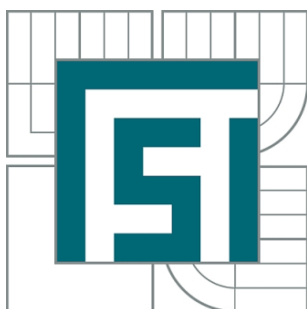


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

POMOCNÝ POHON SILNIČNÍCH HPV

ADDITIONAL DRIVE OF ROAD HPV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK KAPLAN, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Novák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

Pomocný pohon silničních HPV

v anglickém jazyce:

Additional Drive of Road HPV

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je studium problematiky pomocných pohonů vozidel poháněných lidskou silou a následná kompilace získaných poznatků s cílem vytvořit ucelený přehled moderních trendů vývoje v dané oblasti se zvláštním zřetelem na rekuperaci energie lidského pohonu.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit ucelený přehled moderních trendů vývoje a použití pomocných pohonů silničních HPV se zvláštním zřetelem na rekuperaci energie lidského pohonu.

Seznam odborné literatury:

Allan V. Abbott, David Gordon Wilson: Human Powered Vehicles

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 10.11.2010



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis moderních trendů v oblasti pomocných pohonů silničních vozidel poháněných lidskou silou. Zabývá se jejich základní konstrukcí, nejdůležitějšími součástmi, možnostmi rekuperace a naznačuje budoucí vývoj.

KLÍČOVÁ SLOVA

HPV, vozidlo poháněné lidskou silou, pomocný pohon, rekuperace, baterie, superkondenzátor,

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on the description of modern trends in additional drives of human powered vehicles study. It deals with the basic structures, the most important parts, recovery possibility and suggests future developments.

KEYWORDS

HPV, human powered vehicle, additional drive, recovery, battery, capacitor



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, Lukáš. Pomocné pohony silničních HPV. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 28 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Zdeněk Kaplan CSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Doc. Ing. Zdeňka Kaplana CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2011

.....

Lukáš Novák



PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou chci poděkovat své mamince a babičce, které mě neúnavně podporovaly během studia.



OBSAH

Úvod.....	9
1 Stručně z historie pomocných pohonů hpv.....	10
2 Legislativa.....	12
2.1 Legislativa pro hpv poháněné elektromotory.....	12
2.2 Legislativa pro hpv poháněné spalovacími motory.....	13
3 Elektromotor jako pomocný pohon.....	14
3.1 Asynchronní třífázový elektromotor.....	14
3.2 Akumulátory.....	15
3.2.1 Lithium Iontové (Li-Ion) a Lithium Polymerové (Li-Pol) akumulátory.....	16
3.2.2 Lithium-Železo-Fosfátový akumulátor (LiFePO ₄).....	17
3.2.3 Nikl Metal Hydridové akumulátory (NiMH).....	18
4 Spalovací motor jako pomocný pohon hpv.....	20
5 Rekuperace na silničních hpv.....	21
5.1 Superkondenzátor (kapacitor, superkapacitor).....	21
5.2 Představa ideálního pomocného pohonu s rekuperací pro hpv.....	23
6 Evropská nebo čínská hpv.....	24
Závěr.....	25
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	28



ÚVOD

V dnešní době stále silnějšího tlaku na ekologickou dopravu a snižování emisí se stále více rozvíjí odvětví vozidel poháněných lidskou silou (HPV = Human Powered Vehicles) a jejich pomocných pohonů. Z drtivé většiny se jedná o jízdní kola, která jsou běžnou součástí života moderního člověka. Především se jedná o dopravu na kratší vzdálenosti za prací, popř. delší vzdálenosti za účelem sportovního vyžití. Ovšem ne každý je dnes schopen, ač by rád, se takto dopravovat bez pomoci, a může jít o zdravotní problémy, pouhou fyzickou vyčerpávanost nebo jiný důvod.

První pokusy o motorizaci jízdního kola se objevovaly již v druhé polovině 19. století, ovšem k největšímu rozvoji tohoto oboru došlo až v 90. letech 20. století, kdy především ve východní a střední Evropě, které byly silné v průmyslové výrobě, a ekologie šla mnohdy stranou, se začaly uplatňovat nové trendy a snaha přimět obyvatelstvo smýšlet šetrněji k životnímu prostředí, ať už jde o třídění odpadů v domácnosti, snižování nákladů na energii, šetření přírodních zdrojů nebo právě dopravu. K využívání na rychlou dopravu na kratší vzdálenosti pomocí silničních HPV lidi přiměly jak již výše zmíněné důvody, tak i moderní přístup ke kultuře těla a zdravému pohybu a především velmi nízké náklady na pořízení a provoz. Oproti automobilům nebo dopravě hromadnými prostředky jsou výdaje na pořízení a údržbu prakticky zanedbatelné, na což dnes lidé slyší.

Hlavním tématem práce jsou však pomocné pohony a ne HPV samotné. V posledních 20 letech zažilo toto odvětví obrovský rozvoj. Z domácích pokusů o jednoduchou úpravu přidáním malého motoru se přešlo k výrobě ve velkých sériích. Dřívější snahy se omezovaly především na evropské země, ovšem s rozvojem podnikání se hlavním masovým producentem staly země z jihovýchodní Asie.

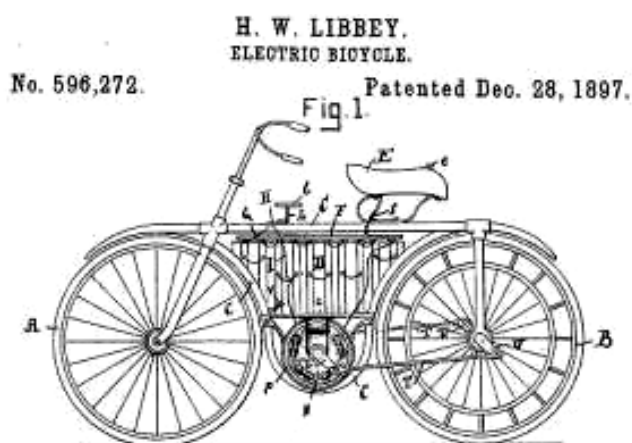
Podle zadání má tato práce zmapovat především moderní trendy v oblasti pomocných pohonů HPV. Za „HPV“ v tomto kontextu proto bude v celé práci považováno jízdní kolo, protože jde o nejrozšířenější prostředek tohoto druhu, pokud vyloučím pokusy jednotlivců či skupin o konstrukci speciálních silničních prostředků na lidský pohon, které spíše slouží jako technologické demonstrátory nebo speciální závodní stroje. Tyto pomocné pohony lze obecně rozdělit do dvou směrů, a to na pohon pomocí spalovacího motoru a pohon pomocí elektromotoru. V oblasti samotných motorů už všeobecně není co vyvíjet, výzkum se dnes specializuje spíše na zkoumání alternativních paliv u spalovacích motorů, ovšem od spalovacích motorů se spíše ustupuje, a vývoj stále lepších baterií a možnosti rekuperace u pohonů elektromotorem.

Na rekuperaci se zaměří poslední část této bakalářské práce. Jde o oblast, ve které je samotný vývoj v začátcích, i když se na trhu můžeme setkat s HPV, které jsou vybaveny s pohony elektromotory s rekuperací, ovšem jejich rekuperační schopnost je zatím do jisté míry omezená. Studium rekuperace energie pak zakončí návrh jednoduchého obvodu pro silniční HPV.



