

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R016 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Alternativní pohony v motoristickém sportu

Autor: **Tomáš Krčma**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Barták**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KRČMA**
Osobní číslo: **S10B0103P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Alternativní pohony v motoristickém sportu**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Shromáždit podklady z odborné literatury a Internetu týkající se alternativních pohonů v motoristickém sportu. Analyzovat poznatky a vypracovat přehlednou práci, která bude popisovat základní druhy alternativních pohonů v motoristickém sportu a to včetně prototypů. Zpracovat konstrukční návrh zástavby elektromotoru do rámu závodní motokáry.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod.
2. Představení základních typů alternativních pohonů.
3. Rozdělení disciplín v motoristickém sportu využívající alternativní pohony.
4. Konstrukční návrh zástavby elektromotoru do rámu závodní motokáry.
5. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

TRZESNIEWSKI, M. Rennwagentchnik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008

ERJAVEC, J. Hybrid, Electric & Fuel-Cell Vehicles. USA: Delmar Cengage Learning, 2007

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**

KKS

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**

KKS

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. června 2013**

Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.

děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 24. září 2012

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledku diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Krčma	Jméno Tomáš		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Barták	Jméno Jiří		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Alternativní pohony v motoristickém sportu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	45	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato bakalářská práce se zabývá alternativními pohony v motoristickém sportu. Teoretická část popisuje základní alternativní pohony v motoristickém sportu včetně prototypů. Dále obsahuje souhrn neznámějších závodů pořádaných pro alternativní pohony. Praktická část obsahuje návrh zástavby elektromotoru do rámu závodní motokáry společně s výkresovou dokumentací uchycení zvoleného elektromotoru do rámu motokáry.
KLÍČOVÁ SLOVA	Alternativní pohony, motokáry, elektropohon, prototypy, motorsport

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Tomáš	Name Krčma	
FIELD OF STUDY	2301R016 „Transport Vehicles and Handling Machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Barták	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Alternative drives in motorsport		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2013
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	45	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis deals with alternative drives in motorsport. The theoretical part describes the main alternative drives in motorsport including prototypes. It also contains a summary-known races organized for alternative fuels. The practical part contains a proposal for installation in motor kart racing frame with drawings for the selected motor mount to the frame karts.
KEY WORDS	Alternative fuel vehicles, go-karts, electric, prototypes, motorsport

Poděkování

Rád bych poděkoval všem pedagogickým pracovníkům Západočeské univerzity, kteří mě během studia vedli a předávali mi své znalosti a zkušenosti. Poděkování patří především vedoucímu bakalářské práce **Ing. Jiřímu Bartákovi** za vedení práce a za důležité připomínky. Dále bych chtěl poděkovat rodině a všem přátelům za jejich podporu během studia.

Tomáš Krčma

Obsah

Obsah.....	1
Přehled použitých označení a jednotek	3
Seznam použitých zkratk.....	3
1 Úvod.....	4
1.1 Definice alternativních pohonů	4
1.2 Definice motoristického sportu	4
1.3 Historie alternativních pohonů	4
1.3.1 Historie elektropohonu.....	4
1.3.2 Historie vozidel poháněných plynem.....	8
1.3.2.1 Pohon na dřevoplyn	8
1.3.2.2 Pohon na svítiplyn.....	9
1.3.2.3 Pohon na CNG a LPG.....	10
2 Elektromotory v motoristickém sportu	10
2.1 Technologie elektromotorů.....	11
2.1.1 Elektromotor	11
2.1.1.1 Regulátor.....	11
2.1.1.2 Baterie	12
2.1.2 Automobilový sport.....	12
2.1.2.1 Rally Monte Carlo alternativních pohonů.....	12
2.1.2.2 Formula SAE Hybrid, Formula SAE Electric.....	13
2.1.2.3 Rally E-Miglia	13
2.1.2.4 FIA Formula E Championship.....	14
2.1.2.5 Shell ECO marathon	14
2.1.3 Motocyklový sport	14
2.1.3.1 Silniční motocykly	14
2.1.3.2 24 hodinový vytrvalostní závod pro electrocross motocykly.....	15
2.1.4 Karting.....	15
2.1.4.1 ERDF Masters Kart.....	15
2.2 Prototypy	16
2.2.1 Automobilový sport.....	16
2.2.1.1 Mitsubishi MiEV Evolution.....	16
2.2.1.2 Mitsubishi Lancer EVO IX na elektropohon	16
2.2.1.3 Lola-Drayson B12/69EV	18
2.2.1.4 Rimac e-M3.	18
2.2.1.5 TMG EV P002 od Toyoty.....	19
2.2.2 Motocyklový sport	20
2.2.2.1 Zero MX pro Motocross	20
2.2.2.2 Tacita T-Race pro Enduro.....	20
2.2.3 Karting.....	21
2.2.3.1 Superkart na elektropohon	21
3 Vozidla poháněná plynem v motoristickém sportu.....	21
3.1 Technologie CNG a LPG	22
3.1.1 Pohon CNG	22
3.1.2 Pohon LPG	23
3.2 Využití v motoristickém sportu	24
3.2.1 Automobilový sport.....	24
3.2.1.1 Projekt CNG-R od Stohl racing	24

3.2.1.2	Mitsubishi Lancer Evolution IX na zemní plyn.....	25
4	Srovnání nejvyužívanějších alternativních pohonů v motoristickém sportu	26
5	Konstrukční návrh zástavby motokáry elektromotorem	26
5.1	Rozbor návrhu	26
5.2	Návrh elektromotoru.....	27
5.2.1	Volba elektromotoru	27
5.2.2	Otvory pro instalaci elektromotoru	27
5.2.3	Uchycení elektromotoru	27
5.3	Zvolený profil trati pro elektromotokáru	28
5.4	Návrh baterie	28
5.4.1	Blokové schéma zapojení.....	29
5.4.2	Výpočet parametrů bateriové soustavy	29
5.5	Volba regulátoru	29
5.6	Návrh řetězového převodu.....	30
5.6.1	Vstupní údaje pro výpočet.....	30
5.6.2	Převod veličin na základní jednotky	30
5.6.3	Výpočet převodu	30
5.6.3.1	Výpočet otáček hnaného kola	30
5.6.3.2	Výpočet převodového poměru $i_{1,2}$:	30
5.6.3.3	Výpočet počtu zubů zadního ozubeného kola	31
5.6.4	Napínání řetězu	31
5.6.5	Volba řetězu	31
5.6.5.1	Kontrola zvoleného řetězu	32
5.7	Návrh rozložení komponent na rám motokáry	33
5.8	Porovnání navrženého elektropohonu s motokárou třídy Honda GX390	34
6	Závěr.....	35
	Seznam obrázků	38
	Seznam tabulek	39
	Výkresová dokumentace	39
	PŘÍLOHA č. 1	40
	PŘÍLOHA č. 2	42
	PŘÍLOHA č. 3	44

Přehled použitých označení a jednotek

OZNAČENÍ	JEDNOTKY	NÁZEV VELIČINY
z_1	[-]	počet zubů hnacího ozubeného kola
z_2	[-]	počet zubů hnaného ozubeného kola
n_1	[ot/s]	otáčky hnacího kola
n_2	[ot/s]	otáčky hnaného kola
D	[mm]	průměr pneumatiky zadního kola
v	[m/s]	maximální obvodová rychlost pneumatiky zadního kola
$i_{1,2}$	[-]	převodový poměr
d	[mm]	průměr roztečné kružnice hnacího ozubeného kola
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
M_k	[Nm]	kroučící moment od motoru
F	[N]	odvodová síla na hnacím kole
F_O	[N]	odstředivá síla od řetězu
F_C	[N]	celková síla působící na řetěz
F_r	[N]	pevnost při přetržení řetězu
I_i	[Ah]	kapacita baterie použité v zapojení $i = 1,2,3,4$
U_i	[V]	napětí baterie použité v zapojení $i = 1,2,3,4$
I	[Ah]	celková kapacita bateriové soustavy
U	[V]	celkové napětí bateriové soustavy
v_1	[m/s]	obvodová rychlost hnacího ozubeného kola
m	[kg/m]	hmotnost jednoho metru řetězu

Seznam použitých zkratk

CNG	Compressed Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
FIA	Federation Internationale de l'Automobile
DC	Direct current
LNG	Liquefied natural gas

1 Úvod

Světové zásoby ropy neustále klesají. Podle současných prognóz by měly aktuální zásoby vydržet na nadcházejících 46 let [1]. Otázkou je, jaká bude budoucnost dopravy v roce 2058? Klesající objem ropy nezasáhne jen dopravu, ale i její sportovní odvětví motorsport. Tímto problémem se zabývá mnoho výzkumných týmů již několik let. Snahou všech je najít alternativní řešení pohonu, který by byl dostatečně výkonný, dostupný a zároveň šetrný k životnímu prostředí. V současné době se mnoho výrobců závodních speciálů snaží postupně vyvíjet novou techniku pro motorsport, která by nahradila dnešní spalovací pohony. Nejvíce se obracejí na elektropohony, které v poslední době prošly největším vývojem. Samotný elektromotor má své největší kouzlo ve svém okamžitém výkonu. Elektropohony nejsou však jediným řešením pro nadcházející roky. Velký pokrok zaznamenaly v poslední době i vozy poháněné CNG, nebo vozy na vodíkový pohon. Vývoj nové techniky je nezbytný. V budoucnu by se však nemělo zapomenout na druhou stránku věci. Každý pohon musí mít svoji stanici pro doplnění pohonných látek. Pro samotný motorsport by to mohlo mít nepříjemný dopad. Závodní okruhy mají své omezené kapacity. Pokud se do budoucna nesjednotí vlastní typ pohonu mohou vzniknout závodiště specializované pouze na jeden typ pohonu. Pořadatelé závodů nebudou schopni zajistit požadované množství a objem pohonných látek. Samotná problematika závodění se speciály poháněnými alternativními pohony je složitá. Doufejme, že se vše v budoucnu vyřeší.

1.1 Definice alternativních pohonů

Slovo alternativní znamená dle slovníku cizích slov [2] jiný, zástupný, náhradní. Jde tedy o dopravní pohony, které do budoucna nahradí (zastoupí) pohony současné. V našem případě se jedná o náhradu za spalovací motory, které jsou v 21. století nejrozsáhlejšími pohony na světě.

1.2 Definice motoristického sportu

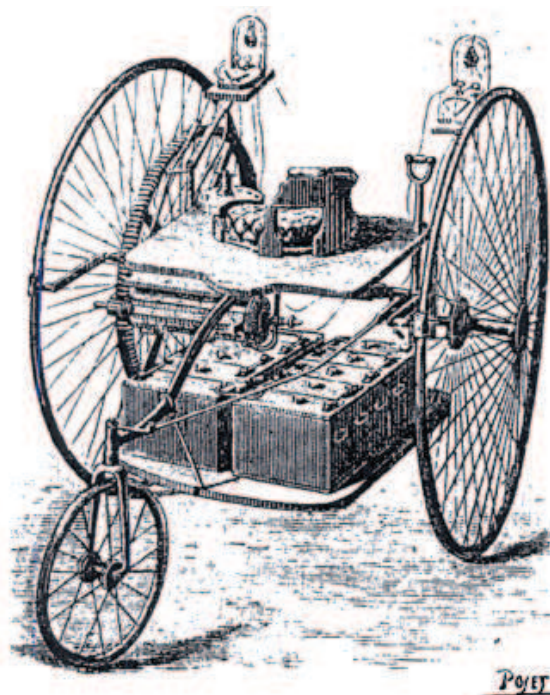
Podle internetového serveru wikipedia [3] je motoristický sport skupina soutěžních akcí, která především zahrnuje použití motorových vozidel poháněných spalovacími motory. Motoristický sport zkráceně motorsport zahrnuje závodní aktivitu jednostopých, dvoustopých a lodních dopravních prostředků v profesionálním i amatérském měřítku.

1.3 Historie alternativních pohonů

1.3.1 Historie elektropohonu

Prvopočátek elektropohonů se datuje prvními pokusy s elektrickým proudem. V roce 1799 se v Itálii Alessandro Volta inspiroval pokusy profesora Luigi Galvaniho, který experimentoval s živočišnou elektřinou. Zjistil, že svaly žab se po zásahu elektrickým proudem stahují. Galvani se domníval, že našel nový druh elektřiny tzv. „živočišné elektřiny“, kterou nervy rozvádějí do svalů. Alessandro Volta byl Galvaniho oponent a dokázal, že se jedná elektrickou energii vzniklou chemickou reakcí dvou kovů. [4] Volta na základě tohoto principu vytvořil v roce 1800 první elektrický článek, který se nazýval Voltův sloup. Byla to galvanická baterie tvořená články se zinkovou a měděnou elektrodou[5]. Dalším pokrokem ve

vývoji elektrotechniky byl v roce 1831, kdy Michael Faraday objevil elektromagnetickou indukci, která byla základem pro technologii vedoucí k vynalezení prvních elektromotorů.[6] Návrh prvního elektromotoru byl přednesen v roce 1832 v Paříži. Funkční model malého elektromotoru představil Francis Watkins v roce 1835 v Londýně. Tento motor měl magnety upevněné na hřídeli, která rotovala uvnitř cívky. Elektrický proud postupně spínal magnety na hřídeli. Tímto jevem bylo produkováno točivé magnetické pole. Na obdobném principu pracuje mnoho elektromotorů dodnes. Tento motor byl zejména používán pro vrtačky a řízení soustruhu. Po značném úspěchu s prvními elektromotory vedlo investory a vývojáře k myšlence využití jejich vynálezu pro provoz na pozemních komunikacích. Profesor Stratingh tuto myšlenku převedl v praxi a v roce 1835 ukázal v holandském Groningenu prvním model malého elektromobilu. Mezitím se v letech 1834-1836 stavěl v USA první prototyp elektrovozidla určený pro provoz na silničních komunikacích. Na využití elektrického proudu v silniční dopravě se neustále pracovalo. V roce 1859 byla vynalezena olověná startovací baterie. Byl to objev velkého charakteru. Tato baterie byla využívána pro nastartování klasických vozidel a pro pohon vozidel poháněných elektromotorem. První experimenty s elektromotory vedly k skoro třicetiletému vývoji, kdy v roce 1861 Antonio Pacinotti vynalezl zlepšenou formu stejnosměrného elektrického generátoru neboli dynama. V roce 1869 byl na základě všech prototypů a pokusů sestaven první elektromotor dnešního typu. V roce 1881 vyráběl ve Francii G. Trouvé první plnohodnotný dopravní prostředek, který byl schopen se pohybovat za pohonu elektromotoru. Bylo jím tříkolové vozidlo, které vážilo 160 kg a bylo poháněno dvěma elektromotory značky Siemens. Tyto motory vyvinuly výkon přibližně 1/10 koňské síly. Maximální rychlost vozidla byla kolem 12 km/h. Další vývoj nenechal na sebe dlouho čekat. V roce 1882 profesor William Ayrtton and John Perry představili v Anglii elektricky poháněný tricykl, který používal olověné baterie o kapacitě 1,5 kWh a motor měl výkon 1/2 koňské síly.



