potřeby by pak byla energie dodávána buď přímo do systému, nebo by nabíjela akumulátor.

Výrobci uvádějí, že nejlepší superkapacitory mají měrnou energii až 10 Wh/kg. Vzhledem k provedeným výpočtům, by hmotnost potřebného kapacitoru musela být v řádově několika desítkách kilogramů. Je třeba si ale také uvědomit, že vyrobená energie je nejen ukládá, ale zároveň je odebírána, což výslednou potřebnou kapacitu superkapacitoru snižuje.

#### 4.3.4. Pulzní měnič

Pulzní měnič je elektrosoučástka, která mění velikost napětí v závislosti na délce sepnutí odvodu. K tomu slouží elektronicky ovládaný spínač, nejčastěji tyristor, nebo tranzistor.



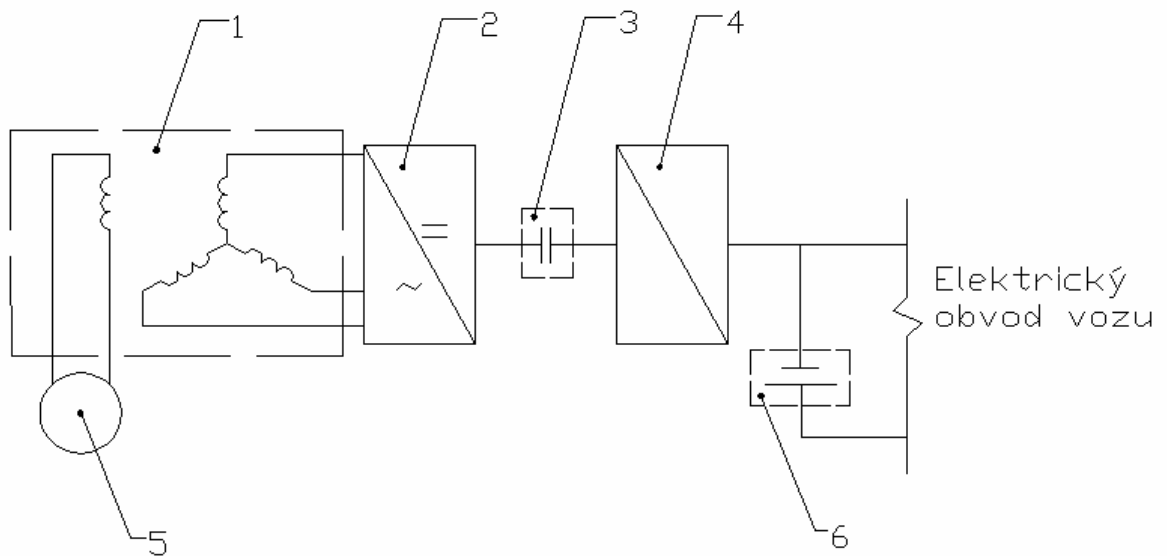
Obr. 5.2. – Pulzní měnič [<http://educon.zcu.cz/image/obsah/spm.gif>]

#### 4.3.5. Spínací prvky

Budící vinutí alternátoru by bylo spínáno buď čidlem polohy brzdového pedálu, nebo čidlem polohy plynového pedálu. Pokud tedy řidič sundá nohu z plynu, nebo sešlápne brzdový pedál, spíná budící vinutí alternátoru. Ten začíná brzdit a vytváří se elektrický proud a elektrická energie se ukládá v superkapacitoru.