1 STRUČNĚ Z HISTORIE POMOCNÝCH POHONŮ HPV

První zmínky o pomocném pohonu pocházejí již z druhé poloviny 19. století, kdy došlo na první pokusy o zabudování parního stroje do šlapacích troj- a čtyřkolek. Toto řešení nebylo příliš efektivní. V roce 1876 přišla náhrada v podobě spalovacího motoru, který ke svému pohonu využíval benzín. Vývoj se poté rozdělil do dvou základních směrů, a to na motocykly, poháněné pouze motorem, a motorizovaná kola. Do přelomu 19. a 20. století si byly tyto směry velmi podobné, ovšem po tomto datu došlo k výrazné diferenciaci ve vývoji. Zatímco motocykly se dostaly více do zájmu veřejnosti a začaly se vyvíjet a vyrábět ve velkých sériích, tak jízdní kola s pomocnými pohony byly spíše záležitostí jednotlivců a nadšenců, kteří ve svých domácích dílnách osadili své cyklistické kolo motůrkem, mnohdy vlastní výroby. Stranou nezůstaly ani pokusy s elektromotory. Již v roce 1897 se objevil v USA patent Hosea Libbeyho, který namontoval na „dvojitý elektrický motor“, který byl namontován na střed osy klikové hřídele. [4]



Obr. 1 Kolo poháněné elektromotorem, sestrojil H.W.Libbey, r.1897 [4]

Pokračující pokusy o konstrukce HPV s pomocným pohonem se rozdělil do dalších dvou směrů, jeden se dále ubíral již popsány, málo zmapovaný, domácími konstrukcemi, a druhou skupinou se staly mopedy.

První továrny na sériovou výrobu jízdních kol s pomocnými pohony vznikly v 2. polovině 30. let 20. století ve Velké Británii, Itálii, Francii a Austrálii. Jejich výrobu však přerušila 2. světová válka a k oživení došlo až v průběhu 50. let. [6]

Na území našeho státu byl prvním známým výtvozem, který od roku 1938 vyvíjel a představil v r. 1944, elektrokolo sestavené Ing. H. Fügnerem. Na svém prototypu použil dynamo o výkonu 150W a napětí 24V. Jeho rychlost dosahovala na rovině až 14 km/h a po odpojení derivačního vinutí až 36 km/h. Zdrojem energie byla olověná baterie s kapacitou asi 75 Ah a dojezd je udávám až 70 km po rovině. Ovšem všechny výkony vyvažovala příliš vysoká hmotnost, která činila 140 kg. [4]



Od 2. poloviny 20. století se ve vývoji HPV poháněných pomocným pohonem uplatňují dva pohledy, kdy první upřednostňuje montáž přídavného pohonu na již stávající rám kola, kdežto druhý preferuje přizpůsobení rámu kola pro zvolený motor. Tyto dva směry se uplatňují paralelně dodnes. [6]

Jak již bylo řečeno v úvodu, největší „boom“ v oblasti pomocných pohonů HPV začal v 90. letech 20. století a pokračuje dodnes. Společně s tímto velkým rozvojem vznikla také potřeba jasně legislativně vyřešit možnosti provozu těchto prostředků na pozemních komunikacích, kdy vše nejprve řešily vyhlášky na národních úrovních a na přelom tisíciletí také vznikla centrální norma 2002/24/EC, která platí v celé Evropské unii a přijímají ji i státy mimo ni.

Samozřejmě, že spalovací motory a elektromotory nejsou jediné možnosti pomocného pohonu, které se zkoušely, nebo se s nimi experimentovalo. Existují také další možnosti uchovávání energie, například pomocí setrvačnicku nebo gumového svazku a mnoho dalších. Mimo motorů se zkoušely využít setrvačnický, ovšem ty už z principu jsou pro HPV jako pomocný pohon nepoužitelné, a to především kvůli své velké hmotnosti. Setrvačnický se ujaly spíše pro rekuperaci energie u automobilů, jak dnes můžeme vidět např. na systému KERS na vozech Formule 1.

Gumový svazek je teoreticky dobrý pro uchovávání energie, ovšem jeho realizace na silničních HPV nemožná, a to především proto, že energii nelze uchovávat dlouhodoběji a kvůli velkým silám, které by případně působily na rám poháněného stroje. Lze si to představit na balzových modelech letadýlek, které jsou poháněny gumovým svazkem, ovšem po vyčerpání energie není možnost dále energii dodat a letadlo přistává bez pohonu klouzavým letem. Z těchto a mnoha dalších důvodů se historický vývoj pomocných pohonů HPV soustředil z převážné většiny na výše popsané dva základní směry – spalovací motory a elektromotory.



2 LEGISLATIVA

2.1 LEGISLATIVA PRO HPV POHÁNĚNÉ ELEKTROMOTORY

Provoz HPV s elektromotory je na pozemních komunikacích upravován třemi základními dokumenty, a to Směrnicí evropského společenství O schvalování typu dvoukolových a tříkolových motorových vozidel, označované jako 2002/24/EC, a dále normou ČSN EN 15194 a vyhláškou Ministerstva dopravy ČR.

Směrnice Evropského parlamentu 2002/24/EC, která vstoupila v platnost dne 18. března 2002, se povinně vztahuje na všechna dvoukolová a tříkolová motorová vozidla, která jsou určena k používání na pozemních komunikacích, tedy nejen na elektrokola, ale také na HPV poháněná spalovacími motory. Tato směrnice však nezahrnuje jízdní kola s pedály, která definuje jako „jízdní kola, která jsou vybavena přídatným elektrickým motorem s maximálním trvalým výkonem 0,25 kW, jehož výkon je postupně snižován až do vyřazení motoru z činnosti, když vozidlo dosáhne rychlosti 25 km/h, nebo dříve, jestliže cyklista přestane šlapat“. Samotný pohon smí být v činnosti pouze při aktivním šlapání a akcelerátor uvede kolo z klidu pouze do 6 km/h. [1]

Norma ČSN EN 15194 (jinak známá jako EPAC – Standard for Electronically Power Assisted Cycles), která vstoupila v platnost v roce 2009, dále doplňuje směrnici 2002/24/EC a již konkrétně se zabývá skupinou elektrokol, které jsou z ní vypuštěny. Tato norma konkretizuje a upřesňuje požadavky na elektrické obvody, jeho součásti, ovládání a měření výkonů.

Vyhláška Ministerstva dopravy ČR č. 341/2002 sb., která je součástí Zákona o provozu na pozemních komunikacích, nakonec doladuje veškeré detaily, které platí všeobecně i pro nemotorová jízdní kola provoz na silnicích a cestách, tedy především povinnou výbavu, jako je osvětlení odrazky, zvonek, aj. [1]

Po splnění veškerých požadavků, které vyjmenovaná norma a směrnice ukládají, je následně z pohledu českého Zákona o provozu na pozemních komunikacích na takové elektrokolo pohlíženo jako na běžné jízdní kolo bez pomocného pohonu. S příslušnou výbavou je pak možno toto elektrokolo provozovat nejen na pozemních komunikacích, ale také na cyklostezkách a trasách určených výhradně pouze pro jízdní kola. K takovému elektrokolu pak není nutné řidičské oprávnění, pojištění zákonné odpovědnosti, technický průkaz a není omezeno věkem.