Obrázek 1: Tricykl Ayrtton a Perry z roku 1882[7]

Rychlost tohoto tříkolového vozidla byla řízena pomocí přepínání z jedné baterie na druhou. Maximální rychlost, které bylo vozidlo schopno dosáhnout byla 14 km/h. Dojezd byl 16 až 40 km v závislosti na obtížnosti terénu a rychlosti. Vozidlo bylo dále výjimečné tím, že mělo

jako první své vlastní elektrické osvětlení. Tvořily jej dvě malé žárovky, které poskytovaly 50 lm světelného toku. Díky své maximální rychlosti 14 km/h, vůz porušoval tehdejší pravidla silničního provozu. Byl to takzvaný zákon o samohybech The Locomotives Act. Těmito pravidly z roku 1865 byla stanovena maximální povolená rychlost vozidel pohybujících se na pozemních komunikacích na 6,4 km/h.[8] Tento zákon zastavil na několik let vývoj elektromobilů v Anglii. Jeho zrušení se datuje rokem 1896. Mezitím se začalo v Evropě neustále pracovat na vývoji technologie elektrovozidel. Už v samém roce jako byl představen veřejnosti tricykl Ayrton a Perry, začal v Belgii navrhovat Gustave Phillipart jednu z prvních elektrotramvají. V době kdy byl vývoj elektromobilů v Anglii v úpadku se dostávají do popředí vědeckého rozkvětu v USA. V New Yorku v roce 1890 postavil Andrew L. Riker tříkolku vážící 150 lb. Vozidlo mělo výkon 1/6 koňské síly, celkový dojezd až 48km a maximální rychlost 13km/h. Riker pokračoval ve svém vývoji a o pět let později postavil čtyřkolové vozidlo, které bylo považováno za elektromobil. Tento elektromobil si vysloužil velké uznání díky své maximální rychlosti 19 km/h při přepravě jedné osoby. Celková hmotnost automobilu byla 140 kg, z toho byla 60 kg hmotnost bateriové soustavy. V USA byla další řada konstruktérů, které se zabývali vývojem elektromobilů. Známý byli například Barrows and Holtzer-Cabot. Nejmodernější pokrok v konstruktérské části udělala ale dvojice Morris and Salom, kteří postavili v roce 1895 dvousedadlový elektromobil, který byl výstřelkem tehdejší doby. Vozidlo bylo tak populární, že v roce 1896 bylo použito pro taxislužby v New Yorku. Vůz byl vybaven moderními prvky, které sloužily pro pohodlnou přepravu cestujících [7], [9] .



Obrázek 2:Vůz Morris and Salom z roku 1895 [9]

Provozování taxislužby začalo 1. listopadu 1896 s dvanácti provedení vozu Hansoms a jedním provedení Coupé. Elektromobily měly pohon předních kol s výkonem 2,5 koňské síly. Pomocí zadních kol se s vozem zatáčelo. Baterie taxi vozu byla tvořena 44 olověnými články, které dodávaly energii 88 V. Výrobce dokladoval, že dojezd vozu na jedno nabití je až 48 km. Ze začátku byly obavy, že nebude zájem o tento styl dopravy. V této době byl módní trend cestovat pomocí koňských drožek. Nakonec tomu tak nebylo a elektromobily v taxislužbě si našly své místo. Od roku 1895 se začalo nahlas mluvit o přímé konkurenci elektropohonů s již zaběhnutými spalovacími motory. Vývojáři elektropohonů se postupně snažili zvyšovat maximální rychlost a dojezd jejich vozidel. Jeden z prvních přímých soubojů mezi těmito pohony byl v červnu roku 1895 v Paříži. Odstartoval zde známý závod Paris-Bordeaux Race, který obsahoval cestu do Bordeaux a zpět. Délka trati byla 1135 km. Závod byl díky své vzdálenosti velmi sledován médii. Na startu se zde objevil první elektromobil řízený Charles Jeantaudem. Prototyp dokončil pouze první část závodu do Bordeaux. V médiích vzbudila účast vozidla na elektropohon velký rozruch. Důvodem odstoupení vozu byla nutná výměna baterií. Dobíjecí stanice byly díky startujícímu elektromobilu rozmístěny každých 24 mil. V oblasti automobilového průmyslu se začalo po tomto závodě mluvit o elektropohonu jako o pohonu budoucnosti. Byl to přímý konkurent spalovacím motorům a parním pohonům. V tom samém roce se v Chicagu konal závod za velmi extrémních podmínek. Na silnici bylo oko 6-ti palců sněhu. Závod se jel z Chicaga do Evanstonu a byl dlouhý 85 km. Na startu, který se konal 18. listopadu 1895 bylo k vidění zástup elektromobilů značky Morris and Slalom a Sturges-elektromobil. Závod vyhrálo vozidlo poháněné spalovacím motorem. Většina vozů na elektropohon odstoupila ze závodu po necelých 32 km. Důvodem odstoupení byl opět problém s bateriovou soustavou. Většina vozů měla baterie, které měly malý dojezd na jedno nabití. V roce 1896 projevila o alternativní způsoby dopravy španělská královna Victorie. Vedoucí konstruktér byl španělský inženýr G. Julien. Trub vozu bylo dílo několika stavitelů z Londýna. Nejznámější z nich byl Maberley. Vozidlo mělo řízení pomocí předních kol a elektrické osvětlení pomocí žárovek. Pro napájení pohonného motoru byla použita primární baterie o hmotnosti 90 kg. Julien zde ale použil zinkovou desku z alkalické elektrody. Tato inovace se posléze ukázala jako velmi dobrá. Na inovaci španělského inženýra navázal ve stejném roce Walter Bersey, který také zkonstruoval elektromobil s výměnnými suchými bateriemi. Použil zde dva motory, které poháněly zadní kola pomocí řetězu. Výrobce udával, že vozidlo má dojezd 56 km při maximální rychlosti 19 km/h s dvoučlennou posádkou. Stejný styl uložení motoru byl i použit v roce 1895 v závodu Paris-Bordeaux Charlesem Keantaudem. Prognóza byla, že tento typ by měl být trendem pro turistiku v USA na budoucích 15 let. V době anglického zákazu The Locomotives Act byly největší velmoci ve vývoji elektromobilů Francie a USA. Francie postavila v Paříži v roce 1897 velmi pozoruhodný vůz M.A. Darracq. Byl to první elektromobil, který používal regenerační účinek brzdě síly. Tato brzděná metoda využívala vlastnosti elektrického hnacího motoru, aby pracovala jako generátor nabíjení baterie. Mnoho konstruktérů se již předtím snažilo tuto technologii použít. Bohužel se jim ale nepodařilo přeměnit energii zpět pro dobíjení baterie vozidla. Po zrušení dopravního zákona v Anglii se elektromobily rozrostly do celého světa. Jejich největší využití bylo pro taxislužbu. Jejich nespornou výhodou byla jejich šetrnost k životnímu prostředí. Na vývoji technologie elektromobilů se neustále pracuje. Největší pokrok v posledních letech udělali konstruktéři ve vývoji výkonu motorů a bateriové soustavy [7], [9].

1.3.2 Historie vozidel poháněných plynem

1.3.2.1 Pohon na dřevoplyn

Dřevoplyn byl v největším rozkvětu v druhé polovině druhé světové války. Valné většině zemí docházely suroviny a všichni chtěli snížit své náklady na minimum. Dopravních prostředků na dřevoplyn bylo nespočetné množství, objevovaly se automobily, plavidla, traktory a vlaky. Čím více bylo těžké sehnat palivo, tím více se státy obracely na variantu dřevoplynu. V roce 1942 bylo ve Francii okolo 65 000, ve Švédsku 73 000 a v Dánsku 10 000 dopravních prostředků. Počet dopravních prostředků se neustále zvětšoval. Datuje se, že největší velmocí bylo Německo, které mělo na konci roku 1944 kolem 500 000 dopravních prostředků poháněných dřevoplynem. Generátory dřevoplynu byly dávány většinou na zadní část vozu, na předních část jen v ojedinělých případech. Generátorem byl velký dřevěný kotel, do kterého se přidávalo palivo.



Obrázek 3: Vůz poháněný na dřevoplyn [10]

V levnějších dřevoplynových generátorech vznikalo v důsledku nedokonalého spalování větší množství dehtových látek, které obsahují rakovinotvorné polyaromatické uhlovodíky. Pro odstranění dehtových látek z dřevoplynu začali konstruktéři vyvíjet motory, které budou mít výrazně nižší množství zdraví škodících látek. Tyto motory byly sice šetrnější k životnímu prostředí, ale měly mnohem menší výhřevnost. Dehtové látky podporují výhřevnost plynu. Jejich omezení tedy vedlo k menší výhřevnosti a tím větší spotřebě dřevoplynu. Další velkou nevýhodou dřevoplynu byl jeho nestálý výkon. Oproti benzínu byl výkon nižší o více než 20%. Dřevoplyn byl alternativou pro dobu hospodářské krize [10].

1.3.2.2 Pohon na svítiplyn

Svítiplyn byl historicky jako první pohonná látka pro vznětové motory automobilů, lodí a tramvají. V roce 1893 se v Německu jako jedna z prvních objevila plynová tramvaj poháněná pomocí svítiplynu z tlakových lahví. Tyto tramvaje se postupně rozšiřovaly po Evropě a nahrazovaly tramvaje na elektropohon. V roce 1897 se tyto tramvaje začaly používat v Praze. V roce 1917 se datují první zmínky o svítiplynu jako pohonu automobilů. Ve Velké Británii byl nedostatkem benzínu. Konstrukteři připevňovali na vozidla nádrže se svítiplynem a měli tak náhradní palivo bez jakékoliv přestavby. Největší využití svítiplynu bylo hlavně ve třicátých a čtyřicátých letech 20. století. Svítiplyn byl hodně využíván díky své dostupnosti. U každé plynárny se vyskytovala „tankovací stanice“. Použití svítiplynu jako pohonu bylo velmi jednoduché bez většího prostoru na další vývoj. Konstrukteři se nejvíce zaměřili na vylepšení nádrže pro svítiplyn. Ze začátku byla z tvrdé gumové tkaniny. Její finální verze byla z lehkých ocelových lahví odolných proti korozi. Jejich životnost byla z počátku velmi malá. Technologie byla nespolehlivá. Po několika konstrukčních úpravách měl tento způsob alternativní dopravy velké využití. Jejich počet v Evropě dosahoval k statisícům.



Obrázek 4:Plnicí stanice v areálu pražské plynárny v Michli [11]

Nádrže se umísťovaly převážně na zadní část vozidla a na střeche. Technologie svítiplynu byla nejvíce používaná u malých dopravních prostředků, kde nebyla potřebná velká zásoba svítiplynu. U velkých vozidel byl se zásobováním problém. Dopravní prostředky poháněné pomocí svítiplynu bylo možné vidět ještě několik let po válce. Postupně tyto alternativní způsoby dopravy začaly nahrazovat naftové a benzinové motory [11].

1.3.2.3 Pohon na CNG a LPG

V době války byly jedny z nejpoužívanějších pohonů dřevoplyn a svítiplyn. Vývoj a použití těchto technologií postupně zmizel přibližně před 70.-80. lety. V té době začaly mít své využití metan a propan-butan. Metan jako alternativa pohonu se využívala ve formě CNG, propan-butan ve formě LPG. Propan-butan jako alternativní pohonná látka byl jako první využíván v USA. Z počátku byla jeho dostupnost velmi malá. V Německu se ve třicátých letech proslavila propad-butanová směs společnosti Leunawerke nazývaná Leunagas. Jednalo se o směs různých plynů. Kombinace propan-butan byla však nejčastěji používaná. Výroba směsi propan-butan byla omezena jen na několik málo míst. Hlavním problémem byla složitost distribuce plynu. Bylo zapotřebí zajistit dostatek plnicích lahví pro plyn. Z tohoto důvodu byl tento pohon v období války používán v Čechách jen ojediněle. V meziválečném období měl větší rozmach metan. Byl získáván ze zemního plynu. Stlačoval se stejně jako svítiplyn do ocelových lahví pod tlakem 200 atmosfér. Metan byl oproti svítiplynu výhřevnější. Ve třicátých letech 20.století se neustále zvyšovala poptávka po plynu jako alternativním způsobu paliva. Společně s poptávkou začala růst i nabídka. V českých zemích byli velmi silní producenti Československé továrny na dusíkaté látky z Moravské Ostravy. Ti se snažili vyrábět metan o co největší výhřevnosti. Jejich snaha byla co nejvíce konkurovat tehdejší lihobenzínové směsi. Spotřeba metanu oproti lihobenzínové směsi byla 0,9 až 1,05 m³ na litr tekuté směsi. Metan měl však svoji velkou výhodu ve své nízké ceně. S postupným zvyšováním konkurence se začaly vypravovat pojízdné tankovací stanice. Tím se stal metan dostupnější pro širokou veřejnost. Stanice se skládala z vlečného vozu, který obsahoval pět až sedm šestimetrových lahví s obsahem 400 litrů. Lahve byly naplněny metanem stlačeným na tlak 330 atmosfér. Stanice byla upravena pro dvě tankující vozidla současně. Postupem doby a technologického vývoje se pohon na metan a propan-butan stal velmi využívaným způsobem alternativního pohonu [12].

2 Elektromotory v motoristickém sportu

Elektromotory jako alternativní způsob pohonu našel v posledním desetiletí své nesporné místo v mnoha motoristických disciplínách. Svůj rozkvět zaznamenaly díky svému neustálému vývoji v oblasti výkonu pohonné jednotky a bateriové soustavy. Elektromotory můžeme nalézt v automobilovém sportu, motocyklovém sportu, motokárách a mnoha dalších motoristických disciplínách. Bezpochyby se jedná o velmi perspektivní způsob pohonu pro budoucnost.