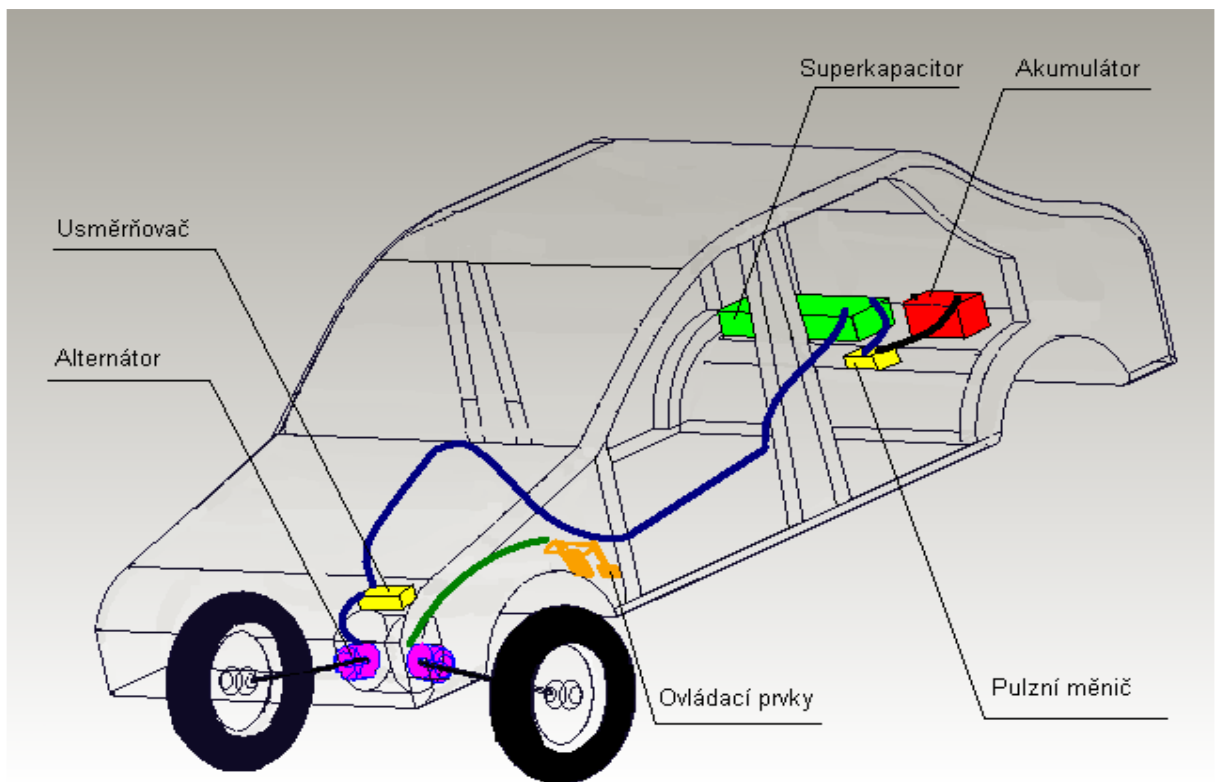
Další spínací prvek musí být umístěn v elektroobvodu vozu a fungovat tak, že pokud poklesne napětí v systému pod požadovanou hodnotu, je automaticky sepnut alternátor a to bez ohledu na to, zda vůz zpomaluje, či ne.

#### 4.3.6. Schéma obvodu a umístění na vozidle



Obr. 5.3. – Schéma navrhovaného systému

1. - Alternátor; 2. - Třífázový usměrňovač; 3. – Superkapacitor; 4. - Pulzní měnič; 5. - Spínací prvky; 6. - Akumulátor



Obr. 5.4. – Návrh umístění systému na osobní vozidlo

## 5. Závěr

Z provedených výpočtů jsem zjistil, že energie mařená při brzdění není zanedbatelná. Při použití alternátoru s dostatečně vysokým brzdícím momentem a superkapacitoru s potřebnou kapacitou elektřiny je tento systém teoreticky schopný brzdou energii měnit na elektrickou, ukládat ji a napájet pomocí ní elektrosystémy vozu.