Nejdůležitější podmínky vyplývající ze zmíněných norem: [3]

- Při montáži elektromotoru není zasahováno do nosných částí konstrukce kola
- Maximální rychlost nepřesáhne 25 km/h, po překročení této max. rychlosti je pohon automaticky odpojen
- Maximální výkon elektromotoru nepřevyšší 1 kW
- Zůstává zachován původní charakter jízdního kola
- Není potřeba řidičské oprávnění ani jiné doklady
- Uživatelé mladší 18 let musí mít povinně cyklistickou přilbu



2.2 LEGISLATIVA PRO HPV POHÁNĚNÉ SPALOVACÍMI MOTORY

Pravidla pro konstrukci a provoz kol, která mají jako pomocný pohon spalovací motor, se řídí výhradně Vyhláška Ministerstva dopravy ČR č. 341/2002 sb., který je již zmiňován u legislativy elektrokol. Tato vyhláška dělí takto poháněná kola na motorizovaná jízdní kola, motokola (mopedy).

Hlavní rozdíl mezi těmito kategoriemi je ve funkci pohonu, kdy motorizovaná jízdní kola mají nadále jako primární pohon lidskou sílu a spalovací motor, montovaný formou odnímatelné nadstavby, pouze „ulehčuje“ jízdu. Oproti tomu motokolo (moped) má již spalovací motor jako hlavní druh pohonu, na kolo je připevněn jako zástavba, a mnohdy šlapání lidskou silou není zapotřebí, čímž již vypadává ze zařazení mezi vozidla poháněná lidskou silou.

Motorizované jízdní kolo musí z pohledu legislativy splňovat tyto základní podmínky: [16]

- Zachovává se původní charakter jízdního kola
- Maximální výkon motoru je 1 kW
- Maximální objem válce (popř. všech válců) nepřesáhne 50 cm³
- Maximální rychlost dosahuje 25 km/h
- Montáž motorové nadstavby nevyžaduje zásah do nosných částí konstrukce kola

V případě splnění těchto základních podmínek zákon nevyžaduje řidičské oprávnění, pojištění zákonné odpovědnosti a používání není omezeno věkem. Na takto poháněné HPV je ze strany zákona nadále pohlíženo jako na běžné jízdní kolo.

Motokola (mopedy) vznikají pevnou zástavbou pohonu a příslušenství do rámu kola, jedná se tedy o případ, kdy je již nutné osvědčení o schválení technické způsobilosti typu vozidla a na takový stroj je již potřeba řidičské oprávnění skupiny AM a pojištění zákonné odpovědnosti.



3 ELEKTROMOTOR JAKO POMOCNÝ POHON

Elektromotor je dnes nejpoužívanějším typem motoru pro pomocné pohony HPV a to díky svým nesporným výhodám oproti spalovacím motorům. Především jde o malé rozměry, snadnou montáž a údržbu, tichý chod a velmi nízké náklady na provoz. Obecně při pohledu na nabídky různých výrobců se nejčastěji vyrábí dva druhy uložení motoru, a to buď v rámu (popř. místo nosiče), nebo přímo v náboji kola.

Při uložení v rámu nebo na zadní nosič je točivý moment přenášen nejčastěji řemenem na náboj zadního kola, nebo v případě umístění na nosiči je také možnost přenosu pomocí třecího válečku (tato možnost se více využívá u spalovacích motorů). Existuje také méně rozšířená možnost umístění elektromotoru v blízkosti náboje pedálů, hned pod baterií, kde je přímo napojen na řetěz kola. Tuto možnost používá např. firma HB Bikes.

Stále více vyráběná a rozšířená verze pomocného pohonu elektromotorem je umístění elektromotoru přímo na náboj kola (přední i zadní) a baterie bývá připevněna na rám pod sedadlem cyklisty nebo opět na zadním nosiči. Točivý moment je tak přenášen prakticky beze ztrát. Z pohledu montáže jde o nejjednodušší možnost. Tato verze je vyráběna např. firmami Whisper, Agogs cityliner, Jetstream, Winora, aj.

Záměrně uvádím především evropské značky a vyhýbám se trhu jihovýchodní Asie, kde se v mnoha případech jedná o nekvalitní kopie evropských modelů.



Obr. 2 Kolo s elektromotorem umístěným v náboji zadního kola značky Jetstream (vlevo), Kolo s elektromotorem napojeným přímo na řetěz od společnosti HB Bikes (vpravo) [4]

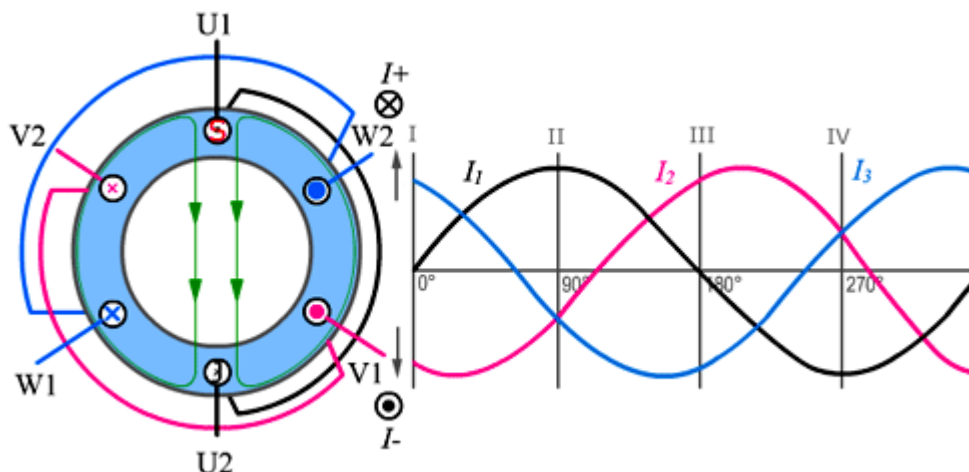
3.1 ASYNCHRONNÍ TŘÍFÁZOVÝ ELEKTROMOTOR

Asynchronní 3fázové bezkartáčové elektromotory jsou v současnosti nejvyužívanější při sériové výrobě moderních pomocných pohonů nejen jízdních kol. Jde o vůbec nejrozšířenější elektrotechnický stroj. Mají jednoduchou a robustní konstrukci, v nabídce výrobců jsou

motory ve velkém rozsahu výkonů. Je to bezkomutátorový točivý elektrický stroj, který je poháněn střídavým proudem, jehož konstrukce se skládá ze dvou základních částí – statoru a rotoru. Mezi nimi je realizován tok energie pomocí elektromagnetické indukce. [18]

Stator je nepohyblivá část elektromotoru. Tvoří jej elektrotechnické plechy, které jsou na sebe naskládány do tvaru dutého válce. Na vnitřním obvodu statoru jsou pak drážky, ve kterých je vedeno třífázové vinutí, které je vzájemně posunuté o 120° . Za čátky jednotlivých vinutí se značí U_1, V_1, W_1 a konce U_2, V_2, W_2 . [17]

Rotor je pohyblivá (rotující) část elektromotoru. Skládá se obvykle ze sady vodivých tyčí, které jsou uspořádány do válcové klece. Jejich konce jsou vzájemně spojeny vodivým materiálem. Rotor se pohybuje v magnetickém poli, které je generováno státorem a tím indukuje elektrický proud. Tento proud, který je v tyčích rotoru, pak vyvolává v magnetickém poli sílu, která samotným rotorem otáčí. Při běžném zatížení se rotor otáčí jinými otáčkami než točivé magnetické pole statoru, což je potřeba pro generování točivého momentu. Míra rozdílu těchto otáček se nazývá skluz a vyjadřuje se v procentech. [18]



Obr. 3 Vznik točivého momentu u třífázového asynchronního elektromotoru [17]