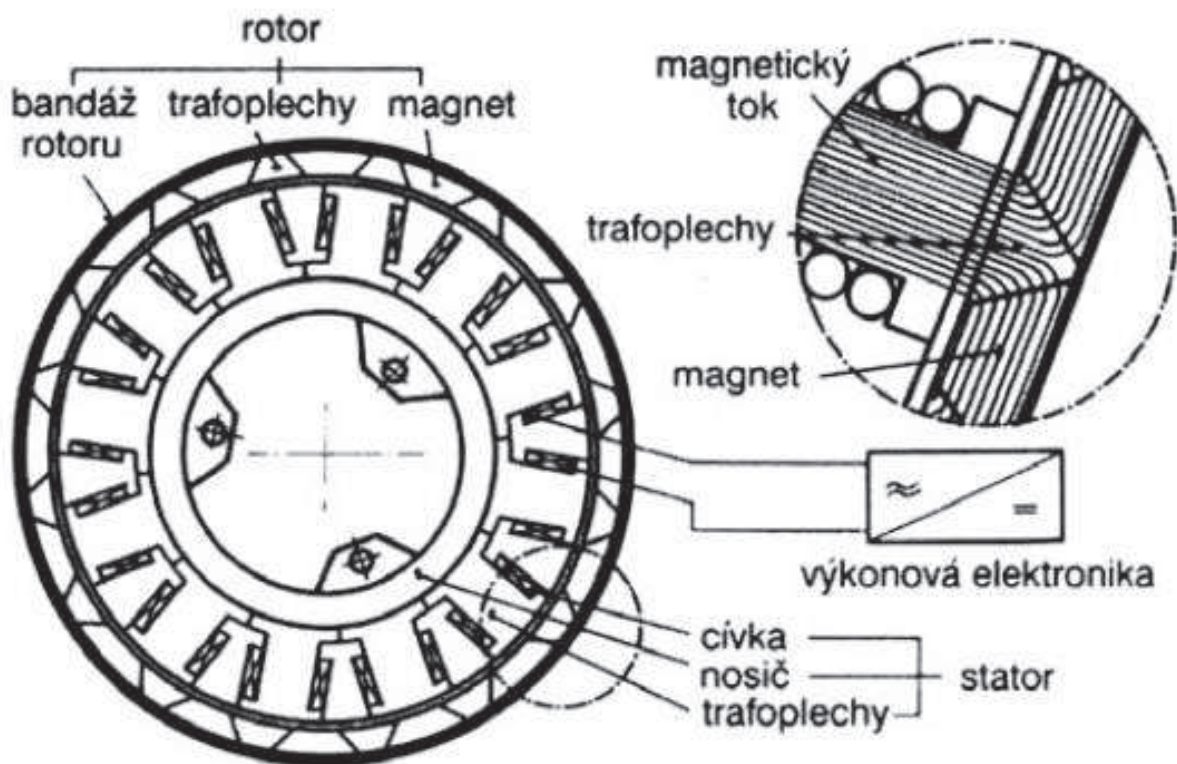
<i>Výhody pohonu s elektromotorem</i>	<i>Nevýhody pohonu s elektromotorem</i>
Tichý chod	Vysoká hmotnost
Šetrnost k životnímu prostředí	Výrobní cena
Účinnost pohonu	Požizovací cena
Výkon	Dlouhá doba nabíjení baterií
Příznivý průběh točivého momentu	
Akcelerace vozidla	
Možnost rekuperace energie	
Nenáročná údržba	

Tabulka 1: Výhody a nevýhody pohonu elektropohonu v porovnání s ostatními pohony

2.1 Technologie elektromotorů

2.1.1.1 Elektromotor

U dopravních prostředků poháněných elektromotory jsou zkoušeny různé druhy elektromotorů: sériový nebo paralelní stejnosměrný motor, s cizím buzením, asynchronní motor s tranzistorovou regulací a synchronní motor s permanentními magnety. Obecně pro všechny používané elektromotory platí, že moment elektromotoru je úměrný magnetické indukci vzduchové mezery s axiální délkou rotoru a s druhou mocninou poloměru vzduchové mezery. Vzhledem k poslední uvedené závislosti je výhodnější konstrukce vnějšího rotoru. Rotor je složen z elektroplechů, ve kterých jsou tangenciálně odděleny magnety se střídavou polaritou. Elektroplechy tvoří trapézový tvar, který vytváří vodící tok s ohýbajícími se magnetickými siločarami proudícími kolmo do statoru. Uprostřed motoru se nachází tedy stator. Skládá se z lisovaných elektroplechů a tvoří vysokopólové nosiče cívek. Cívky statoru jsou spojeny s výkonovou elektronikou, která proud do statorového vinutí komutuje tak, aby se motor choval jako stejnosměrný motor s cizím buzením. Vzniká tak elektronická komutace. Z důvodu zvýšení výkonu elektromotoru pro použití v dopravních prostředcích se statorové vinutí chladí kapalinou [29].



Obrázek 5: Základní konstrukce elektromotoru [29]

2.1.1.2 Regulátor

Regulátor je zařízení, které reguluje parametry vstupující do elektromotoru. Základní rozdělení regulátorů je na stejnosměrné a střídavé. V motoristickém sportu se využívají oba typy regulátorů v závislosti na motoristické disciplíně. Volba použitého regulátoru závisí na technických parametrech elektromotoru. Základní parametry regulátorů rozhodující při jejich volbě jsou: provozní napětí a rozsah jmenovitých proudů.

2.1.1.3 Baterie

Baterie je zařízení elektromobilu, které slouží pro opakované ukládání elektrického proudu nezbytného pro pohon elektromotoru. Akumulátor vozu je také jedním z hlavních činitelů ovlivňující parametry samotného vozu. Při konstrukci závodního speciálu je nezbytné dbát na správné rozložení akumulátoru na vozidle z důvodu správného vyvážení vozu. Toto kritérium výrazně ovlivňuje jezdecké vlastnosti vozidla. Kapacita baterie se udává v ampérhodinách [38].

Kritérium	Typ akumulátoru				
	Nikl-cadmiový	Nikl-metal hybridový	Lithium-iontový	LiFePO4 akumulátor	Olověný akumulátor
Hustota energie na kilogram	40-60 Wh/kg	30-80 Wh/kg	160 Wh/kg	80-120 Wh/kg	30-40 Wh/kg
Nutnost ekologické likvidace	ano (jsou toxické)	ne	ano (jsou toxické)	ne	ano (jsou toxické)
Počet dobíjecích cyklů	vice než 2000	1000+	500-2000	2000-3000	500-800
Účinnost dobíjení	66-90%	66%	80-90%	95%	70-92%
Projev paměťového efektu	ano	ano	ne	ne	ne
Odběrový proud	≈1C	≈0.5C	≈5C	≈0.8C	≈0.2C

Tabulka 2: Srovnání parametrů známých akumulátorů [38], [46], [39]

V současnosti je v motoristickém sportu nejvíce používá typ baterií LiFePO4. Tento typ baterií má velmi dobré technické parametry a jsou šetrné k životnímu prostředí. Nikl-cadmiové a olověné akumulátory se v současné době již nepoužívají. Pro konstrukci závodních speciálů poháněných elektropohonem by bylo výhodné použít lithium-iontové baterie. Mají větší odběrový proud až 5 C a mají vysokou hustotu energie na kilogram 160 Wh/kg. Bohužel jsou však méně bezpečné. Z důvodu nebezpečí výbuchu při větších ořesech nelze tyto baterie použít.

2.1.2 Automobilový sport

2.1.2.1 Rally Monte Carlo alternativních pohonů

Od roku 2007 se v Monaku pořádá Rally Monte Carlo alternativních pohonů. Jedná o speciální závod pro vozy poháněné elektropohonem. Základní myšlenkou závodu není jen nejrychlejší čas v rychlostních zkouškách, ale i co nejmenší spotřeba energie. Závod trvá čtyři dny a skládá se ze tří možností délky závodu od 180 do 400 mil. Tento závod se během několika let proslavil natolik, že v současné době stojí na startu přes 100 vozidel poháněných alternativním způsobem pohonu. Několika násobným vítězem tohoto závodu je společnost Tesla se svým Roadsterem. Závod je velmi prestižní mezi všemi automobilkami vyvíjející vozy s elektropohonem. V roce 2012 nasadil General Motors do tohoto závodu 7 vozů Opel

Ampera. Automobilka měla jasný cíl. Přerušit dosavadní dvouletou nadvládu vozu Tesla, což se Oplu podařilo. Vůz byl vybaven elektromotorem o výkonu 111kW [18]. Na startu závodu se dále objevily vozy Toyota Prius, Lexus RX450h, Alfa Romeo MiTo 170, Mitsubishi MiEV, speciál Venturi Volage a také Porsche 911 upravované na elektromobil od značky RUF. Historicky nejúspěšnějším vozem tohoto závodu je bezpochyby vůz Tesla Roadster, který je několikanásobným vítězem. Vůz zaznamenal další velmi cenné úspěchy. Dokázal ujet na jedno nabití 390 km rychlostních zkoušek. I přes tuto vzdálenost ukazoval palubní počítač vozidla dojezd dalších 66 km. Na startu závodu jsou každoročně vozidla různých velikostních kategorií. Takzvaná malá městská vozidla mají často problém s dojezdovou vzdáleností při tomto závodu. To se stalo např. v roce 2010 vozu Mitsubishi MiEV, který závod z důvodu malé kapacity baterií nedokončil. Tento závod je bezpochyby jednou z největších přehlídek alternativních pohonů v akci [17].

2.1.2.2 Formula SAE Hybrid, Formula SAE Electric

Formula SAE je studentský závod pořádaný americkou společností SAE International, která jako aktivní technické sdružení koordinuje rozvoj technických norem a rozvoj technologií v dopravním průmyslu. V roce 1978 byla zahájena soutěž pro spalovací motory pod názvem SAE Mini Indy. Tyto závody postupem let převzaly název SAE od názvu hlavního patrona seriálu SAE International. Začátkem roku 2006 se na Thayer School of Engineering na Dartmouth College začala stavět jedna z prvních hybridních formulí [24]. V roce 2007 byl prvně vyhlášen závod pro studentské formule poháněné alternativním způsobem pohonu. Samotná myšlenka závodu je zapojit studenty vysokých škol z celého světa do praxe [25]. Studenti vytváří automobil formulového typu na základě zadaných parametrů a pravidel. Jejich práce zahrnuje vše od návrhu po samotnou realizaci vozu. Poté zpracují technickou dokumentaci jejich formule, prezentaci svého teamu a soutěží mezi univerzitami na vlastních závodech, které pořádá SAE International na velkých závodních okruzích po celém světě. Závody se skládají ze statických a dynamických disciplín. Statické disciplíny obsahují například prezentaci teamu a designu vozu. Dynamické disciplíny zahrnují akceleraci vozu, jízdu v dvou kruzích tvořící osmičku, autocross, endurance a spotřebu paliva. Před samotnými dynamickými disciplínami projde vůz technickou přejímkou a prvním nabitím baterií vozu. Technická přejímka pro Formula SAE Hybrid a Formula SAE Electric se liší od klasické spalovací Formule SAE pouze zkouškou těsnosti všech spojů při kontaktu s vodou. Samotná přejímka obsahuje nejen kontrolu předpisů Formula SAE, ale i zkoušku bezpečnosti vozu včetně kontroly připravenosti řidičů při krizových situacích. Formule SAE Elektrik jsou vozy poháněné pouze elektropohonem. Samotný nápad Formule SAE je bezpochyby velkým přínosem nejen pro studenty, ale i pro budoucí vývoj samotného motorsportu [26].

2.1.2.3 Rally E-Miglia

Od roku 2010 se jezdí 560 km dlouhý závod pro vozidla poháněná elektropohonem s názvem Rally E-Miglia. Trasa závodu vede z Mnichova do Fussenu, Innsbrucku a Bolzana. Celá akce trvá 4 dny a účastní se jí každoročně kolem 20 teamů. Závod je pořádán po všechna vozidla poháněna 2,3 a 4mi koly. Akce se tak mohou zúčastnit i motocykly. Pořadatelé závodu mají celou akci velmi dobře připravenou. Jedná se o závod, který má hlavní myšlenku přilákat co nejvíce teamu a firem zabývajících se vývojem alternativních způsobů pohonů. Celkový vítěz závodu obdrží každoročně částku 10,000 € , což je velkou výzvou pro všechny zúčastněné. Při závodě, který vede přes kopcovitý terén je důležité vhodně rozmístit dobíjecí stanice. Tento problém pořadatelé mají vyřešený velmi dobře. Každých 80 km etapy je na trase nainstalovaná tankovací stanice typu P-Charge, která dovoluje tankovat i čtyřem vozidlům

najednou. Tím organizátoři zaručili, že se závodů mohou zúčastnit i vozidla s menší dojezdovou vzdáleností. [32]

2.1.2.4 FIA Formula E Championship

Mezinárodní automobilová federace FIA se rozhodla po dlouhém uvážení podpořit vozy poháněné pomocí elektropohonu a vypsal šampionát s názvem FIA Formula E Championship. V srpnu roku 2012 podepsal ředitel FIA Jean Todt smlouvu o zástitě tohoto šampionátu se společností Formula Holdings E, která se dlouhodobě zabývá problematikou elektropohonů. Formula E je nová mezinárodní třída pro okruhové speciály poháněné výhradně elektrickou energií. Myšlenkou FIA je pořádat tyto závody výhradně v srdcích velkých světových měst a jejich okolí. Ukázka vozů by podle hlavního promotéra měla začít v roce 2013. První oficiální závody by měly být v roce 2014. Startovat v tomto šampionátu má v budoucnosti v plánu zatím 10 závodních týmů s celkem 20 elektromobily [36].

2.1.2.5 Shell ECO marathón

Shell Eco marathón je závod v nejmenší spotřebě energie vozidla na danou vzdálenost 25 km. Jedná se o studentské závody pořádané společností Shell. Závody se pořádají po celém světě. V současné době je na světě kolem 400 studentských týmů zabývajících se stavbou speciálů pro tuto soutěž. Závody mají dvě hlavní kategorie. Spalovací motory, pod které patří prémium 2 benzín, motorová nafta, syntetické palivo, bionafta a etanol E100. Druhou kategorií je elektromobilita, pod kterou patří fotovoltaika, vodík (palivový článěk) a elektroakumulátory. Vozidla jsou stavěna s ohledem na co nejjednodušší konstrukci, nízkou hmotnost, bezpečnost jezdce a spolehlivost vozu. Pravidla neomezuji typ konstrukčního materiálu. Proto se na vozidlech často objevují materiály jako teflon, karbonové vlákno apod. Maximální délka vozidla nesmí přesáhnout 350 cm, maximální povolená šířka vozidla je 130 cm a maximální hmotnost vozu je 140 kg. Prototyp musí být vybaven bezpečnostními pásy a hasicím přístrojem pro případ požáru. Vozidla mají často aerodynamický kapkovitý tvar, pro co nejmenší odpor při jízdě [37].

2.1.3 Motocyklový sport

2.1.3.1 Silniční motocykly

První oficiální závod pro silniční motocykly poháněné elektromotorem byl Isle of Man TT v roce 2009. Zde se ukázal několikaletý vývoj v tom nejlepší světě. Pořadatelé tohoto závodu zařadili elektropohon do programu z důvodu podpory dalšího vývoje těchto technologií. Na stupních vítězů skončili 3 nejvýznamnější vývojáři těchto závodních motocyklů. Závod vyhrál Angličan Rob Barber na stroji značky Zero Agni, druhý byl Thomas Schoenfelder s motocyklem XXL a na třetím místě skončil Mark Buckley na stroji Brammo. Motocykl značky Zero Agni měl střídavý elektromotor vzduchem chlazený. [16] Po prvním závodě Isle of Man nenechal další vývoj na sebe dlouho čekat. V nadcházejícím roce se uspořádal světový šampionát TTXGP pro motocykly poháněnými alternativními pohony. Prvním oficiálním mistrem světa se stal německý závodník Matthias Himmelmann. Motocykly poháněné elektromotorem si našly během několika málo let své stálé místo v motoristickém sportu. V roce 2010 se pořádal také první evropský, australský a severoamerický šampionát TTXGP. Závody silničních motocyklů mají svá celosvětová pravidla pro všechny šampionáty [19]. Veškeré předpisy jsou upraveny pro co největší bezpečnost samotných závodníků [20].

2.1.3.2 24 hodinový vytrvalostní závod pro electrocross motocykly

V roce 2009 se jel první vytrvalostní závod pro off-road motocykly poháněné pomocí elektropohonu. Závod se pořádal na motocrossovém okruhu v San Jose v Kalifornii. Organizátoři se snažili, aby byla akce zapsána do Guinnessovy knihy rekordů. Prvního závodu se zúčastnilo 10 týmů. Minimální počet jezdců v každém teamu byl 5. První závod vyhrál tým Hotchalk s celkovými 1015 ujetými okruhy [35]. Pořadatelé připravili pro účastníky nabíječky pro lithium-iontové baterie. Motocykly značky ZERO měly vlastní dobíjecí stanice. První 24 hodinový závod, který byl úspěšně dokončen valnou většinou zúčastněných ukázal, že technologie elektropohonu je již na velmi vysoké spolehlivosti [34].