K tomu, aby se dalo říci, že systém bude schopen napájet elektroobvod vozu pouze z elektřiny získané při brzdění, by bylo ještě potřeba zjistit, jak často se při jednotlivých jízdách režimech bude brzdit. Z výpočtů vyplývá, že nejvíce energie se získá při brzdění z vysokých rychlostí a to nejlépe z kopců. K tomuto brzdění ale v praxi nebude docházet tak často, jako třeba k brzdění ve městě, kde jsou ale hodnoty získané energie nižší.

Z hlediska ovládacích prvků by k samotnému určení počátku spínání buzení alternátoru stačil snímač polohy plynového pedálu, ale pro řízení velikosti budícího proudu, a tím tedy i velikosti brzdného momentu, by byl třeba i snímač polohy brzdového pedálu.

Očekávaným efektem zavedení systému do vozidel se spalovacím motorem by tedy byla snížená spotřeba vozu díky odstranění alternátoru jako zátěže motoru. Tím by došlo i ke snížení emisí vozu. Po případném doplnění systému ještě například systémem STOP AND GO, by docházelo k tomu, že po vyřazení rychlosti a zároveň zpomalování vozidla by z hlediska paliva byl energetický odběr nulový (vypnutý motor) a navíc by byla akumulována energie do superkondenzátoru.

Na druhé straně jsou tu ale i nevýhody. Jednak opět složitější konstrukce vozu, jeho elektrosystémů, a díky předpokládanému umístění alternátoru mezi hnací hřídele a rozvodovku i převodového ústrojí. Dalším záporem budou zcela určitě rozměry a hmotnost superkapacitoru. Ty budou pro potřebnou kapacitu dost velké. Omezí se tím prostor ve voze a zvýšením hmotnosti dojde ke zvýšení potřebného výkonu motoru a zpětnému zvýšení spotřeby. To ale bude dle odhadu nižší než snížení spotřeby díky rekuperaci brzdě energie.

Poslední věcí, která hovoří v neprospěch systému je zatím vysoká cena superkapacitoru a dalších elektronických prvků, jako například měniče. Došlo by tím ke zvýšení ceny vozu. Bylo by třeba tedy také zhodnotit, zda se systém vyplatí z ekonomického hlediska, tedy jestli očekávané zvýšení spotřeby nahradí počáteční náklady. Ale vzhledem k stále přísnějším emisním normám by mohlo dojít k tomu, že by byl systém užitečný a žádaný i v případech, že by z ekonomického hlediska nevyhovoval.