3.2 AKUMULÁTORY

V současné době je na trhu obrovské množství druhů akumulátorů elektrické energie pro elektromotory. U elektrokol staršího data výroby se stále velmi často můžeme setkat s bateriemi obsahující staré olověné baterie s kyselinou sírovou H_2SO_4 , popř. v omezené míře i nebezpečnými materiály jako rtuť nebo kadmium. U moderních elektrokol se od těchto baterií ustoupilo, a to především z důvodu jejich velké hmotnosti a velmi omezené možnosti recyklace. Starším druhům baterií se nebudu věnovat, protože v dnešní době se u nových výrobků nepoužívají. V současnosti jsou nejpoužívanějšími druhy především lithiové akumulátory (Li-Ion a Li-Pol), a NiMH (Nickel Metal Hydride). Hodně se očekává od baterií $LiFePO_4$ (Lithium Železo Fosfát), které jsou však teprve v raném stádiu testů a úprav pro silniční prostředky HPV. Všechny tyto baterie jsou ze skupiny Hermetických akumulátorů, což označuje



uzavřený plynotěsný článek, který neuvolňuje ani plyn, ani kapalinu, je-li provozován v mezních nabíjecích a teplotních podmínkách udaných výrobcem.

3.2.1 LITHIUM IONOVÉ (LI-ION) A LITHIUM POLYMEROVÉ (LI-POL) AKUMULÁTORY [8]

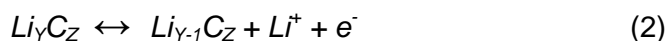
Lithiové baterie jsou dnes nejpoužívanějším druhem akumulátorů pro pohon elektrokol. V tomto případě se využívají hranolové (prizmatické) tvary článků. Vynikají především vysokou hustotou energie (až 200 Wh/kg) a díky tomu malými rozměry a nízkou hmotností. Jejich hodnota samovybití je menší než 8% za měsíc při +20°C a nemá paměťový efekt. Životnost těchto baterií se pohybuje v rozmezí 500 až 2000 cyklů, záleží na uživateli a jeho zacházení s nimi.

Nevýhodou lithiových baterií je především stárnutí nehledě na to, zda je využívána nebo ne. Rychlost stárnutí roste s rostoucí teplotou, stavem nabití a je ovlivňováno také velikostí nabíjecího a vybíjecího proudu. [10]

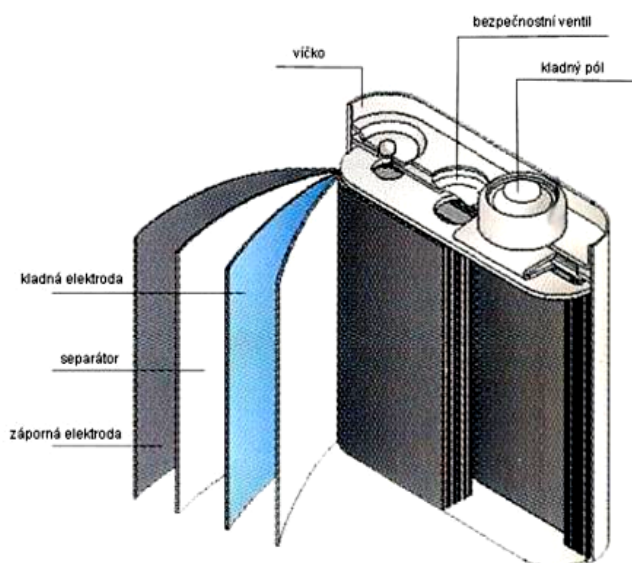
Dnes nejčastěji používanými materiály na kladné elektrodě jsou LiCoO_2 , $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$, LiNiO_2 , LiV_2O_5 , aj. a fungují na principu



kde „M“ je některý z kovů, které tvoří na aktivní sloučeninu na kladné elektrodě. Na záporné elektrodě probíhá děj podle rovnice



Jako elektrolyt je nejvyužívanější LiPF_6 rozpuštěný v nepolárním rozpouštědle.



Obr. 4 Řez prizmatickým Li-lontovým akumulátorem [8]

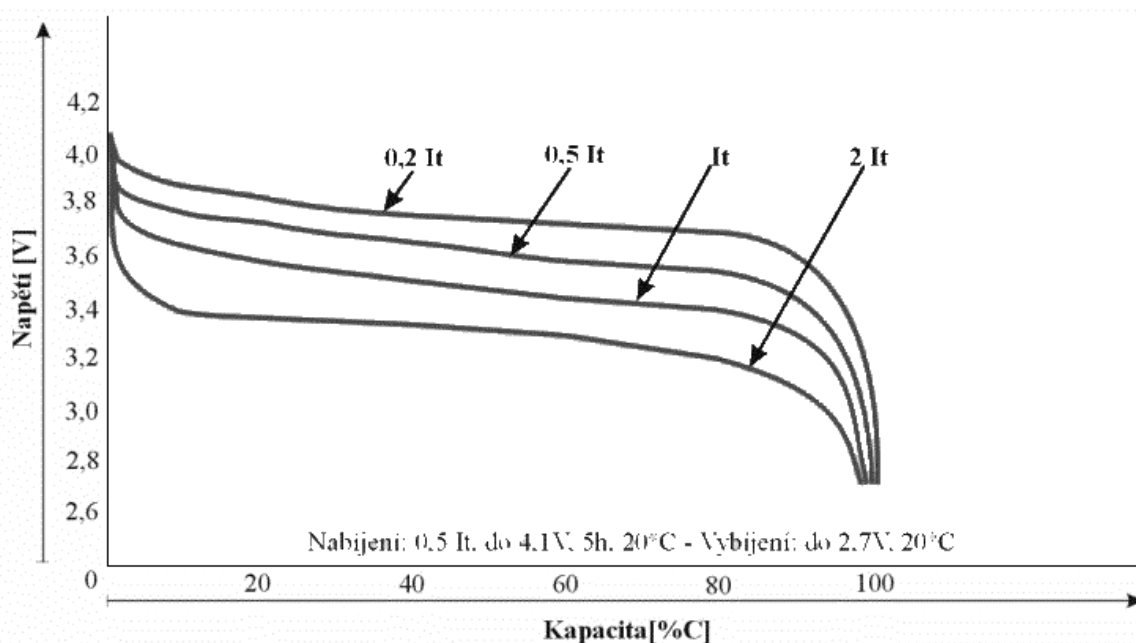


Li-Polové baterie se od Li-Ionových liší především nižší hmotností, protože neobsahují kovový obal a záporná elektroda je vedena ven pomocí pásu, stejně jako elektroda kladná. Li-Pol články se také dají omezeně mechanicky formovat (ohýbat). Polymerové akumulátory také nepotřebují bezpečnostní ventil, protože nehrozí nebezpečí úrazu při roztržení nebo deformaci článku, který je „zabalen“ jen v odizolované hliníkové fólii.

Optimální podmínky pro skladování lithiových baterií jsou 0°C až 25°C a vlhkost $65 \pm 20\%$. Ukládají se vždy v nabitém stavu. I přes malé samovybíjení se běžně doporučuje je jednou za půl roku nabít asi 50% jmenovité kapacity.