2.1.4 Karting

2.1.4.1 ERDF Masters Kart

V motokárách se elektromotory jako způsob pohonu nestále vyvíjí. Z určitého hlediska je tento pohon pro motokáry nevýhodný z důvodu větší hmotnosti bateriové soustavy oproti dnešním spalovacím motorům. V současné době našel uplatnění tento způsob pohonu zejména v halových závodech motokár. Vývojem těchto motokárových speciálů se již několik let zabývá francouzská společnost Sodikart. S motokárami značky Sodi se ve Francii v roce 2011 uspořádal závod s názvem ERDF Masters Kart, kterého se zúčastnilo mnoha známých osobností z motoristického sportu. Závod se jel na speciálně upravených závodních rámech vycházejících z technologie závodních podvozků pro spalovací motory. Podvozek měl označení Sodi ST 32. Motor STX byl vyvinut vývojovým centrem společnosti Engec kart engines. Důraz byl kladen na co nejvýhodnější spojení kombinaci výkonu, spolehlivosti, životnosti baterie a hmotnosti. Motor má 65V s vnitřním rotorem. Produkuje 20 kW, což odpovídá standardní nejvýkonnějším závodním motokáram se spalovacím motorem. Baterie byla rozdělena do dvou soustav a umístěna souměrně na obě strany motokáry pro co nejvýhodnější rozvážení hmotností na rámu. V závodním režimu je doba jízdy motokáry 15 minut, což plně vystačí na odjetí závodní rozjížděčky. Doba plného nabití je 30 minut. Tato motokára je bezpochyby velkým pokrokem. Při své maximální rychlosti 100km/h se vyrovná mnoha dnešním závodním motokáram. Několik detailních fotografií motokár s elektropohonem se nachází v příloze 1 [13].



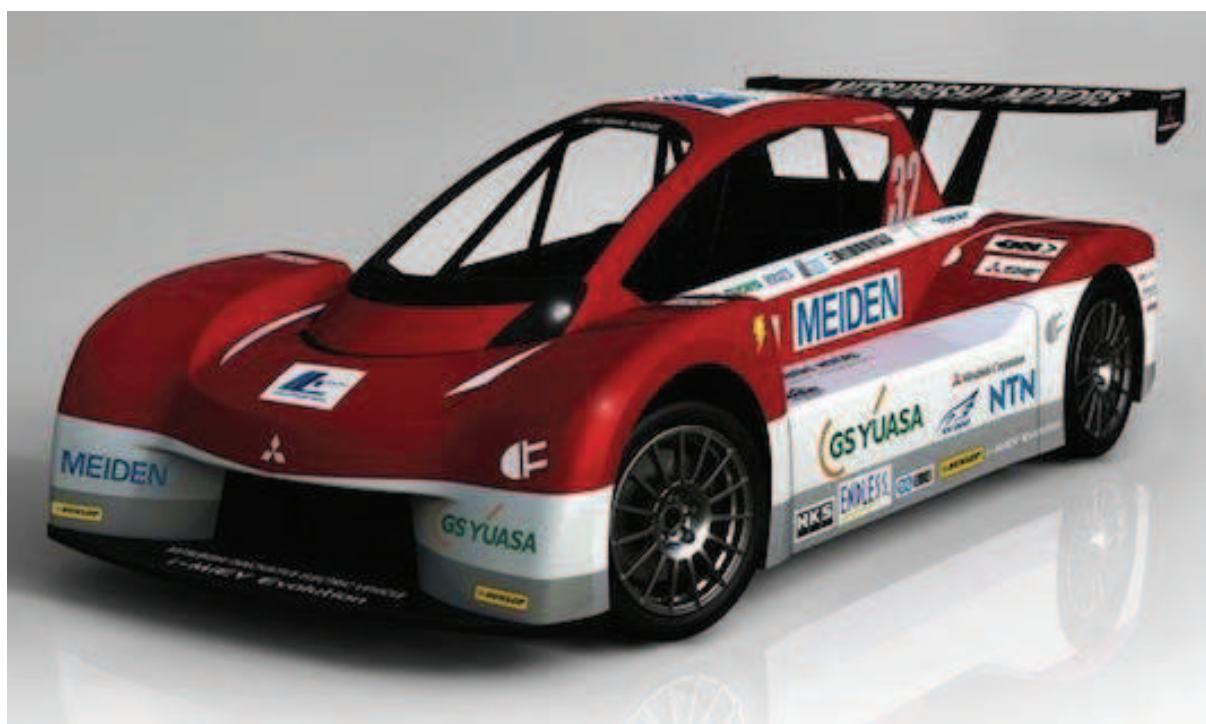
Obrázek 6: Sebastien Loeb při závodě ERDF Masters Kart 2011 [14]

2.2 Prototypy

2.2.1 Automobilový sport

2.2.1.1 Mitsubishi MiEV Evolution

V červnu 2012 představila japonská automobilka Mitsubishi závodní speciál z názvem MiEV Evolution, který byl plně poháněn elektromotorem. Vůz byl speciálně postaven na známý závod Pike's Peak International. Hlavní myšlenkou automobilky bylo postavit závodní speciál vycházející ze sériového modelu vozu Mitsubishi MiEV a získat tak nové poznatky pro vývoj elektromobilů. Vůz má oproti sériové verzi pohon všech čtyřech kol. Na vývoji závodní verze vozu se podílelo s Mitsubishi dalších 20 společností zabývajících se vývojem elektromobilů. Karoserie vozidla se skládá z trubkového rámu pro dosažení co nejmenší hmotnosti vozidla. Rám je pokryt kapotou z uhlíkového vlákna. Vůz má maximální výkon 240 kW a je osazen třemi elektromotory (jeden vpředu, dva vzadu). Rozměry vozu jsou 4341x1900x1339. [21]

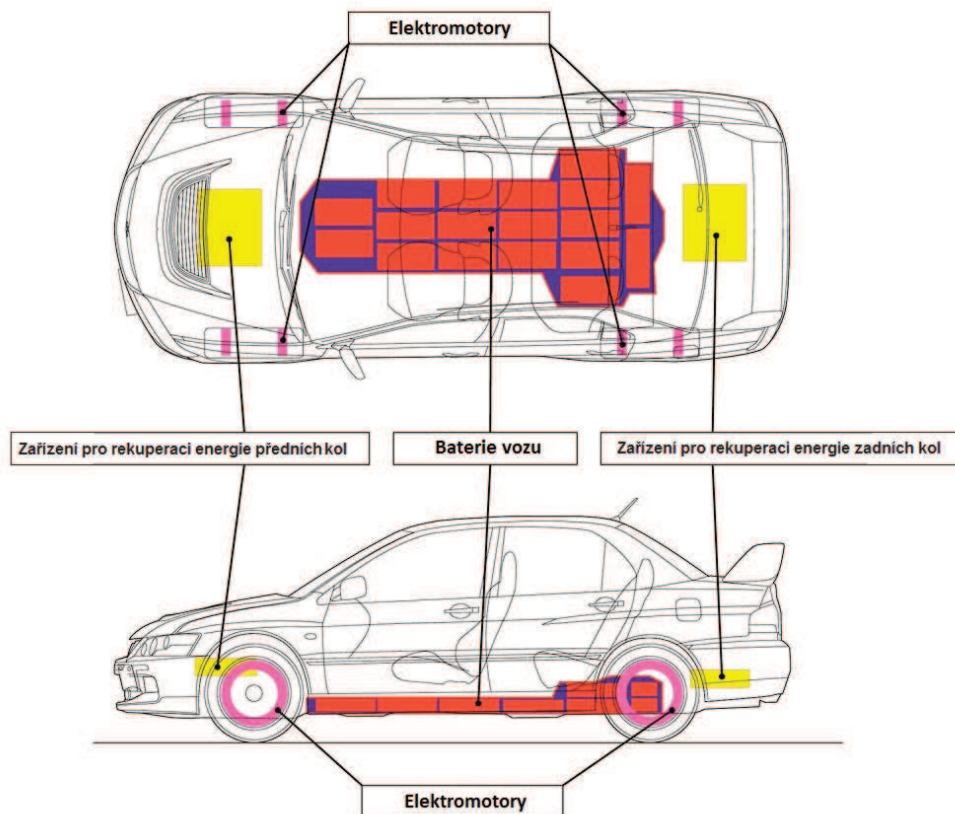


Obrázek 7: Vůz Mitsubishi MiEV pro závod Pike's Peak International [21]

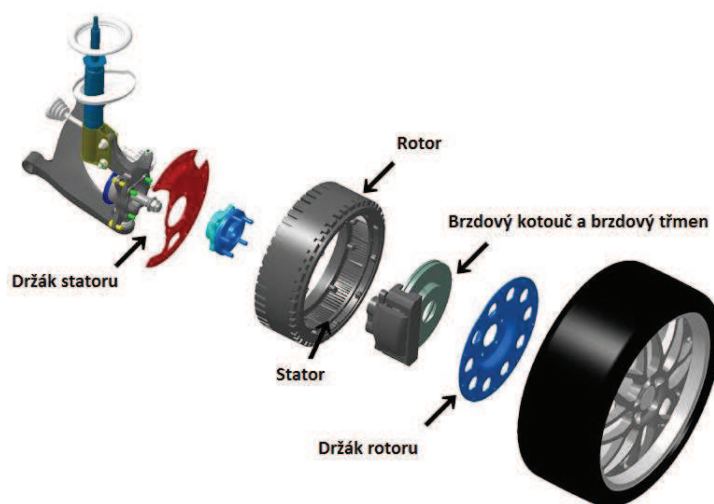
2.2.1.2 Mitsubishi Lancer EVO IX na elektropohon

V roce 2005 odstartovala automobilka Mitsubishi do závodu Shikoku EV Rally s vozem Mitsubishi Lancer EVO IX v úpravě pro alternativní pohon. Jednalo se o konstrukční evoluci, ve které spalovací motor plně nahradil elektromotor. Z vozu byl odstraněn spalovací motor, převodovka i hnací hřídele. Úprava vozu dostala označení Mitsubishi MiEV EVOLUTION. Jedná se o vůz poháněný všemi čtyřmi koly. Pohon je realizován čtyřmi elektromotory uloženými v každém kole vozu. Motory byly připraveny od firmy Toyo Denki Seizo. Jejich rozměry jsou 445x134 mm. Automobilka představila jako novinku elektromotor, který je tvořený ze statoru uvnitř a rotoru na vnějším obvodu. Výhodou je lepší nárůst výkonu a točivého momentu. Vůz je poháněn pomocí Li-on akumulátorů, které jsou umístěny mezi nápravami a podlahou. Snahou konstruktérů bylo uložit baterie tak, aby byl vůz co nejlépe vyvážen pro lepší chování při sportovní jízdě. Celková pohotovostní hmotnost vozu je

1590 kg. Každý z motorů produkuje maximální výkon 50 kW, nejvyšší točivý moment 518 Nm s maximálními otáčky 1500 min^{-1} . Maximální rychlost automobilu je 180 km/h a maximální dojezd 180 km. Další fotodokumentace vozu se nachází v příloze 2 [22].



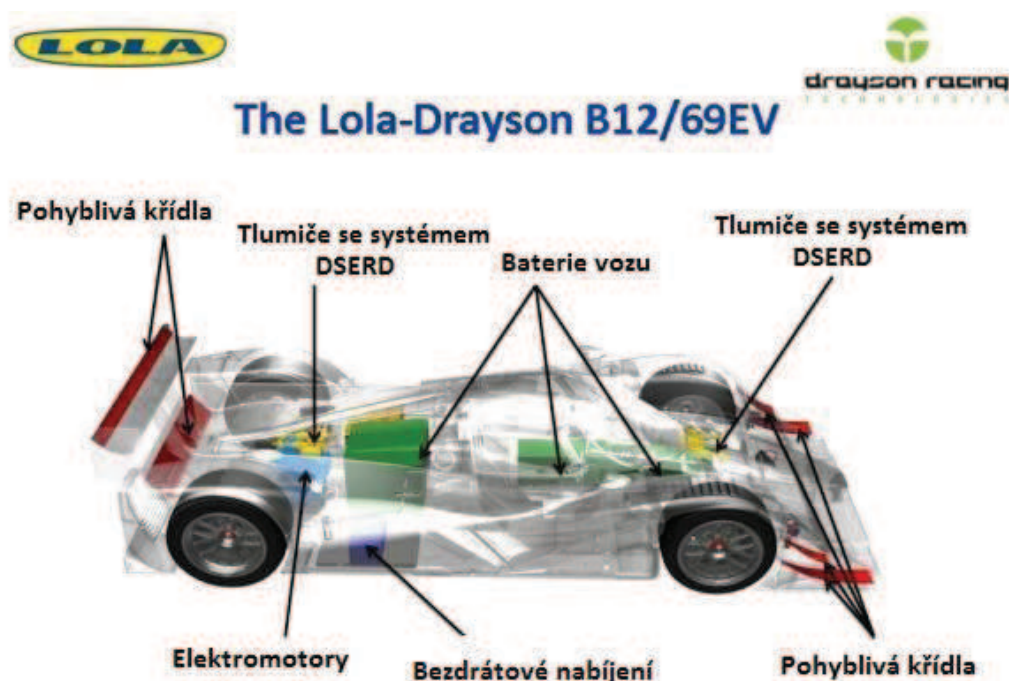
Obrázek 8: Zástavba vozu Mitsubishi Lancer [22]



Obrázek 9: Uložení elektromotoru v kole vozu [22]

2.2.1.3 Lola-Drayson B12/69EV

Společnosti Lola a Drayson Racing Technologie spolupracují na vývoji prototypu pro okruhové závody Le Mans a FIA Formula E Championship. Jejich hlavním cílem je zkonstruovat vysoce výkonný automobil, který bude inspirací pro budoucí vývoj v motoristickém sportu. Podvozek a základní konstrukci speciálu má na starost společnost Lola, která má s touto problematikou dlouholeté zkušenosti. Technologii a návrh zabudování alternativního pohonu má za úkol společnost Drayson Racing Technologie. Pohon zadní nápravy vozu budou obstarávat čtyři trakční elektromotory o výkonu 652 kW. Výkon motorů bude přenášěn na kola vozu pomocí jednostupňového redukčního převodu. Předpokládaná maximální rychlost vozu je okolo 320 km/h. Hmotnost vozidla bude okolo 1000 kg. Nabíjení bateriové soustavy bude realizováno pomocí moderního bezdrátového indukčního systému zabudovaného v podlaze při parkování vozu. Vůz je vybaven tlumiči se systémem DSERD pro rekuperaci energie. Tento vůz je zatím ve stádiu vývoje a testování. Zatím byl vůz představen na festivalu rychlosti v Goodwoodu. Bezpochyby bude zajímavé sledovat srovnání tohoto vozu se současnými speciály na spalovací motory [28].



Obrázek 10: Konstrukce vozu Lola-Drayson B12/69EV

2.2.1.4 Rimac e-M3.

Vůz Rimac e-M3 je postaven na základu vozidla BMW řady 3(E30) z roku 1984. Jedná se o elektromobil zkonstruovaný chorvatskou společností Rimac, která se specializuje na výrobu a vývoj elektrických vozidel nejen pro sportovní účely. Tento vůz je jedním z nejrychlejších elektromobilů na světě. Vozidlo bylo osazeno motorem o výkonu 447 kW (cca 600 koní). Zrychlení vozu je 3,3 sekundy z 0 na 100 km/h. Celková hmotnost vozu je 1150 kg. Maximální rychlost byla udána na 280 km/h. Dojezd vozidla na jedno nabití je 200km. Rimac e-M3 má v současné době na svém kontě 5 světových rekordů. Na rychlostní dráze nedaleko Záhřebu překonalo vozidlo rekord v 1/8 míle, 1/4 míle, 1/2 km, 1 kilometr a 1 míli [30].