## 6. Použitá literatura:

- 1) Palivový článek. *Wikipedia* [online]. 2009 [cit. 2009-03-26]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD\\_%C4%8Dl%C3%A1nek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek)>.
- 2) HAMMERBAUER, Jiří. Akumulátory NiFe a NiCd. [online]. 2006 [cit. 2009-04-04], s. 2-3. Dostupný z WWW: <[http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/enz/Texty\\_folie/Texty/Akum\\_otevrene\\_NiFe\\_NiCd.pdf](http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/enz/Texty_folie/Texty/Akum_otevrene_NiFe_NiCd.pdf)>.
- 3) GRUNDFEST, Michal. Rekuperace energie je aktuální téma současnosti. *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2009-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=1211&mark=>>>.
- 4) VOKÁČ, Luděk. Auta na setrvačnik nejsou jen pro děti. Používat je budou i ve formuli 1. *Auto.idnes.cz* [online]. 2008 [cit. 2009-01-29]. Dostupný z WWW: <[http://auto.idnes.cz/auta-na-setrvacnik-nejsou-jen-pro-deti-pouzivat-je-budou-i-ve-formuli-1-1ks-/automoto.asp?c=A080818\\_104645\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/auta-na-setrvacnik-nejsou-jen-pro-deti-pouzivat-je-budou-i-ve-formuli-1-1ks-/automoto.asp?c=A080818_104645_automoto_vok)>.
- 5) VYSOKÝ, Petr. Perspektivy hybridních vozidel, *Automatizace* [online]. 2006, roč. 49, č. 12 [cit. 2009-02-12], s. 760. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1544>> (dále citováno jako Hybridní pohony).
- 6) Hybridní pohony, s. 760.
- 7) Hybridní pohony, s. 760.
- 8) Elektrodynamická brzda. *Wikipedia* [online]. 2009 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrodynamick%C3%A1\\_brzda](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrodynamick%C3%A1_brzda)>.
- 9) PAVELKA, Vladek. Rekuperační systém se superkondenzátorem. Praha, 2003. Disertační práce (PhD.). České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrických pohonů a trakce, 2003-03-3, [cit. 2009-01-26], s. 6 – 8, Dostupný z WWW: <[http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4\\_RSSS.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4_RSSS.pdf)>.
- 10) POLÁŠEK, Miloš. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ POČÁTKU HOŘENÍ U MOTORU S HOMOGENNÍM SPALOVÁNÍM. .. [online]. 2008 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <[http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/koka\\_pol.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/koka_pol.pdf)>.
- 11) Dokonalá příprava směsi znamená nízké emise. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, č. 10 [cit. 2009-03-13], s. 56. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/dokonala-priprava-smesi-znamena-nizke-emise>>.
- 12) Bohatší vybavení automobilů působí proti redukci jejich hmotnosti. *TipCar.cz* [online]. 2008 [cit. 2009-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.tipcar.cz/bohatsi-vybaveni-automobilu-pusobi-proti-redukci-jejich-hmotnosti-3671.html>>.
- 13) Kyselina křemičitá zásadně změnila vývoj pneumatik. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2009-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=363&mark=>>>.
- 14) GREGORA, Stanislav, MAŠEK, Zdeněk. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*. 1. vyd. [s.l.] : Univerzita Pardubice, 2008. 225 s.

## 7. Seznam obrázků

Obr. 2.1. – porovnání elektromobilů s akumulátorem a palivovým článkem.....	13
Obr. 4.1. – Řez superkapacitátorem .....	23
Obr. 5.1. – Řízený usměrňovač [ <a href="http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4_RSSS.pdf">http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap4_RSSS.pdf</a> ].....	34
Obr. 5.2. – Pulzní měnič [ <a href="http://educon.zcu.cz/image/obsah/spm.gif">http://educon.zcu.cz/image/obsah/spm.gif</a> ] .....	35
Obr. 5.4. – Návrh umístění systému na osobní vozidlo .....	36

## 8. Seznam tabulek

Tab. 4.1. – Srovnání parametrů akumulátoru, superkondenzátoru a kondenzátoru.....	23
Tab. 5.1. – Parametry imaginárního vozu.....	26
Tab. 5.2. – Hodnoty kinetické energie.....	27
Tab. 5.3. – velikost ujeté dráhy při brzdění z daných rychlostí v městském provozu.....	29
Tab. 5.4. – Hodnoty průměrné síly působící na vůz v městském provozu se zařazeným RS..	29
Tab. 5.5. – Hodnoty průměrné síly působící na vůz v městském provozu na neutrál.....	29
Tab. 5.6. – Hodnoty energie získané při brzdění v městském provozu se zařazeným RS.....	30
Tab. 5.7. – Hodnoty energie získané při brzdění v městském provozu na neutrál.....	30
Tab. 5.8. - velikost ujeté dráhy při brzdění z daných rychlostí při jízdě mimo město.....	31
Tab. 5.9. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 5° se zařazeným RS.....	31
Tab. 5.10. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 5° na neutrál.	31
Tab. 5.11. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 5° se zařazeným RS.....	31
Tab. 5.12. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 5° na neutrál.....	31
Tab. 5.13. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 10° se zařazeným RS.....	32
Tab. 5.14. – hodnoty průměrné síly působící na vůz při brzdění se stoupáním 10° na neutrál.....	32
Tab. 5.15. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 10° se zařazeným RS.....	32
Tab. 5.16. – hodnoty energie získané při brzdění se stoupáním 10° na neutrál.....	32