Nabíjení lithiových baterií má velký vliv na životnost a kapacitu, a to z důvodu citlivosti na velikost nabíjecího/vybíjecího proudu. Nabíjecí proud je většinou omezen na $1,5I_t$. Nabíjení se provádí konstantním napětím. Maximální vybíjecí proud je do $2I_t$. [8]

V průběhu vybíjení dochází k poklesu napětí, což je prospěšné pro sledování zbytkové kapacity akumulátoru. Lithiové akumulátory jsou velice náchylné na přebíjení a podvybíjení, proto většina baterií musí obsahovat řídicí elektronické obvody. Při poklesu napětí při vybíjení pod povolenou mez dochází k trvalému zničení akumulátorové baterie.



Obr. 5 Vybíjecí charakteristiky v závislosti na vybíjecím proudu pro Li-Ionový akumulátor SAFT MP 174865 [8]

3.2.2 LITHIUM-ŽELEZO-FOSFÁTOVÝ AKUMULÁTOR (LiFePO_4) [9]

Tento typ baterií je v současné době ještě v „plenkách“. Ač se řadí do skupiny Lithiových baterií, tak jim věnuji samostatný prostor, a to z důvodu stupně jejich vývoje a perspektivy, kterou představují v oblasti pohonu elektrokol. V současnosti se tyto články intenzivně testují. Již nyní se projevují silné pozitiva tohoto druhu článků. Jde především o velmi rychlou absorpci a výdej energie, vynikající teplotní a chemickou stabilitu. Oproti Lithiovým bateriím je



schopna dodat vyšší proud a má větší počet nabíjecích cyklu, a to vše při nižších výrobních nákladech. Na druhou stranu mají nižší napětí (nominální napětí 3,0 – 3,3 V) a nižší hustotu energie, kvůli čemuž jsou rozměry baterie větší.

Životnost tohoto typu baterií je udávána více než 2000 nabíjecích cyklů. Samovybíjecí efekt prakticky neexistuje a lze je využívat v rozmezí teplot -45°C až $+85^{\circ}\text{C}$.

Důležitým je u těchto baterií přínos v oblasti bezpečnosti, kdy díky silné vazbě kyslíku a fosfátu (ve srovnání s kobaltem) prakticky neuvolňuje kyslík, a tedy jsou prakticky nehořlavé a mají vyšší chemickou stabilitu.

Už z názvu je jasné, že na katodě se nachází materiál LiFePO_4 , na anodě pak je uhlík. Reakce na katodě i anodě se řídí podle rovnic v kapitole 3.2.1 *Lithium Ionové (Li-Ion) a Lithium Polymerové (Li-Pol) akumulátory*. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky jsou téměř stejné jako u ostatních Lithiových baterií (viz obr.5. na str.17).

3.2.3 NIKL METAL HYDRIDOVÉ AKUMULÁTORY (NiMH) [8]

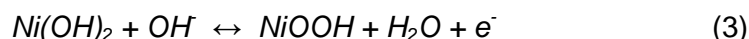
NiMH baterie jsou v oblasti elektrokol často využívané hlavně díky své schopnosti rychlého nabíjení, vysoké spolehlivosti a především vysokou kapacitou. Tyto články jsou konstruovány až na 500 nabíjecích cyklů a poté může být repasována. Stejně jako Lithiové baterie i NiMH nemají paměťový efekt.

Oproti Li článkům mají ovšem NiMH vyšší hmotnost a výrazně větší samovybíjení. Ovšem dnes se také vyrábí NiMH akumulátory s nízkým samovybíjením, které se označují jako RTU baterie (Ready To Use).

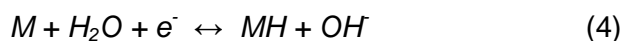
Nikl Metal Hydridové akumulátory jsou na trhu relativně krátkou dobu a vývoj jde rychle vpřed, takže charakteristiky se stále zlepšují a nedostatky se rychle odstraňují, takže popis, který zde předkládám, může být v krátké době zastaralý. Dnes je již možné se setkat s NiMH akumulátory, které jsou schopny dát vybíjecí proud odpovídající několikanásobku jmenovité kapacity akumulátoru. NiMH akumulátory postupně nahrazují starší NiCd baterie.

Optimální podmínky pro skladování těchto baterií jsou $+5^{\circ}\text{C}$ až $+25^{\circ}\text{C}$ a vlhkost $65 \pm 20\%$. Skladují se v nabitěm stavu a každých 6 měsíců je potřeba je nabít 50% jmenovité kapacity. Při nedodržení této podmínky může dojít k pasivaci elektrod, což znamená vytvoření kompaktní vrstvy na povrchu elektrod, která zabraňuje přístupu iontů elektrolytu.

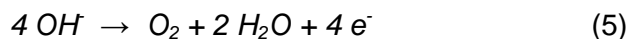
Kladná elektroda NiMH akumulátoru funguje podle rovnice



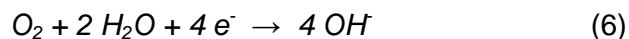
Záporná elektroda obsahuje jako aktivní látku kovovou slitinu (M), která během nabíjení a vybíjení uvolňuje vodík dle rovnice



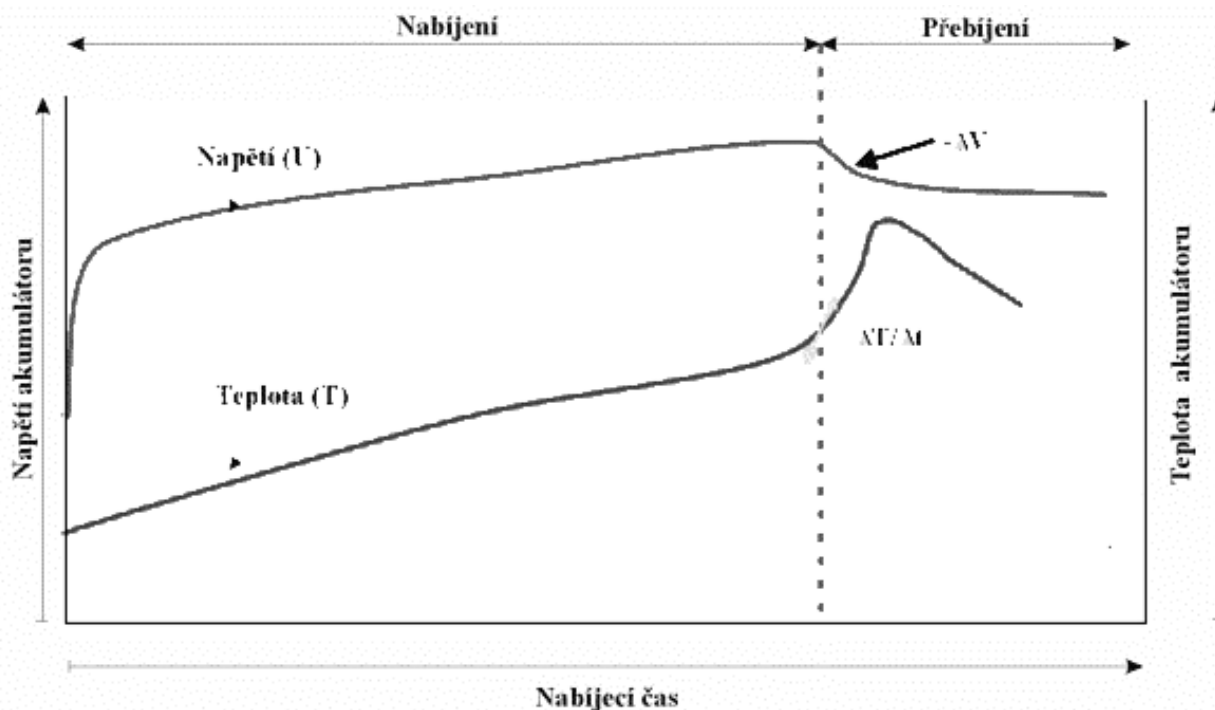
Jestliže dochází k přebíjení, pak se na kladné elektrodě uvolňuje kyslík dle rovnice



Je potřeba, aby byl akumulátor zkonstruován tak, aby po dosažení plné kapacity zůstala část aktivní hmoty záporné elektrody nenabitá. Kyslík, který vzniká při přebíjení na kladné elektrodě, prochází porézním separátorem na zápornou elektrodu, kde je redukován dle rovnice



Plynný kyslík je takto vázán, současně je oxidována aktivní hmota záporné elektrody, která pak nemůže být plně nabita a nedochází tak na ní k vývinu vodíku v průběhu přebíjení. Tento děj se nazývá rekombinace a umožňuje hermetizaci NiMH akumulátorů.