Obrázek 11: Rimac e-M3 na závodu E-MIGLIA [31]

2.2.1.5 TMG EV P002 od Toyoty

Tento prototyp je dalším z řady elektromobilů vyvíjející se pro budoucí třídu v Le-Mans pro alternativní pohony a pro FIA Formula E Championship. Vůz je vybaven motorem o výkonu 350 kW a točivým momentem 900 Nm. Okruhový speciál má maximální rychlost 255 km/h. Toyota společně se společností Schneider Electric vyvinula systém nabíjení vozu, díky kterému se nechá dobít kdekoliv na světě. Jedná se o nabíjecí systém TMG DC, což je jednoduchá nabíječka zabudovaná v kufru vozu Toyota Hiace. Vůz je tedy dobíjen z druhé baterie. Toto řešení je velmi jednoduché a účinné. Při testování a vývoji vozu se Toyotě podařilo nastavit nový rekord po elektrická vozidla na severní smyčce známého německého okruhu Nürburgring. Testovací pilot vozu Jochen Krumbach zajel okruh dlouhý 20,8 km za 7 minut 22 sekund. Jeho průměrná rychlost byla okolo 170 km/h. Další fotodokumentace vozu se nachází v příloze 3 [33].



Obrázek 12: Vůz TMG EV P002 [33]

2.2.2 Motocyklový sport

2.2.2.1 Zero MX pro Motocross

Firma Zero Agni je jedna z největších firem zabývajících se vývojem motocyklů na elektrický pohon. V současné době pracuje na vývoji speciálu pro motocross enduro a sportovní volnočasovou jízdu. Firma vychází z moderních technologií dnešní doby. Motocykl je plně kompatibilní s bluetooth připojením k mobilnímu telefonu, které nabízí kompletní správu stroje. Je možné zjistit dojezd motocyklu, spotřebu energie a maximální rychlost. Motocykl je dále vybaven systémem pro rekuperaci energie z brzdění. U motocyklu pro elektrocross vycházejí konstruktéři z pevného robustního hliníkového rámu. Hlavním cílem bylo udělat co nejlehčí konstrukci stroje z důvodu co nejlepší ovladatelnosti při jízdě. Rám je osazen vzduchem chlazeným motorem Z-Force-moto o 54 koňských silách. Motocykl je dodáván ve dvou provedeních ZF2.8 (jeden pohonný modul), ZF5.7 (dva moduly). U varianty ZF2.8 je místo pro druhý modul vyplněné bateriovou soustavou. Tím má motocykl mnohem větší dojezd než ve druhé variantě na úkor výkonu. Maximální rychlost stroje ve sportovním režimu je 136 km/h. V současné době je stroj možné zakoupit i pro soukromé užití .[15]



Obrázek 13: Elektromotocykl ZERO MX pro motocross[15]

2.2.2.2 Tacita T-Race pro Enduro

V listopadu roku 2012 nasadila italská společnost Tacita svůj prototyp poháněný elektromotorem do nové kategorie New energy v rámci dálkového závodu Merzouga Rally v Maroku. Cílem společnosti bylo vyvinout elektrické enduro, které bude šetrné k životnímu prostředí a bude konkurovat se současnými spalovacími motory. Rám motocyklu se skládá z chrom-molybdenových trubek často používaných v motosportu pro svoji kompatibilitu a hmotnost. Motocykl je poháněn kapalinou chlazeným trakčním asynchronním motorem o maximálním výkonu 24 kW. Motocykl je vybaven systémem využití rekuperace energie. Zásobník energie je složen ze 4 hliníkových modulů. Prototyp je dobíjen z klasické zásuvky na 220 V. Jezdec má možnost využít pro jízdu mezi dunami 3 režimy jízdy Eco, Sport a Boost. Hmotnost motocyklu je 180 kg. [27]

2.2.3 Karting

2.2.3.1 Superkart na elektropohon

Na rozmezí roku v polovině roku 2011 dostala prachatické firma MS Kart zakázku od holandského dodavatele na vytvoření prototypu motokáry na elektropohon na podvozek pro třídu superkart. Vyrobené superkarty byly určeny pro holandský studentský šampionát Techno challenge, která má za cíl podporovat studenty technických středních škol v jejich mimoškolních aktivitách a rozvíjet jejich teamovou spolupráci. První prototypy byly vyzkoušeny začátkem roku 2012 na okruhu v holandském Zandvoortu. Superkarty na elektropohon byly osazeny 6 kW motory od značky Mars elektrik vodou chlazenými. Při vývoji nebyl kladen důraz na maximální výkon motokáry. Rám motokáry byl vybaven speciálním ochranným rámem a pásy pro větší bezpečnost studentů.



Obrázek 14: Superkart na elektropohon [41]

3 Vozidla poháněná plynem v motoristickém sportu

Plyn jako alternativní způsob pohonu v motoristickém sportu nemá tak pevné místo jako elektropohon, přesto je v motosportu používán. Technologie je stále ve stádiu rozvoje. V současné době se nepořádá žádný větší motoristický šampionát specializovaný pouze na pohon LPG nebo CNG. Tyto pohony jsou však zařazeny jako speciální třída v závodech současných spalovacích motorů. Pohon na plyn má bezesporu své velké výhody i nevýhody. Největší výhodou je šetrnost pohonu k životnímu prostředí a nízká cena pohonné látky. Mezi nevýhody patří menší výkon a údržba pohonu.

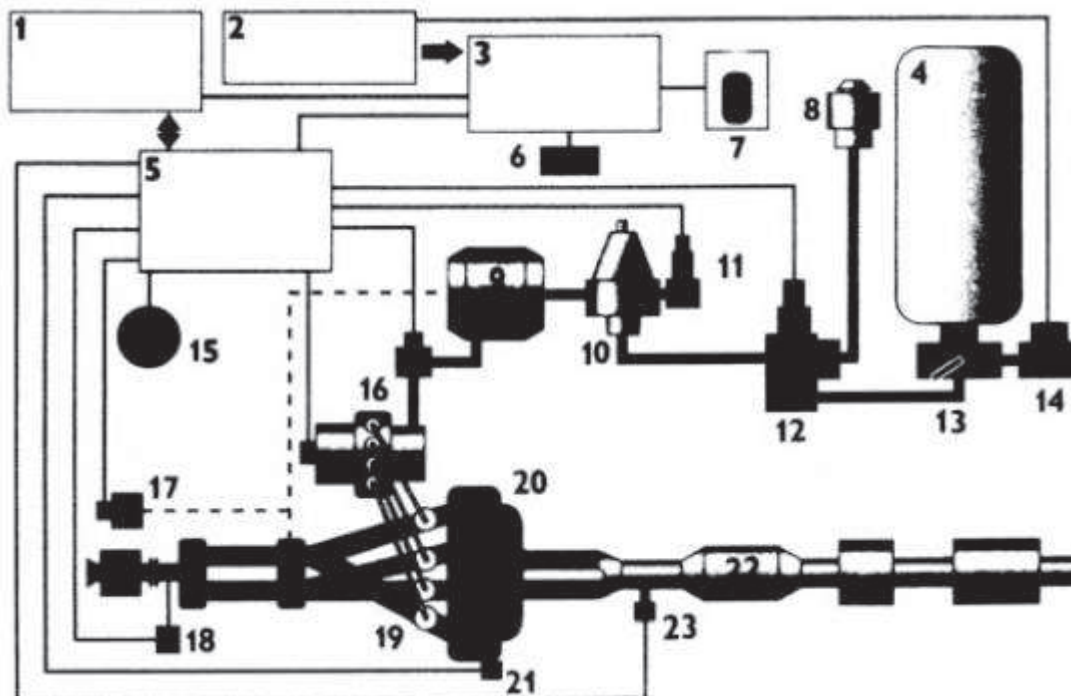
<i>Výhody pohonu na CNG/LPG</i>	<i>Nevýhody pohonu na CNG/LPG</i>
Nižší náklady na palivo	Výkon
Šetrnost k životnímu prostředí	Maximální točivý moment
Rychlé doplnění paliva	Maximální rychlost
	Vysoká pořizovací cena
	Vysoká výrobní cena
	Údržba
	Hlučnost
	Hmotnost

Tabulka 3: Výhody a nevýhody CNG/LPG pohonu v porovnání s ostatními pohony

3.1 Technologie CNG a LPG

3.1.1 Pohon CNG

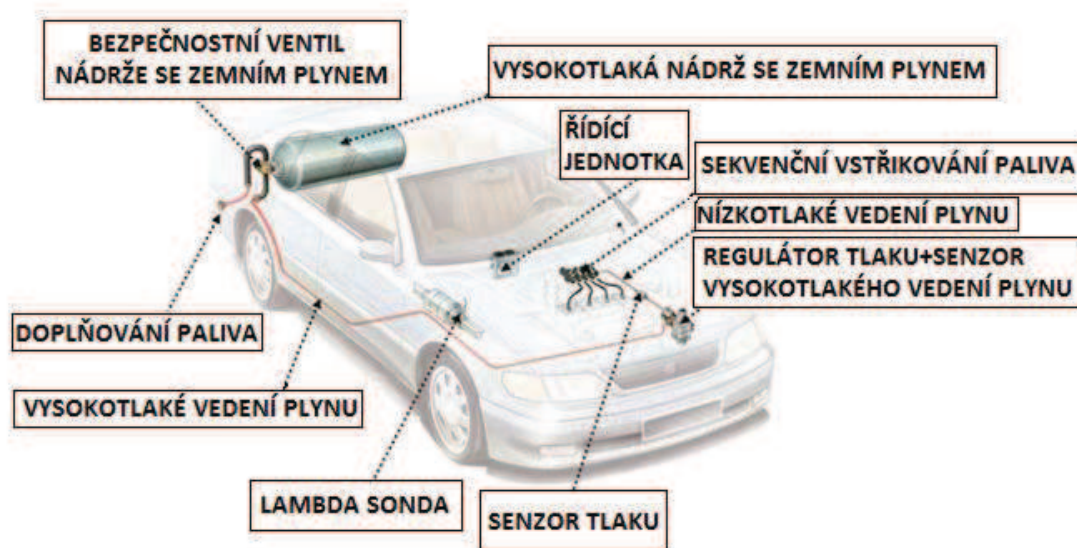
Pohonem na CNG se rozumí alternativní pohon na stlačený zemní plyn, který se skládá z 85% metanu, 10 % dusíku a 5% z vyšších uhlovodíků. Plyn bývá v zásobníku vozidla stlačen až na 200 barů. Pro alternativní pohony se více používá zkapalněný zemní plyn, který se často vyskytuje pod zkratkou LNG. Zkapalněný zemní plyn má mnoho výhod. Především se zkapalněním zmenší objem plynu až 6x. K dosažení stavu LNG je potřeba teplota -162°C . V pohonné jednotce na CNG je zapotřebí vytvořit směs plynu se vzduchem. Efektivní způsob je vstřikováním plynu do sacích potrubí motoru pomocí vstřikovacích ventilů. Vstřikování benzínu i plynu je pomocí elektronické řídicí jednotky. Trysky pro plyn a benzín jsou samostatné. [29]



Obrázek 15: Schéma pohonu na zemní plyn společně se řídicí jednotkou [29]

Části pohonu na zemní plyn			
Číslo na obr.15	Název	Číslo na obr.15	Název
1.	Elektronická řídicí jednotka	13.	Uzávěr nádoby na zemní plyn
2.	Přístroje	14.	Tlakové čidlo
3.	Přepínací modul provozu	15.	Volič kvality zemního plynu
4.	Nádrž na stlačený plyn	16.	Nízkotlakový ventil
5.	Řídicí jednotka soustavy na zemní plyn	17.	Tlakové čidlo v sacím potrubí
6.	Nárazové čidlo	18.	Čidlo polohy škrtkové klapky
7.	Přepínač volby paliva na přístrojové desce	19.	Vstřikovací ventil sacího plynu v sacím potrubí
8.	Plnicí přípojka	20.	Dávkovač zemního plynu
9.	Regulátor tlaku	21.	Čidlo teploty motoru
10.	Vysokotlaký reduktor	22.	Třícestný katalyzátor výfukových plynů
11.	Tlakový spínač	23.	Lambda sonda
12.	Vysokotlaký ventil		

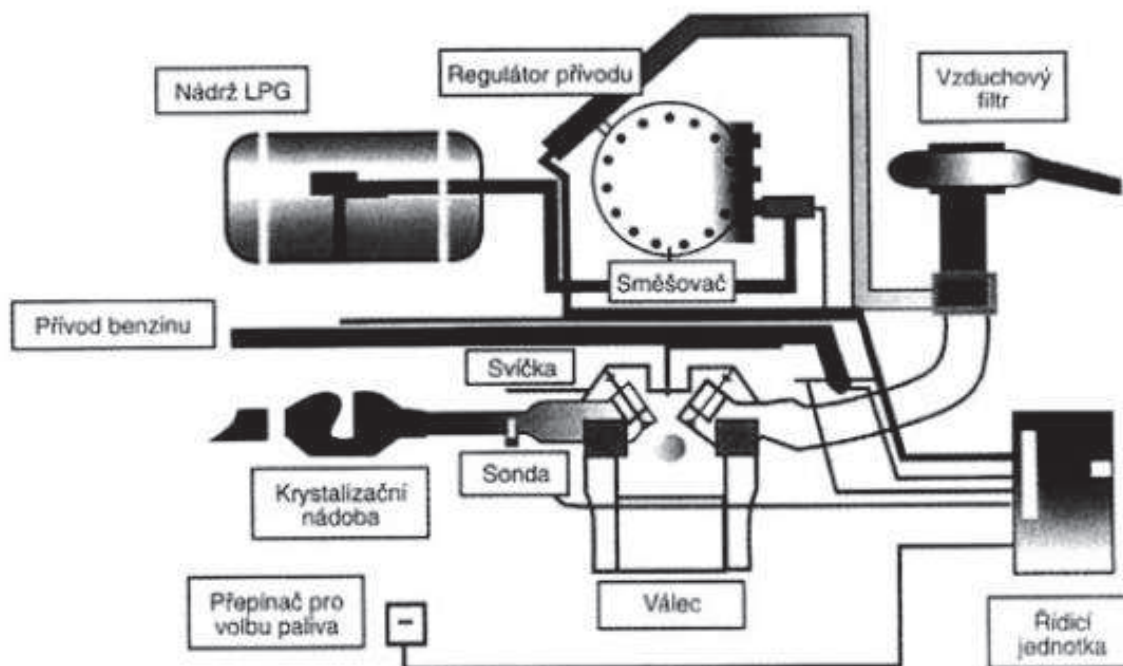
Tabulka 4: Popis částí pohonu na zemní plyn[29]



Obrázek 16: Zástavba CNG technologie do vozidla[42]

3.1.2 Pohon LPG

Pohonem na LPG se rozumí pohon ropným plynem nejčastěji směsí propanu a butanu. Jedná se o zkapalněný plyn. LPG jako palivo má svůj největší přínos ve své homogenní směsi s palivem, díky které se lépe rozdělí mezi válce. Je to velká výhoda po samotné spalování směsi.



Obrázek 17: Blokové schéma pohonu s dvou palivovým řešením LPG a benzínu[29]

Z nádrže na LPG je přiváděn plyn do směšovače, kde se mísí se vzduchem. Benzín a směs je přiváděna do válce motoru, kde probíhá spalovací proces. Veškerá činnost je řízena pomocí řídicí jednotky, která je napojena na přepínání volby jednotlivého typu paliva.

3.2 Využití v motoristickém sportu

3.2.1 Automobilový sport

3.2.1.1 Projekt CNG-R od Stohl racing

V roce 2006 se rakouská firma Stohl racing společně s firmou OMW rozhodly, že začnou vyvíjet pohon pro závodní vozy startující v rally. Základní myšlenkou bylo vytvořit konkurenční soutěžní vůz pohaněný pohonem na zemní plyn, který bude šetrnější k životnímu prostředí než vozy poháněné současnými spalovacími motory. Od počátku projektu byl plán vylepšit klasickou technologii pohonu na zemní plyn, která není dostatečně silná a spolehlivá pro použití v soutěžních vozech. V klasickém pohonu je vstřikování do válců realizované jednou vstřikovací jednotkou na čtyři válce. Ve vozech od firmy Stohl racing je to realizováno pomocí čtyř vstřikovacích jednotek. Každý válec má tak vlastní vstřikovací jednotku, což zvyšuje efektivnost pohonu pro použití v závodním režimu. Ve vozech je elektronicky regulován tlak plynu pomocí regulátoru PID. Velký důraz při konstrukci každého vozu je kladen na co nejmenší hmotnost. Při konstrukci pohonu na plyn je problém se zásobníkem zemního plynu, který má velkou hmotnost. Vývojáři použili čtyři kusy CNG lahví vyrobených z nekovových materiálů. Lahve jsou vždy rozmístěny symetricky ve voze. Rozvážení a konstrukce vozu se provádí společně s posádkou vozu při konstrukci pohonu. Řídící jednotka pro pohon zemního plynu zařizuje závodní jednotka MOTEC, která je určena

pro ovládání všech částí vozu. Vůz má tak jednu řídicí jednotku pro ovládání všech funkcí vozu pro závodní režim. Řídicí jednotka MOTEC má svůj vlastní software pro stahování dat do počítače, což značně zjednodušuje nastavení jednotlivých funkčních částí vozu. Během sedmiletého vývoje se firma Stohl racing dostala mezi jednu z nejúspěšnějších firem v konstrukci vozů na zemní plyn. Již v roce 2007 vyhrál vůz Mitsubishi Lancer Evolution 6 svůj první závod mezi vozy poháněnými současnými spalovacími motory rakouskou Rally Ostarrichi. V současnosti je na vrcholu rallyové scény éra vozů S2000. V roce 2010 představil majitel společnosti Manfred Stohl vůz Peugeot 207 S2000 poháněný technologií CNG-R. Tento vůz však nedosahoval tak vysokého výkonu, jako továrně postavený vůz poháněný spalovacím pohonem. Technologii team stále vyvíjí. Novou výzvou rakouských konstruktérů je však stavba vozu Peugeot 207 S2000 na elektropohon. Tento prototyp je však ve stádiu návrh. V současnosti není vůz provozuschopný. [42]

3.2.1.2 Mitsubishi Lancer Evolution IX na zemní plyn

Společnost Charouz racing představila jako první závodním vůz poháněný stlačeným zemním plynem na českých rallyových tratích. Premiéra vozu Mitsubishi Lancer Evolution 9 se uskutečnila v roce 2009 na rallysprintovém závodě Rally Lužické Hory. Vůz pilotoval známý český jezdec Václav Pech. Při své premiéře dosáhla posádka Václav Pech-Petr Uhel na čtvrté místo v absolutním pořadí. S vozem od společnosti Charouz racing startovala dále na několika závodech posádka Tomáš Enge-Michal Ernst. V současnosti na české rallyové scéně nestartuje žádný vůz poháněný pohonem na CNG. [44]



Obrázek 18: Český závodník Tomáš Enge při testech vozu [43]

4 Srovnání nejvyužívanějších alternativních pohonů v motoristickém sportu

<i>Kritérium</i>	<i>Typ pohonu</i>		
	<i>Elektropohon</i>	<i>LPG/CNG</i>	<i>Naftový pohon</i>
Výkon	+	-	+
Spotřeba paliva	-	+	+
Hmotnost	-	-	+
Dojezd	-	+	+
Možnost využití obnovitelných zdrojů	+	-	-
Výrobní cena	-	-	+
Pořizovací cena	-	-	+
Údržba	+	-	-
Hlučnost	+	-	-
Šetrnost k životnímu prostředí	+	+	-
Doba doplnění paliva	-	+	+
Účinnost pohonu	+	-	-
Počet kladných hodnocení	6	4	7
Počet záporných hodnocení	6	8	5

Tabulka 5: Tabulka srovnání elektropohonu, LPG/CNG a naftového pohonu

5 Konstrukční návrh zástavby motokáry elektromotorem

5.1 Rozbor návrhu

Vzhledem k tomu, že elektropohon je jeden z nejrozsáhlejších alternativních pohonů používaných v motoristickém sportu, provedeme konstrukční návrh zástavby elektromotoru do závodní motokáry.

Specializované závodní okruhy pro závodní motokáry mají zpravidla délku okolo 1 km. Závodní jízdy nepřesahují délku 15 minut, proto budeme předpokládat teoretický dojezd větší než 15 minut. Převod točivého momentu na zadní osu bude vytvořen pomocí řetězového převodu. Převod je závislý na profilu trati, hmotnosti motokáry a schopnostech jezdce. Návrh převodu provedeme teoreticky z maximálních otáček navrhovaného motoru, průměru zadní pneumatiky a maximální rychlosti, které budeme chtít na daném okruhu dosáhnout. Pro realizaci řetězového převodu budou použity standardní sériová řetězová kola určená pro závodní třídu Honda GX 390.

<i>Vstupní parametry pro návrh</i>	<i>Hodnota</i>
Výkon	8 kW<
Teoretická doba provozu	≈15 min
Palubní napětí	<60 V

Tabulka 6: Vstupní parametry pro návrh

5.2 Návrh elektromotoru

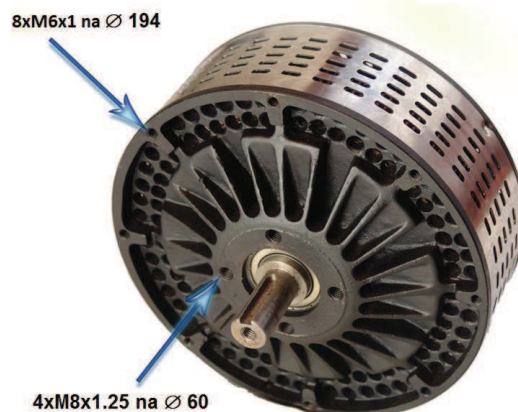
5.2.1 Volba elektromotoru

-pro zástavbu byl zvolen elektromotor AGNI MOTORS 95 (48V)

Typ motoru	Stálý výkon motoru při 48V	Maximální ot/min	Odběrový proud při 48V	Maximální krátkodobý výkon
95	10,7kW	≈4000	250A	≈22kW

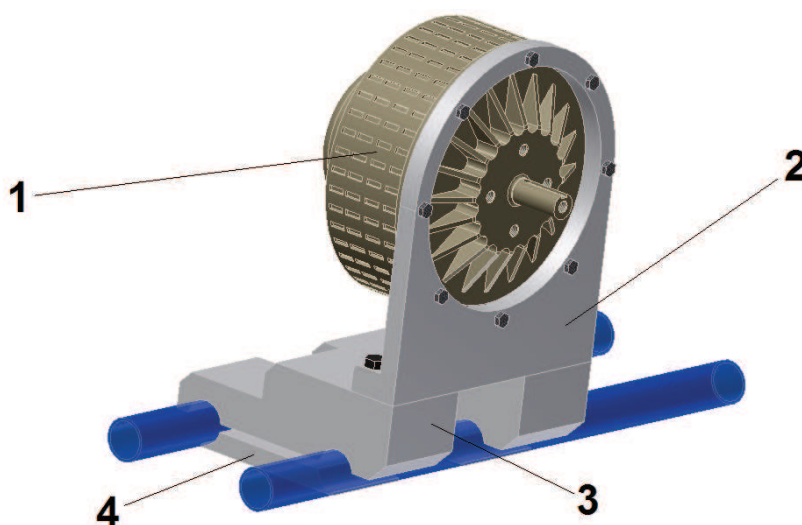
Tabulka 7:Technické parametry motoru AGNI 95 [45]

5.2.2 Otvory pro instalaci elektromotoru



Obrázek 19:Otvory pro uchycení motoru značky AGNI [48]

5.2.3 Uchycení elektromotoru



Obrázek 20:Řešení uchycení elektromotoru

Elektromotor AGNI MOTORS 95 (1) je přišroubován pomocí osmi šroubů M6x1 k rámu držáku elektromotoru (2). Rám je sešroubován s dvěma držáky motoru (3). Sestava je spojena s rámem motokáry pomocí dvou klem (4). Držák je navržený na průměr trubek rámu 32 mm a rozteč 125 mm.

5.3 Zvolený profil trati pro elektromotokáru



Obrázek 21: Nákres profilu trati založený na motokárovém okruhu v Písku

Zástavba elektromotoru do rámu závodní motokáry je určena pro upravený motokárový okruh Písek-Hradiště, který má délku 1250m [51]. Sektory A(80m) , B(60m) na obrázku 21 znázorňují oblasti okruhu, kde se předpokládá maximální výkon elektromotoru. Červené body označují zpomalující obrubníky.

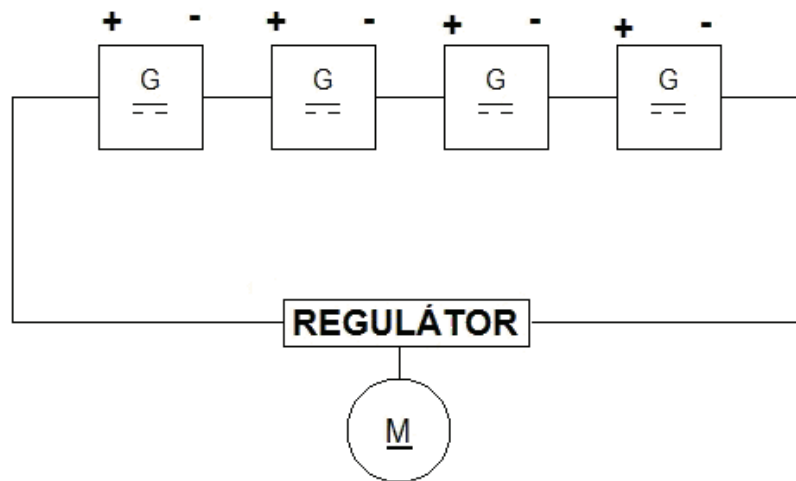
5.4 Návrh baterie

Baterie je navrhována v závislosti na parametrech motoru a profilu závodní trati. Pro nepřetržitě maximální využití výkonu motoru po celou dobu závodu by bylo zapotřebí 16 baterií s parametry 12V/90Ah v sério-paralelním zapojení. Toto řešení je z hlediska vysoké hmotnosti bateriové soustavy nevhodné. Z důvodu předpokládané potřeby maximálního výkonu elektromotoru v 11,2 % okruhu využijeme řešení se čtyřmi bateriemi 12V/90Ah zapojenými sériově. Při použití baterií s menší kapacitou se zmenší celková doba jízdy.

Název	Hodnota
Kapacita [Ah]	90
Jmenovité napětí [V]	12
Maximální pracovní teplota [°C]	80
Výška [mm]	248
Šířka [mm]	282
Hloubka [mm]	155
Hmotnost baterie [kg]	15

Tabulka 8: Technické parametry použité baterie [40]

5.4.1 Blokové schéma zapojení



Obrázek 22: Blokové schéma použitého zapojení baterií

5.4.2 Výpočet parametrů bateriové soustavy

Výpočet celkové kapacity

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 90Ah$$

Výpočet celkového napětí

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

$$U = 12V + 12V + 12V + 12V$$

$$U = 48V$$

5.5 Volba regulátoru

Pro návrh byl zvolen regulátor AXE 8.5" Heatsink – 7245.
-regulátor je programovatelný přes port RS232 pomocí PC

Parametr	hodnota
Bateriové napětí [V]	24-72
Proudové omezení [A]	450
30 sekundové pozorování [A]	
2 minutové pozorování [A]	
5 minutové pozorování [A]	350
Pokles napětí @100Amp [V]	<0,11

Tabulka 9: Technické parametry zvoleného regulátoru [39]

5.6 Návrh řetězového převodu

Návrh řetězového převodu bude proveden teoreticky ze zvoleného počtu zubů hnacího kola, maximální rychlosti, maximálních otáček zvoleného motoru a průměru zadního kola motokáry.

5.6.1 Vstupní údaje pro výpočet

<i>Vstupní údaje pro výpočet</i>	
Počet zubů hnacího kola z_1 [-]	15
Obvodová rychlost zadního kola v [km/h]	70
Maximální otáčky motoru n_1 [ot/min]	4000
Průměr zadního kola D [mm]	284

Tabulka 10: Vstupní údaje pro návrh řetězového převodu

5.6.2 Převod veličin na základní jednotky

Maximální rychlost

$$v = 70 \text{ km/h} = 19,44 \text{ m/s}$$

Maximální otáčky motoru

$$n_1 = 4000 \text{ ot/min} = 66,6 \text{ ot/s}$$

Průměr zadního kola:

$$D = 284 \text{ mm} = 0,284 \text{ m}$$

5.6.3 Výpočet převodu

5.6.3.1 Výpočet otáček hnaného kola

-ze vzorce pro obvodovou rychlost si vyjádříme výstupní otáčky n_2

Vzorec pro obvodovou rychlost

$$v = \pi \cdot D \cdot n_2$$

Výpočet otáček hnaného kola

$$n_2 = \frac{v}{\pi \cdot D}$$

$$n_2 = \frac{19,44}{\pi \cdot 0,284}$$

$$n_2 = 22,24 \text{ ot/s}$$

5.6.3.2 Výpočet převodového poměru $i_{1,2}$:

-převodový poměr vypočteme z poměru vstupních a výstupních otáček

$$i_{1,2} = \frac{n_1}{n_{21}}$$

$$i_{1,2} = \frac{66,6}{22,24}$$

$$i_{1,2} = 2,994$$

5.6.3 Výpočet počtu zubů zadního ozubeného kola

- počet zubů zadního řetězového kola z_2 vypočteme z převodového poměru a zvoleného počtu zubů vstupního ozubeného kola

Vzorec pro převodový poměr

$$i_{1,2} = \frac{z_2}{z_1}$$

Výpočet počtu zubů zadního řetězového kola

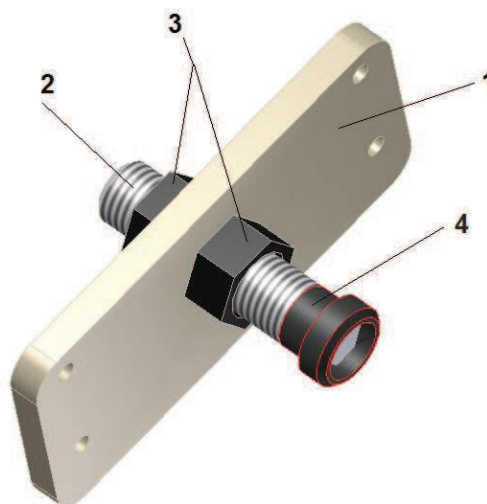
$$z_2 = z_1 \cdot i_{1,2}$$

$$z_2 = 15 \cdot 2,994$$

$$z_2 = 44,91 \approx 45$$

Daný převodový poměr bude 2,994.