Obr. 6 Průběh nabíjení NiMH baterií [8]



4 SPALOVACÍ MOTOR JAKO POMOCNÝ POHON HPV

Spalovací motor byl prvním typem pohonu, který se začal uplatňovat jako pomocný pohon vozidel poháněných lidskou silou. Ať už původně šlo o spalování svítiplynu, zemního plynu, benzínu a jiných pohonných hmot. V dnešní době se používají jak 2takovní, tak 4takovní benzínové motory, a to ve formě jednoduché nástavby v místě zadního nosiče kola.

Spalovací motory jsou jako pomocné pohony v současné době na ústupu a vytlačovány elektromotory. V porovnání jsou spalovací motory mnohem hlučnější, poruchovější a nákladnější na provoz, což nevyváží ani nižší pořizovací cena. Z těchto důvodů se dnes již nevyplácí konstruovat poháněné silniční HPV se zabudovaným spalovacím motorem. Takovéto konstrukce dnes na cestách potkáme výjimečně a jsou především prací domácích kutilů.

2takovní motory jsou méně používaná volba pro pomocný pohon spalovacím motorem, přesto stále velmi rozšířená. V porovnání se 4takovním motorem jsou méně výkonné, mají větší spotřebu a menší dojezd. Na nadstavby se nejčastěji používají 2D motory do objemu 26 cm³, protože větší objemy již přesahují výkon, který je stanoven normou (viz. kapitola 2.2 Legislativa pro HPV poháněné spalovacími motory). Jako pohonná hmota se používá směs bezolovnatého benzínu (Natural 95) a motorového oleje v poměru 50:1. [13]

4takovní motory jsou hojněji využívanou volbou pomocného spalovacího motoru pro HPV. Používají se motory do objemu 36 cm³, což je opět omezeno normou. Oproti 2D motorům se vyznačují vyššími výkony a především nižší spotřebou, což umožňuje větší dojezd. Jako palivo se používá běžně dostupný Natural 95. [13]

Motorové nástavby se konstruují pokud možno co nejjednodušeji, tak, aby byl každý schopen provést montáž sám. Standardní části sestavy lze vidět na obr. 7, která je produkována formou Motokola výroba s.r.o. Nejdůležitější součástí je samostatný motor s nádrží, pak U-profil s ložisky pro třecí váleček, akcelerátor, kvalitní pneumatiku a další drobnosti pro co nejsnadnější instalaci. Další významnou firmou na území ČR je Bodeček industries s.r.o.



Obr. 7 Sestava nástavby s pomocným pohonem od firmy Motokola výroba s.r.o [16]



5 REKUPERACE NA SILNIČNÍCH HPV

S rozvojem elektromotorů jakožto pomocných pohonů HPV a rozšiřujícím se ekologickým trendům vyvstala také v tomto oboru otázka, jak využívat energii, která je za jiných okolností ztracená během brzdění. Pro pohony spalovacími motory je systém rekuperace zbytečný, protože by bylo třeba použít dodatečný elektromotor/generátor a baterie. Z tohoto důvodu se od začátku myšlenky vývojářů upírají k elektrokolům. Proces rekuperace energie je již dlouhá léta zkoumán a využíván především v automobilovém průmyslu a u elektrických železničních lokomotiv, ovšem v oblasti HPV je tato myšlenka velmi mladá. Prozatímni výsledky neprokázaly tak vysokou účinnost, jaká se od těchto systémů očekává. Současné vyráběné elektrocola, která jsou vybavena systémem rekuperace, jsou podle svých výrobců schopny vrátit zpět do baterií maximálně 15% původně vydané energie, většinou však méně. Rekuperaci využívají také kola s olověnou baterií, avšak účinnost se pohybuje na hranici měřitelnosti 3-4%. Vzhledem k tomu, že olověné akumulátory se dnes prakticky nepoužívají, tak je zbytečné věnovat jim více místa. [5]

Důvodem malé účinnosti a prozatímniho malého využívání u pomocných pohonů HPV je především způsobena malou hmotností těchto dopravních prostředků. U automobilů je účinná rekuperace umožněna díky větší hmotnosti, větší kapacitě baterií, a v neposlední řadě také aerodynamickému tvaru karosérie. To jsou vlastnosti, které člověkem poháněný stroj nemůže splňovat, protože by jej lidská síla jednoduše fyzicky nezvládala. [5]

Přes všechny tyto zjevné nevýhody se již na trhu objevují elektrocola s rekuperačními systémy, které pro svou funkci využívají superkondenzátor (kapacitor). Jedná se však prozatím o cenově náročnou investici. Takový rekuperační obvod se aktivuje během jízdy z kopce, po stisknutí brzdové páčky. V tu chvíli se z elektromotoru stává generátor elektrické energie, která se hromadí v kapacitoru a poté postupně směřuje do baterií. Důvod takového uspořádání je ten, že kapacitor je schopen se velmi rychle nabíjet, kdežto bateriím trvá nabíjení déle, avšak mají větší kapacitu. V některých případech se dá jako generátor použít také dynamo, které se umísťuje nejčastěji do náboje kola.

5.1 SUPERKONDENZÁTOR (KAPACITOR, SUPERKAPACITOR)

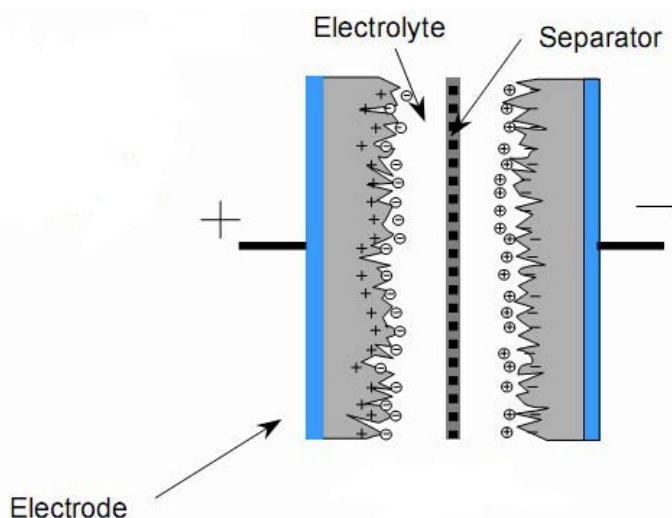
Superkondenzátory jsou dnes nejběžněji používaná součást rekuperačních obvodů v oblasti dopravní techniky, ať už jde o automobily, trolejbusy, nebo pomocné pohony HPV. Elektrochemické superkondenzátory jsou elektrotechnické součástky, které jsou schopny akumulovat, udržet a vydat velké množství elektrické energie. Dnes vyráběné superkondenzátory mají kapacitu v řádech tisíců faradů a nabíjecí/vybíjecí proud od jednotek po stovky ampér.