5.6.4 Napínání řetězu



Obrázek 23: Sestava dopínání řetězu

Napínání řetězu je zajištěno pomocí napínacího segmentu, který je přišroubován na domečky ložisek pomocí čtyř šroubů M6x1. Napínací segment se skládá z desky (1), napínacího šroubu o průměru 20 mm (2), dvou aretačních matic (3) a dorazu (4).

5.6.5 Volba řetězu

Řetěz	Rozteč mm	Vnitřní šířka mm	Průměr válečku mm	Čep		Tloušťka destičky		Hmotnost kg/m	Pevnost při přetržení (F_T) N
				Průměr mm	Délka mm	Vnitřní mm	Vnější mm		
219	7,774	4,60	4,59	3,00	12,15	1,30	1,40	0,30	9500
219OR	7,774	4,60	4,59	3,07	13,15	1,30	1,40	0,32	9500
428	12,70	7,75	8,51	4,45	17,80	1,60	1,80	0,80	22000

Tabulka 11: Tabulka nejpoužívanějších řetězů pro motokáry firmy ČZ[49]

Pro návrh byl zvolen řetěz TYP 428 . Je to nejpoužívanější řetěz používaný v motokárovém sportu pro svou vysokou pevnost při přetržení.

5.6.5.1 Kontrola zvoleného řetězu

Výpočet roztečné kružnice předního řetězového kola

$$d = \frac{p}{\sin \frac{180}{z_1}}$$

$$d = \frac{12,70}{\sin \frac{180}{15}}$$

$$d = 61,08 \text{ mm} = 0,061 \text{ m}$$

Výpočet úhlové rychlosti

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_1$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 66,6$$

$$\omega = 418,8 \text{ rad / s}$$

Výpočet kroutícího momentu od motoru

$$M_k = \frac{P}{\omega}$$

$$M_k = \frac{22000}{418,8}$$

$$M_k = 52,2 \text{ Nm}$$

Výpočet obvodové síly na ozubeném kole

$$M_k = F \cdot \frac{d}{2}$$

$$F = \frac{2M_k}{d}$$

$$F = \frac{2 \cdot 52,2}{0,061}$$

$$F = 1711,4 \text{ N}$$

Výpočet obvodové rychlosti na hnacím ozubeném kole

$$v_1 = \pi \cdot d \cdot n_1$$

$$v_1 = \pi \cdot 0,061 \cdot 66,6$$

$$v_1 = 12,7 \text{ m / s}$$

Výpočet odstředivé síly od řetězu

$$F_o = m \cdot v_1^2$$

$$F_o = 0,8 \cdot 12,7^2$$

$$F_o = 129 \text{ N}$$

Výpočet celkového maximálního zatížení řetězu

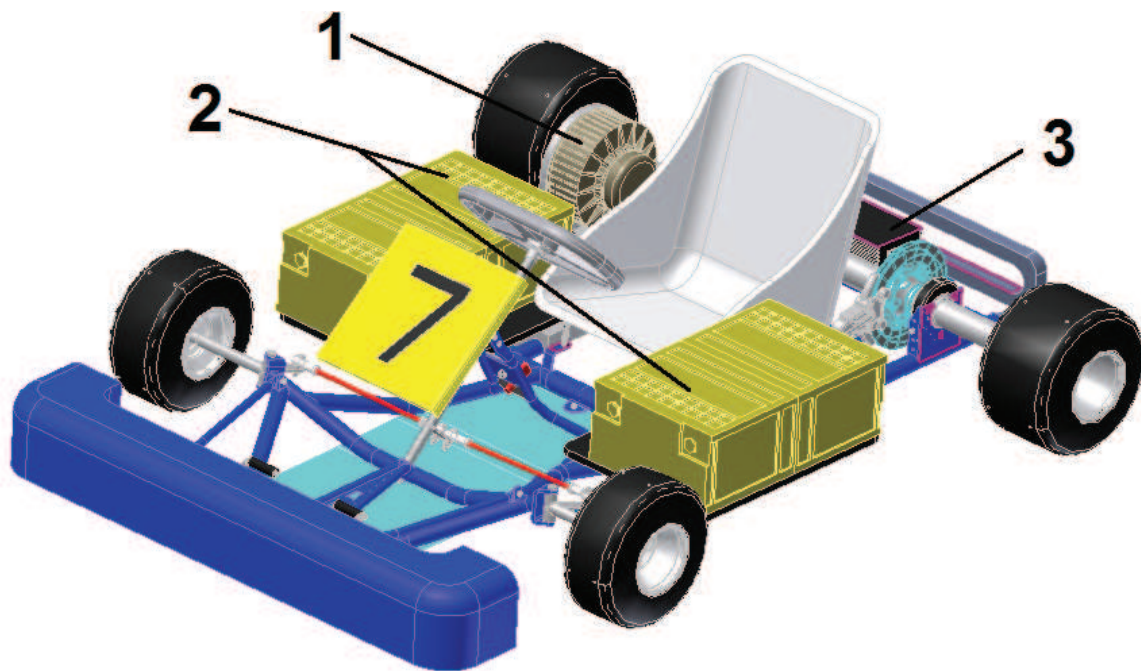
$$F_c = F + F_o$$

$$F_c = 1711,4 + 129$$

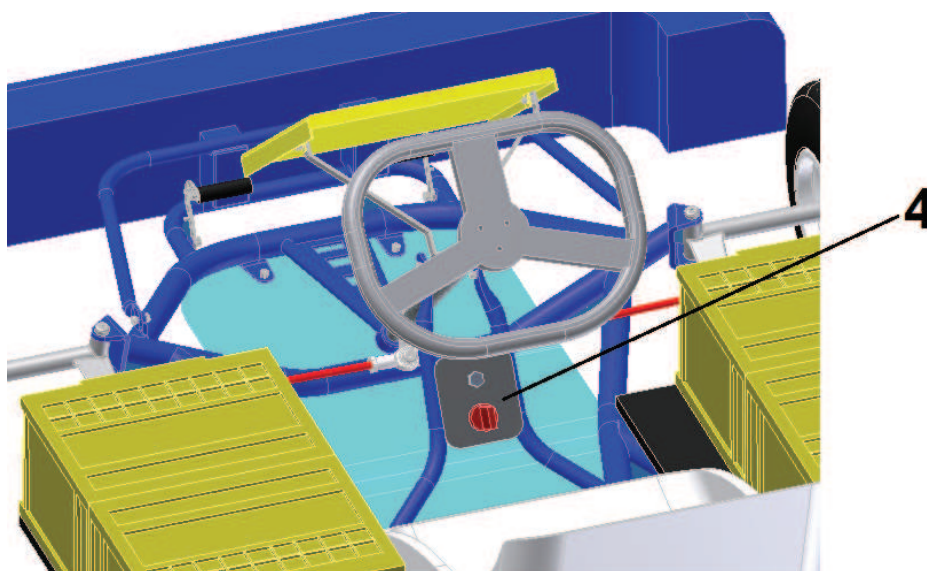
$$F_c = 1840,4N$$

$$F_c < F_r \Rightarrow \text{řetěz vyhovuje}$$

5.7 Návrh rozložení komponent na rám motokáry



Obrázek 24: Návrh zástavby pohonu do rámu motokáry



Obrázek 25: Umístění ovládacího panelu

<i>Název</i>	<i>Pozice</i>
Elektromotor	1
Bateriová soustava	2
Regulátor	3
Ovládací panel	4

Tabulka 12: Popis částí elektromotokáry

5.8 Porovnání navrženého elektropohonu s motokárou třídy Honda GX390

<i>Motokára s pohonem Honda GX 390</i>	
<i>Parametry</i>	<i>Hodnota</i>
Maximální výkon motoru [kW]	11,3
Kroutící moment [Nm]	17,4
Maximální otáčky [ot/min]	6200
Hmotnost motoru [kg]	36
Hmotnost podvozku [kg]	70
Celková hmotnost motokáry[kg]	106

Tabulka 13: Parametry závodní motokáry Honda GX390

<i>Motokára s elektropohonem</i>	
<i>Parametry</i>	<i>Hodnota</i>
Maximální výkon motoru [kW]	22
Kroutící moment [Nm]	52,2
Hmotnost motoru [kg]	11
Hmotnost bateriové soustavy [kg]	60
Hmotnost podvozku [kg]	70
Celková hmotnost motokáry[kg]	141

Tabulka 14: Parametry elektromotokáry[40], [45], [52]

Elektromotor je o 25 kg lehčí než spalovací motor Honda GX 390. Bateriová soustava elektromotokáry má hmotnost 60 kg. Důsledkem toho je výsledná hmotnost motokáry na elektropohon o 35 kg větší než u motokáry s motorem Honda GX 390. Tento váhový rozdíl může v závodě znamenat rozdíl 2-3s na okruh v závislosti na profilu trati. Motokára na elektropohon má však lepší parametry motoru, díky kterým by se tato časová ztráta v praxi značně eliminovala.

6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá alternativními pohony v motoristickém sportu. Hlavním cílem práce bylo shromáždit poznatky o současných alternativních pohonech v motoristickém sportu včetně prototypů. Dalším úkolem bylo provést teoretický návrh možnosti zástavby elektropohonu do rámu závodní motokáry.

V současnosti se nejvíce závodních akcí pořádá pro elektropohony, které prošly v poslední době největším technickým vývojem. Elektropohony se používají v automobilovém sportu, motocyklovém sportu a v motokárovém sportu. Samotná technologie se stále vyvíjí. Neustále se pracuje na nových prototypch poháněných elektropohonem. Vývoj technologie je zaměřen na snížení hmotnosti vozu, zvýšení dojezdu a dosažení co nejlepších parametrů elektropohonu. V oblasti pohonu na plyn byl zaznamenán mnohem menší vývoj, než u elektropohonu. V současnosti je pohon na plyn používán pouze v automobilovém sportu. Vývojem technologie se nejvíce zabývá rakouská firma Stohl racing.

V oblasti návrhu zástavby elektropohonu do rámu závodní motokáry byl zvolen elektromotor AGNI MOTORS 95 a regulátor AXE 8.5" Heatsink – 7245. Pro námi zvolený traťový profil byla navržena bateriová soustava se čtyřmi bateriemi 90Ah zapojenými v sérii. Dále byl z daných parametrů navržen převodový poměr 2,994, napínání řetězu a zkontrolován zvolený řetěz. V závěru byla navržena zástavba jednotlivých komponentů do rámu motokáry. Při porovnání navržené elektromotokáry s motokárou třídy Honda GX 390 se ukázalo, že výsledný návrh je o 35kg těžší než motokára se spalovacím motorem. Tento nedostatek však zmírňuje větší výkon elektromotoru. Vývoj technologie jde neustále kupředu. Po zmenšení hmotnosti bateriové soustavy bude elektromotor brzy konkurenceschopný spalovacímu motoru.

Použitá literatura

- [1] *Kdo má ve světě nejvíce zásob ropy a jak dlouho vydrží? Žebříček*; [cit. 2013-02-18] online dostupný z: <http://aktualne.centrum.cz/finance/grafika/2012/06/22/kdo-ma-ve-svete-nejvice-cerneho-zlata-novy-zebrice/>
- [2] *Pojem alternativní*; [cit. 2012-10-18] online dostupný z: <http://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/alternativni>
- [3] *Motorsport*; [cit. 2012-11-14] online dostupný z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Motorsport>
- [4] *Luigi Galvani*; [cit. 2012-10-01] online dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Luigi_Galvani
- [5] *Voltův sloup*; [cit. 2012-12-12] online dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Volt%C5%AFv_sloup
- [6] *Michael Faraday*; [cit. 2012-12-12] online dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday
- [7] MICHAEL H. WESTBROOK *The Electric cars: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars*. London: The Institution of Electrical Engineers, 2001. ISBN 0-85296-013-1.
- [8] *Pravidla silničního provozu*; [cit. 2012-09-18] online dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pravidla_silni%C4%8Dn%C3%ADho_provozu
- [9] *Prologue - Preparing the way for the Columbia cars, and the formation of the Electric Vehicle Company*; [cit. 2012-10-11] online dostupný z: <http://www.kcstudio.com/electrobat.html>
- [10] *Pohon na dřevoplyn*; [cit. 2012-10-22] online dostupný z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/drevoplynova-vozidla-plavidla-pohon-drevoplyn-drevoplyn.htm>
- [11] *Využití svítiplynu pro pohon vozidel*; [cit. 2012-09-02] online dostupný z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-na-plyn-pohon-svitiplýn-koks-cechy-morava-slezsko.htm>
- [12] *Metan a propan butan*; [cit. 2012-10-28] online dostupný z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/methan-jizda-na-metan-propan-butan-leuna-gas.htm>
- [13] *SODI Prototype*; [cit. 2012-10-28] online dostupný z: <http://www.sodikart.com/en/karts-sodi-prototype.html>
- [14] VROOM international karting. From alcohol to electricity. *VROOM*. January 2013. roč. 25, č. 140, s. 77.
- [15] *ZERO MX motocross*; [cit. 2012-10-09] online dostupný z: <http://www.zeromotorcycles.com/zero-mx/>
- [16] *2009 Isle of Man TT*; [cit. 2012-10-18] online dostupný z: http://en.wikipedia.org/wiki/2009_Isle_of_Man_TT#Practice_Times_TTXGP
- [17] *Tesla Roadster zvítězila v alternativní Rallye Monte Carlo*; [cit. 2012-10-10] online dostupný z: <http://www.hybrid.cz/novinky/tesla-roadster-zvitezila-v-alternativni-rallye-monte-carlo>
- [18] 2012 Chevrolet Volt Enters 2012 Monte Carlo Alternative Energy Rally; [cit. 2012-10-10] online dostupný z: http://www.greencarreports.com/news/1074314_2012-chevrolet-volt-enters-2012-monte-carlo-alternative-energy-rally
- [19] The TTXGP Hall of Fame; [cit. 2012-11-28] online dostupný z: <http://www.ttxgp.com/hall%20of%20fame.php>

- [20] The TTXGP Technical rules;
[cit. 2013-01-19] online dostupný z:
http://www.egrandprix.com/files/file/Technical_Rules_for_TTXGP_event_v24_2011%20%20Race%20Season.pdf
- [21] *Mitshubishi představilo závodní elektromobil i-MiEV Evolution*;
[cit. 2013-01-19] online dostupný z: <http://www.hybrid.cz/mitsubishi-predstavilo-zavodni-elektromobil-i-miev-evolution>
- [22] *Mitshubishi Lancer evolution MIEV*;
[cit. 2013-01-20] online dostupný z: <http://www.auto.cz/mitsubishi-lancer-evolution-miev-elektrizujici-evo-15344>
- [23] *Motokáry na elektrický pohon v Offenbachu*; [cit. 2013-01-20] online dostupný z:
<http://www.kartingsport.cz/sekce/2/lnky/1578/motokry-na-el-pohon-v-offenbachu/>
- [24] *About Formula SAE*; [cit. 2013-01-20] online dostupný z:
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/about.htm>
- [25] *Formula Hybrid*; [cit. 2013-01-21] online dostupný z:
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/about.htm>
- [26] *Formula Hybrid rules*; [cit. 2013-01-21] online dostupný z: <http://www.formula-hybrid.com/pdf/Formula-Hybrid-2013-Rules.pdf>
- [27] *Elektrické enduro*; [cit. 2013-01-21] online dostupný z:
<http://elektromobily.sk/elektricke-enduro>
- [28] *Zelená Lola*; [cit. 2013-02-04] online dostupný z: <http://elektromobily.sk/zelena-lola>
- [29] Prof. Ing. František Vlk, DrSc., *Alternativní pohony motorových vozidel.Soudní inženýrství*.2004, roč. 15, č. 4, s.214,215, 217, 218.
- [30] *Upravené BMW z roku 1984*; [cit. 2013-02-05] online dostupný z:
<http://www.novinky.cz/auto/tuning/281694-upravene-bmw-z-roku-1984-je-pri-sprintu-nejrychlejsim-elektrickym-autem-sveta.html>
- [31] *Rimac automobili*; [cit. 2013-02-05] online dostupný z: <http://www.rimac-automobili.com/evaluation-vehicles/e-m3-photo-gallery-19>
- [32] *E-Miglia*; [cit. 2013-02-06] online dostupný z: <http://2010.e-miglia.com/de/index.php>
- [33] *Elektrosportwagen von Toyota fahrt Rundenrekord auf der Nordschleife*; [cit. 2013-02-04] online dostupný z: <http://anders-unterwegs.de/elektrosportwagen-von-toyota-faehrt-rundenrekord-auf-der-nordschleife/>
- [34] *Zero Hosts electric 24 hr endurance race*; [cit. 2013-02-10] online dostupný z:
<http://www.motorcycle.com/news/zero-hosts-electric-24-hr-endurance-race-88100.html>
- [35] *Electric cross*; [cit. 2013-02-10] online dostupný z:
<http://www.zeromotorcycles.com/electricross>
- [36] *Formula E Holdings*; [cit. 2013-02-11] online dostupný z:
http://www.formulaeholdings.com/downloads/press_release.pdf
- [37] *Shell eco maraton Rules*; [cit. 2013-02-21] online dostupný z:
<http://s07.static-shell.com/content/dam/shell/static/ecomarathon/downloads/pdf/sem-rules-chapter012013.pdf>
- [38] *Baterie v elektromobilech*; [cit. 2013-02-21] online dostupný z:
<http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [39] *AXE Performance product*; [cit. 2013-02-21] online dostupný z:
http://www.alltraxinc.com/Products_AXE.html
- [40] *GWL/ Power Lithium battery*; [cit. 2013-02-22] online dostupný z:
http://www.i4wifi.cz/lithium-battery-12v-90ah-wb-lp12v90ah-_d1873.html

- [41] *Test dag*; [cit. 2013-02-22] online dostupný z:
<http://www.technochallenge.nl/fotos1/first-electro-league1/testdag-23-maart-2012.html>
- [42] *Stohl racing CNG*; [cit. 2013-02-22] online dostupný z:
<http://www.stohl-racing.com/cng.php?lang=E>
- [43] *Tomáš Enge*; [cit. 2013-02-22] online dostupný z:
<http://www.tomas-enge.cz/files/clanky/2009/rally/trebic/test/6.jpg>
- [44] *Úspěšná plnová premiéra cng seznam.cz rally teamu v české rally*; [cit. 2013-02-23] online dostupný z:
http://racing.charouz.cz/cz/CZ/zpravy_cz/3/usnesna_plynova_premiera_cng_seznam_cz_rally_teamu_v_ceske_rally.html
- [45] *Agni motors - Performance*; [cit. 2013-03-04] online dostupný z:
http://www.agnimotors.com/home/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=60
- [46] *Lithiové baterie LiFePO4*; [cit. 2013-03-04] online dostupný z:
<http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/241-lithiove-baterie--lifepo4.aspx>
- [47] *Agni motors – 95 Series Performance graphs*; [cit. 2013-02-04] online dostupný z:
http://agnimotors.com/95_Series_Performance_Graphs.pdf
- [48] *Agni motors - motor*; [cit. 2013-03-05] online dostupný z:
<http://agnimotors.com/motor.pdf>
- [49] *ČZ řetězy karting*; [cit. 2013-03-05] online dostupný z:
<http://czretezy.cz/data/produkty/specifikace/karting.pdf>
- [50] *GWL/ Power solutions*; [cit. 2013-03-06] online dostupný z:
<http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=235051>
- [51] *Autoklub Písek*; [cit. 2013-03-06] online dostupný z:
<http://www.autoklub-pisek.cz/draha.php>
- [52] *Agni motors výkres motoru*; [cit. 2013-03-06] online dostupný z:
http://www.agnimotors.com/motor_new.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1 : Tricykl Ayrton a Perry z roku 1882[7].....	5
Obrázek 2 : Vůz Morris and Salom z roku 1895 [9].....	6
Obrázek 3 : Vůz poháněný na dřevoplyn [10].....	8
Obrázek 4 : Plnicí stanice v areálu pražské plynárny v Michli [11].....	9
Obrázek 5 : Základní konstrukce elektromotoru [29].....	11
Obrázek 6 : Sebastien Loeb při závodě ERDF Masters Kart 2011 [14].....	15
Obrázek 7 : Vůz Mitsubishi MiEV pro závod Pike's Peak International [21].....	16
Obrázek 8 : Zástavba vozu Mitsubishi Lancer [22].....	17
Obrázek 9 : Uložení elektromotoru v kole vozu [22].....	17
Obrázek 10: Konstrukce vozu Lola-Drayson B12/69EV.....	18
Obrázek 11: Rimac e-M3 na závodu E-MIGLIA [31].....	19
Obrázek 12: Vůz TMG EV P002 [33].....	19
Obrázek 13: Elektromotocykl ZERO MX pro motocross[15].....	20
Obrázek 14: Superkart na elektropohon [41].....	21
Obrázek 15: Schéma pohonu na zemní plyn společně se řídicí jednotkou[29].....	22
Obrázek 16: Zástavba CNG technologie do vozidla[42].....	23
Obrázek 17: Blokové schéma pohonu s dvou palivovým řešením LPG a benzínu[29]...	24
Obrázek 18: Český závodník Tomáš Enge při testech vozu [43].....	25

Obrázek 19: Otvory pro uchycení motoru značky AGNI [48].....	27
Obrázek 20: Řešení uchycení elektromotoru.....	27
Obrázek 21: Nákres profilu trati založený na motokárovém okruhu v Písku	28
Obrázek 22: Blokové schéma použitého zapojení baterií.....	29
Obrázek 23: Sestava dopínání řetězu.....	31
Obrázek 24: Návrh zástavby pohonu do rámu motokáry.....	33
Obrázek 25: Umístění ovládacího panelu.....	33
Obrázek 26: Motor od firmy Engec používaný v motokárách značky Sodi kart [23].....	41
Obrázek 27: Motokára značky Sodi kart pro ERDF Masters Kart [23].....	41
Obrázek 28: Mitsubishi Lancer MiEV EVO [22].....	43
Obrázek 29: Elektromotor vozu Mitsubishi Lancer MiEV EVO [22].....	43
Obrázek 30: Vůz TMG EV P002 v akci [33].....	45
Obrázek 31: Motor vozu TMG EV P002 [33]	45

Seznam tabulek

Tab. 1 : Výhody a nevýhody elektropohonu v porovnání s ostatními pohony.....	10
Tab. 2 : Srovnání parametrů známých akumulátorů [38], [46], [39].....	12
Tab. 3 : Výhody a nevýhody CNG/LPG pohonu v porovnání s ostatními pohony.....	22
Tab. 4 : Popis částí pohonu na zemní plyn[29].....	23
Tab. 5 : Tabulka srovnání elektropohonu, LPG/CNG a naftového pohonu.....	26
Tab. 6 : Vstupní parametry pro návrh.....	26
Tab. 7 : Technické parametry motoru AGNI 95 [45].....	27
Tab. 8 : Technické parametry použité baterie [40]].....	28
Tab. 9 : Technické parametry zvoleného regulátoru [39].....	29
Tab. 10 : Vstupní údaje pro návrh řetězového převodu.....	30
Tab. 11 : Tabulka nepoužívanějších řetězů pro motokáry firmy ČZ[49]	31
Tab. 12 : Popis částí elektromotokáry	34
Tab. 13 : Parametry závodní motokáry Honda GX390.....	34
Tab. 14 : Parametry elektromotokáry[40], [45], [52].....	34

Výkresová dokumentace

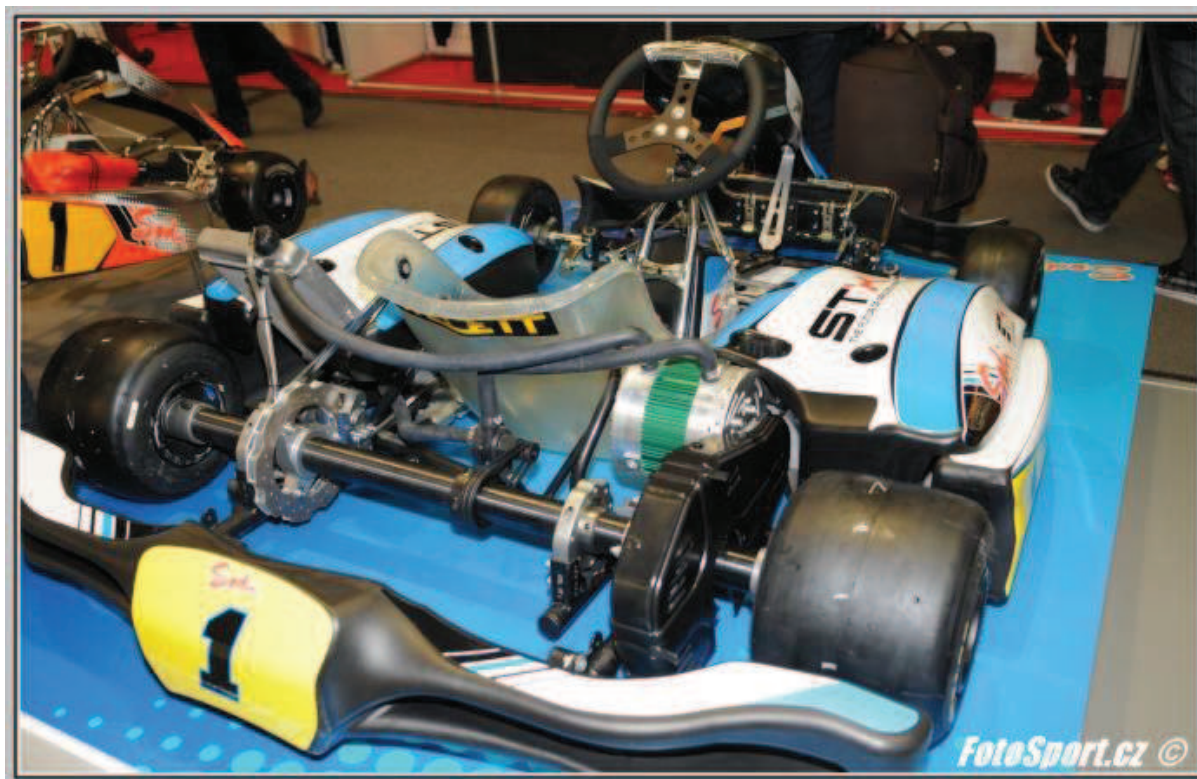
3-06-BK01-000	UCHYCENÍ ELEKTROMOTORU, <i>výkres sestavy</i>
3-06-BK01-001	RÁM, <i>výrobní výkres</i>
3-06-BK01-002	DRŽÁK MOTORU, <i>výrobní výkres</i>
3-06-BK01-003	KLEMA, <i>výrobní výkres</i>

PŘÍLOHA č. 1

Fotografie elektromotokáry od firmy SODI kart



Obrázek 26: Motor od firmy Engece používaný v motokárách značky Sodi kart [23]



Obrázek 27: Motokára značky Sodi kart pro ERDF Masters Kart [23]

PŘÍLOHA č. 2

Fotografie vozu Mitsubishi MiEV EVOLUTION



Obrázek 28: Mitsubishi Lancer MiEV EVO [22]



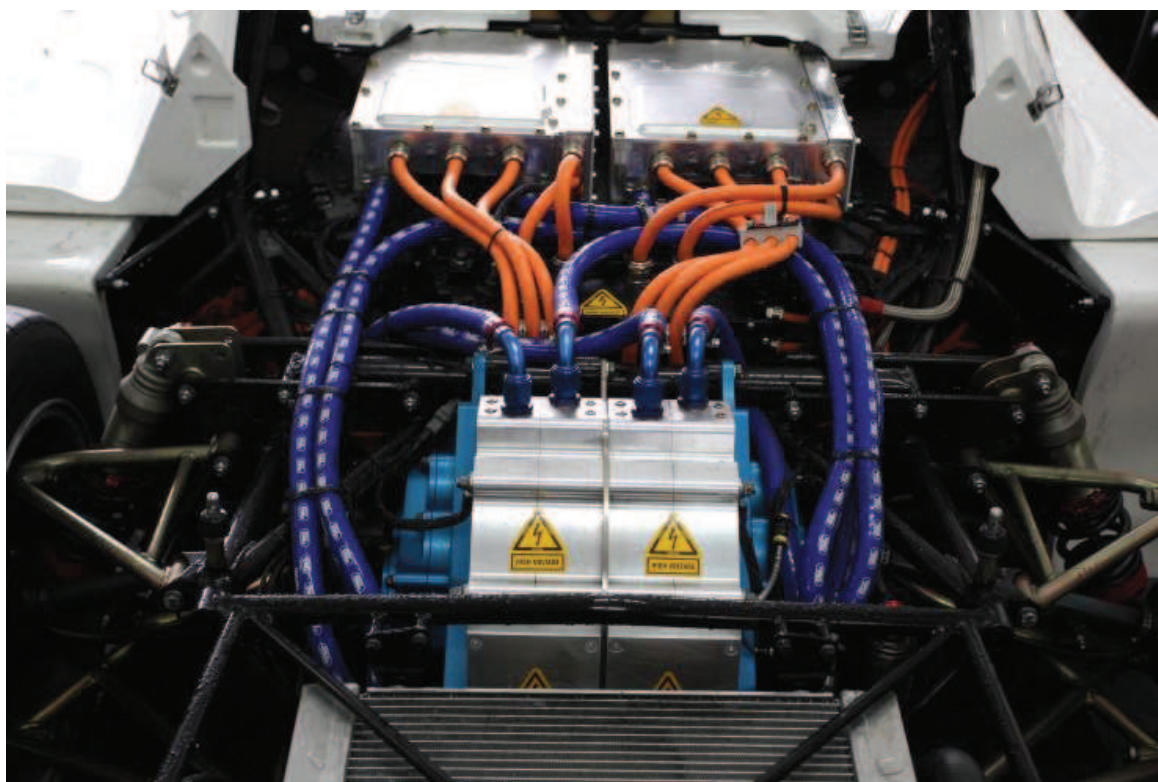
Obrázek 29: Elektromotor vozu Mitsubishi Lancer MiEV EVO [22]

PŘÍLOHA č. 3

Fotografie vozu speciálu TMG EV P002



Obrázek 30: Vůz TMG EV P002 v akci [33]



Obrázek 31: Motor vozu TMG EV P002 [33]