Princip funkce, popsáný již v roce 1856 K. Hemholtzem, je založen na tzv. elektrochemické dvouvrstvě (dielektriku), z tohoto důvodu se také označují jako EDLC (Electrochemic Double Layer Capacitor). Tloušťka dielektrika je řádově 10^{-10} m. Jednu vrstvu tvoří elektroda z hliníkové fólie a druhou vrstva aktivního uhlíku na její vnitřní straně. Obě elektrody kapaci-



toru jsou odděleny separátorem, který je nejčastěji vyroben z polypropylenové fólie. Elektrolyt, který je mezi elektrodami, tvoří směs rozpouštědla a rozpustné soli, která zajišťuje transport nabitých částic superkondenzátorem. [14]

Aktivní uhlík je nejčastěji ve formě prášku, aerogelu nebo uhlíkového polymeru. Uhlík v práškové formě na povrchu vytváří pórovitou vrstvu, čímž se zvětšuje jeho plocha a je schopna vázat více energie. Uhlíkový aerogel je pevný materiál, kde byla tekutá složka gelu nahrazena vzduchem, čímž získal nízkou hustotu. Pro využití aktivního uhlíku v kapacitorech je dnes nejintenzivnější výzkum veden v oblasti uhlíkových nanotrubic, díky kterým lze získat ještě větší povrchy pro udržení více energie. [14]



Obr. 8 Struktura superkondenzátoru [14]

Oproti akumulátorům má superkondenzátor výhodu především vysokého nabíjecího a vybíjecího proudu, rychlé reakce na změny při nabíjení a vybíjení, energii ukládá pouze s nepatrnými ztrátami a nemá omezená počet nabíjecích cyklů. Oproti bateriím však má stále malou energetickou hustotu a ceny nepohybují vysoko.

Kapacitor svými vlastnostmi zapadá do mezery mezi akumulátory a běžné elektrické kondenzátory. Oproti akumulátorům má vyšší výkonovou hustotu (v řádech až desítek kW/kg) a v porovnání s kondenzátory dosahuje vyšších energetických hodnot (jednotek kW/kg). Srovnání s běžným kondenzátorem a akumulátorem je v tabulce č. 1. [14]

Tab. 1 Porovnání vlastností akumulátoru, kapacitoru a elektrolytického kondenzátoru [14]

	Olověný akumulátor	Kapacitor	Elektrolytický kondenzátor
Doba nabíjení	(1 ÷ 6) h	(0,3 ÷ 30) s	(10^{-3} ÷ 10^{-6}) s
Doba vybíjení	(0,3 ÷ 3) h	(0,3 ÷ 30) s	(10^{-3} ÷ 10^{-6}) s
Energetická hustota	(10 ÷ 100) Wh/kg	(1 ÷ 10) Wh/kg	< 0,1 Wh/kg
Výkonová hustota	< 1 000 W/kg	< 10 000 W/kg	< 100 000 W/kg
Počet cyklů	1 000	> 500 000	> 500 000
Účinnost	0,7 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,98	> 0,95



5.2 PŘEDSTAVA IDEÁLNÍHO POMOCNÉHO POHONU S REKUPERACÍ PRO HPV

Zde je předložena má představa ideálního pomocného pohonu s rekuperací silničních HPV, která je vytvořena na základě studia samotných pomocných pohonů a problému rekuperace a konzultace s vedoucím bakalářské práce.

Základním předpokladem je konstantní námaha uživatele takového dopravního prostředku. Stejně jako spalovací motor nejefektivněji a s nejmenší spotřebou pracuje v konstantních otáčkách, tak stejně i lidské srdce pracuje nejlépe při konstantním fyzickém zatížení. Dopravní prostředek by tedy měl být sám na základě určitých informací rozpoznat, kdy je potřeba motor zapnout nebo vypnout. Rekuperace by neměla být závislá pouze na stisknutí brzdové páčky, jak je tomu nejčastěji u dnešních výrobků, ale měl by se dobíjet neustále. K tomuto účelu by mělo být použito dynamo, čímž se zajistí dodávání energie také v dalších jízdních režimech, nejen při jízdě z kopce. Elektromotor by si zachoval nadále schopnost generovat energii při jízdě z kopce. Energie generovaná dynamem, při jízdě z kopce také elektromotorem, by se přemísťovala do superkondenzátoru na dočasné uložení, a odtud by se dále dobíjel lithiový akumulátor, který má daleko větší kapacitu. Samotné dynamo může být umístěno kdekoliv, kde je konán rotační pohyb, tedy pokud bude elektromotor v náboji zadního kola, pak dynamo lze instalovat do náboje předního kola, kde jsou zajištěny prakticky stejné otáčky jako na kole zadním. Dynamo by mohlo být umístěno i u hřídele pedálů, ovšem tam by bylo dobíjení méně efektivní, a to z důvodu nižších otáček, které by vyžadovalo konstantní zatížení organismu.

Funkce elektromotoru by nebyla závislá na tom, kdy se člověk rozhodne jej zapnout, jak je tomu dnes, ale spouštěl by se na základě senzoru otáček, který by byl umístěn na hřídeli pedálů. Důležitou funkci by zde hrála jednoduchá řídicí jednotka, která by na základě informací z tohoto senzoru o otáčkách hřídele ovládala elektromotor, který by byl spouštěn při snížení otáček pod určitou hranici a dále by progresivně pomáhal jezdcovi v závislosti na těchto otáčkách, čímž by byla ošetřena funkce samotného pomocného pohonu ve všech jízdních režimech. Při překročení určité horní meze otáček by se zase elektromotor vypnul, aby se šetřila elektrická energie v bateriích. K vypnutí pomocného pohonu by také došlo při překročení rychlosti 25 km/h, jak stanovuje norma.

Zmíněné hranice počtu otáček hřídele by se musela experimentálně stanovit tak, aby srdce i svalstvo jezdce bylo rovnoměrně zatížené. Ovšem každý člověk má tyto hranice jinde, závisí to především na vlastním zdravotním stavu a fyzické kondici. Kvůli vyřešení tohoto problému by měla řídicí jednotka nejspíše volbu z několika základních stupňů pomoci, v závislosti na stavu jedince.

Samozřejmě že toto je pouze představa ideálního systému, který by při realizaci dosahoval vysokých nákladů a i přesto by hlavně systém rekuperace kinetické energie nedosahoval účinností, které by se vyrovnaly prostředkům do něj vloženým. Ovšem jako myšlenka a vodítko by mohla být podkladem pro případný vývoj budoucích systémů pomocných pohonů s rekuperací pro HPV.



6 EVROPSKÁ NEBO ČÍNSKÁ HPV [19]

Na trhu s HPV poháněnými pomocnými pohony je mnoho konkurenčních značek, které se snaží získat zákazníky. Pokud se budeme soustředit právě na evropský trh, pak můžeme výrobce rozdělit na dvě základní skupiny, a to značky evropské, a značky pocházející z Číny nebo jiné části jihovýchodní Asie.

Evropští výrobci jsou zaměřeni především na soulad výrobků s evropskými a národními normami, kvalitní zpracování, technickou vyspělost, bezpečnost během provozu, funkčnost, komfort a další kritéria, které dnešní náročný zákazník požaduje. Samozřejmě po splnění těchto požadavků a kritérií se ceny šplhají směrem vzhůru, kde u nadstaveb se spalovacími motory začínají okolo 15 000,- Kč, u elektrokol na 20 000,- Kč, a šplhají až k 70 000,- Kč. V západní Evropě se již ceny kol s pomocnými pohony postupně srovnávají s běžnými jízdnicími koly bez pohonu. V České republice jsou zatím ceny nesrovnatelně vyšší, ovšem v posledních letech lze vidět sestupný trend, který postupem času bude směřovat ke srovnávání cen jako v západní Evropě.

Čína (a další země jihovýchodní Asie) jsou na první pohled v porovnání s evropskými značkami nesrovnatelně větším producentem poháněných kol, a to především elektrokol. Ovšem kvantita je vykoupena odlišnou kvalitou, tím je míněno mnohem nižší. Prioritou těchto výrobců je nízká cena, čemuž odpovídá nízká kvalita dílenského zpracování, nedostatečná výbava, omezená funkčnost a nižší pohodlí. Důležitým faktorem je též ekologické chování těchto společností. Zatímco evropské firmy jsou důsledně kontrolovány na základě norem, tak čínské firmy tento problém řeší s větší benevolencí. Jde především o výrobu a následnou ekologickou likvidaci baterií, která pro čínské výrobce prioritou není, neboť nepodléhá tak důsledné kontrole jako v Evropě a tím může nabídnout také nižší cenu. Po dovozu do Evropy bývá běžnou praxí, že prodejci prodávají tato kola pod svou značkou, tedy polepí rám svými samolepkami a značkami, které se mnohdy podobají značkám evropských výrobců. Tím by se dalo říci, že dochází ke klamání zákazníka. Taková kola s pomocným pohonem se cenově pohybují v rozmezí asi 10 000 – 30 000,- Kč, což je nesrovnatelně méně oproti cenám evropských značek.



ZÁVĚR

Současným trendem v oblasti pomocných pohonů HPV směřuje jasně k většinovému využívání elektromotoru a postupnému vytlačování spalovacích motorů. Po průzkumu webových stránek výrobců a navštívení několika obchodů (kde mj. velmi neradi poskytovali jakékoliv informace) jsem zjistil, že dochází k silné unifikaci těchto dopravních prostředků, kdy průmyslový vývoj je veden ve dvou základních směrech. První, který je převažující, je každoroční sezónní konstrukce nových typů elektrokol, kdy systém pomocného pohonu zůstává stále stejný a pracuje se pouze na designu a doplňkovém vybavení. Druhý směr, který je v pozadí všeho, avšak mnohem důležitější, je vývoj samotného pohonného systému. Tento směr se soustředí především na vývoj baterií s co největší kapacitou a malými rozměry pro co největší dojezd a na rekuperaci kinetické energie, která je však v tomto oboru na úplném začátku a to, co platí dnes, může být za půl roku jinak. Elektromotory samotné jsou již na takové úrovni, že není potřeba vývoje. Jediné, co se řeší je jejich uložení na prostředku HPV.

Jelikož obor pomocných pohonů, jak je známe dnes, je docela mladý, tak neexistuje žádná ucelená literatura k tomuto tématu. Veškeré informace byly čerpány především z internetových zdrojů, obchodních katalogů a vlastních poznatků, které jsem načerpal při návštěvách specializovaných prodejen.

O studiu rekuperace u silničních HPV platí totéž. Rekuperace energie se dnes úspěšně uplatňuje v jiných oblastech osobní i nákladní dopravy, jako jsou vlaky, automobily, aj., ovšem z již popsaných důvodů jsou na vozidlech poháněných lidskou silou prozatím spíše výjimkou. Ač dnes můžeme na trhu narazit na kola s elektromotorem a rekuperací, tak za současného stavu vývoje je investice do podobného dopravního prostředku zbytečná, protože efektivita je velmi nízká.

V dnešní době prosazování ekologické dopravy a snahy lidí více dbát o své zdraví díky pohybu jsou HPV jedny z nejčastěji volených variant pro dopravu i sport, avšak ne každý člověk si může dovolit naplno využívat potenciál jízdních kol bez pomocného pohonu, ať už ze zdravotních nebo jiných důvodů. Pomocné pohony se díky tomu stávají nejen volbou, ale také do jisté míry potřebou. Tyto dopravní prostředky vyplňují mezeru mezi běžnými cyklistickými koly a mopedy a dalšími náročnějšími motorovými prostředky, na které je navíc nutno mít řidičské oprávnění, což zvyšuje jejich prodejní potenciál na neustále se rozvíjícím trhu.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Legislativa okolo elektrokol [online], poslední revize 5/2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://ekolo.cz/legislativa-okolo-elektrokol>>
- [2] Legislativa o provozu jízdních kol vybavených pomocným spalovacím motorem na území ČR [online], poslední revize 5/2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.motokola.cz/htmls/legislativa.htm>>
- [3] Legislativa [online], poslední revize 2011, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.evehicle.cz/?stranka=legislativa>>
- [4] Stručná historie elektrokol [online], poslední revize 5/2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://ekolo.cz/historie>>
- [5] Fenomén elektrokola [online], poslední revize 10/2008, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.hybrid.cz/clanky/fenomen-elektrokola>>
- [6] Motorizované kolo [online], [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://motorizovane-kolo.navajo.cz/>>
- [7] Baterie (akumulátory) pro elektrokola [online], poslední revize 2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://ekolo.cz/baterie2>>
- [8] Hermetické akumulátory [online], poslední revize 10/2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.battex.info/?id=4>>
- [9] Lithium-železo-fosfátový akumulátor [online], poslední revize 6/2010, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>
- [10] Lithium-iontový akumulátor [online], poslední revize 4/2011, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>
- [11] Lithium-ion polymer battery [online], poslední revize 5/2011, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_polymer_battery>
- [12] Nikl-metal hydridový akumulátor [online], poslední revize 4/2011, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>



- [13] Bodeček Industries s.r.o. [online], [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.bodecek.com/cz/main.phtml>>
- [14] Superkapacitátory v dopravní technice [online], poslední revize 4/2008
[citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts25/2511.pdf>>
- [15] Superkondenzátory (Elektrochemické kondenzátory) [online], [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://energie.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>>
- [16] Motokola a motorové nástavby na jízdní kola [online], [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.motokola.cz/>>
- [17] Asynchronní elektromotor třífázový [online], poslední revize 2008,
[citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.emotor.cz/asynchronni-elektromotor-trifazovy.htm>>
- [18] Elektromotor [online], poslední revize 4/2011, [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor#Asynchronn.C3.AD_motor>
- [19] Evropská nebo čínská elektrokola [online], [citováno 2011-05-23]
Dostupné z <<http://www.elektrokola-jelinek.cz/evrocin.html>>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

EDLC	[-]	Electrochemic Double Layer Capacitor
EPAC	[-]	Standard for Electronically Power Assisted Cycles
HPV	[-]	Human Powered Vehicle
I_t	[A]	Nabíjecí proud akumulátoru
KERS	[-]	Kinetic Energy Recovery System
LiFePO_4	[-]	Označení Lithium-Želefo-Fosfátového akumulátoru
Li-Ion	[-]	Označení Lithium-Ionového akumulátoru
Li-Pol	[-]	Označení Lithium-Polymerového akumulátoru
NiCd	[-]	Označení Nikl-Kadmiového akumulátoru
NiMH	[-]	Označení Nikl-Metal-hydridového akumulátoru
RTU	[-]	Ready To Use – NiMH baterie s malým samovybíjením