

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301R016/20 Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Zhodnocení využitelnosti elektromotorů pro motocykly

Autor: **Ondřej NOVÁK**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2014/2015

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej NOVÁK**  
Osobní číslo: **S12B0207P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Zhodnocení využitelnosti elektromotorů pro motocykly**  
Zadávající 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:

Cílem je provést rozbor technických možností v uspořádání pohonných elektromotorů v oblasti jednostopých vozidel. Dále provést základní specifikaci požadavků s ohledem na funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledným řešením je zhodnocení a základní technický návrh uspořádání vybraného pohonného systému.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování variantních řešení.
4. Zhodnocení navrženého koncepčního řešení.

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

**Vala, M.** *Teorie a konstrukce silničních vozidel I.* Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003

**CIHLÁŘ, P.** *Motocykly.* Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2008

**FIRST, J.** *Zkoušení automobilů a motocyklů.* S&T CZ, Praha, 2008

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

### **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou 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

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu a zároveň konzultantovi panu Doc. Ing. Formánkovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace při vytváření této práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Novák	Jméno Ondřej	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016/20 Dopravní a manipulační technika		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
<b>PRACOVNÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Zhodnocení využitelnosti elektromotorů pro motocykly		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	52	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	47	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	5
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje základní rozdělení motocyklů a rámců. Dále se věnuje současným elektromotocyklům na trhu a srovnává motocykl se spalovacím a elektrickým motorem z mnoha úhlů pohledu. Popisuje variantní řešení v uspořádání pohonné jednotky a pomocí simulace v programu NX 9 simuluje zatížení rámu. Součástí práce je i návrh nového elektromotocyklu.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	elektromotocykl, rámy, porovnání, využitelnost, zhodnocení, design, počítačová simulace

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Novák	Name Ondřej
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016/20 Transport and handling machinery	
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	BACHELOR <b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Assessing the usability of electric motors for motorcycles	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	52	<b>TEXT PART</b>	47	<b>GRAPHICAL PART</b>	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis contains the basic classification of motorcycles and frames. It also discusses the current electro-motorcycle market and compares motorcycles with combustion motors and motorcycles with electric motors from many angles. It demonstrates a variable solution in the powertrain layout and simulates it using NX 9 (the simulation of frame loads). The thesis also includes the design of new electric motorcycles.
<b>KEY WORDS</b>	electromotorcycle, frames, decisions, usability, resume, design, computer simulation

## Obsah

ÚVOD.....	10
1 ROZDĚLENÍ MOTOCYKLŮ A JEJICH VHODNOST PRO ELEKTROMOTOR .....	11
1.1.1 Motocykl .....	11
1.1.2 Skútr .....	11
1.1.3 Moped .....	12
1.2.1 Silniční motocykly .....	13
1.2.1.1 Motocykl sportovní .....	13
1.2.1.2 Naked bike .....	13
1.2.1.3 Chopper .....	14
1.2.2 Terénní motocykly .....	15
1.2.3 Univerzální motocykly pro terén i silnici .....	16
1.2.3.1 Fun bike „motard“ .....	16
1.2.3.2 Enduro .....	17
1.2.4 Speciální - sportovní motocykly .....	17
1.2.4.1 Silniční závodní motocykly .....	17
1.2.4.2 Motokrosová závodní motocykly .....	17
1.2.4.3 Trial motocykly .....	17
1.2.4.4 Motocykly pro plochu dráhu .....	18
1.2.4.5 Stunt motocykly .....	19
1.2.4.6 Scrambler .....	19
2 RÁMY MOTOCYKLŮ [2] .....	20
2.1 Samonosné rámy .....	20
2.2 Nosné rámy .....	20
2.2.1 Trubkové .....	20
3 SOUČASNÉ ELEKTROMOTOCYKLY .....	22
3.1 Johammer J1 .....	22
3.2 KTM Freeride E .....	23
3.2.1 Zhodnocení jízdních vlastností testovacím jezdcem .....	24
3.3 Harley Davidson LiveWire .....	25
3.4 ENERGICA EGO .....	26
4 SROVNÁNÍ SPALOVACÍHO MOTORU A ELEKTROMOTORU .....	27
4.1 Z pohledu konstrukčního řešení .....	27
4.2 Z pohledu využitelnosti .....	27
4.3 Z ekonomického hlediska .....	27
4.4 Z pohledu jízdních vlastností .....	27
4.5 Průběh výkonu .....	27
4.6 Pocity řidiče .....	27
4.7 Nevýhody elektromotocyklů .....	28
5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ .....	29
5.1 KLASICKÉ USPOŘADÁNÍ .....	29



5.2 USPOŘÁDÁNÍ S MOTOREM V ZADNÍM KOLE .....	29
5.3 USPOŘÁDÁNÍ S DVĚMA KYVNÝMI VIDLICEMI.....	29
6 NÁVRH VLASTNÍHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....	30
6.1 TUHOSTNÍ ANALÝZA RÁMU .....	32
6.2 CÍL TUHOSTNÍ ANALÝZY RÁMU .....	33
6.2.1 Popis technického řešení .....	33
6.2.2 Popis výpočtového modelu.....	33
6.2.3 Varianta se spalovacím motorem.....	33
6.2.4 Varianta s elektromotorem .....	34
6.2.5 Geometrie modelu.....	35
6.3 VÝSLEDKY ANALÝZ .....	36
6.4 VYHODNOCENÍ ANALÝZY .....	42
ZÁVĚR .....	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	44
SEZNAM PŘÍLOH .....	47

## ÚVOD

Tato práce pojednává o stále se rozvíjejícím moderním trendu využití elektromotorů v oblasti motocyklové dopravy. Vzhledem ke stále rostoucím požadavkům na emisní normy a snížení nákladů na provoz došlo během posledních let k rozvoji těchto nových motocyklů, zejména u předních výrobců. Nesou s sebou řadu bezkonkurenčních výhod, ale i nevýhod podle různých úhlů pohledu, jako je bezpečnost jízdy, komfort, dojezd, spotřeba apod. Úkolem této práce je tedy zhodnotit výhody a nevýhody elektromotocyklů oproti stávajícím motocyklům se spalovacími motory, zjistit, jaká jsou současná konstrukční řešení, a navrhnout vlastní uspořádání pohonné jednotky elektromotocyklu.

# 1 ROZDĚLENÍ MOTOCYKLŮ A JEJICH VHODNOST PRO ELEKTROMOTOR

Současně vyráběné motocykly lze rozdělit do základních tří typizovaných kategorií (motocykl, skútr, moped) a dále pak podle toho, k jakému účelu daný motocykl slouží. Jedná se o tyto základní kategorie:

## 1.1.1 Motocykl

Jedná se o jednostopý dopravní prostředek, který je určen pro dopravu jedné až dvou osob za sebou sedících. Charakteristickým znakem pro motocykly jsou pevné stupačky pro oporu nohou posádky, které na ostatních typech nenajdeme. Stupačky mohou být i sklopné u silničních motocyklů, kde při jízdě dochází k velkým náklonům, nebo se může jednat o tzv. plotny. Výkonnostně motocykly jako takové spadají do kategorie L3. V této kategorii je vždy zdvihový objem motoru větší než padesát kubických centimetrů a motocykl dosahuje maximální rychlosti větší než padesát kilometrů v hodině.

<b>Kategorie L: motorová vozidla s méně než čtyřmi koly (motocykly, tříkolky)</b>			
označení	typ (provedení)	zdvihový objem [ cm <sup>3</sup> ]	maximální rychlost [ km.h <sup>-1</sup> ]
L <sub>1</sub>	dvoukolový	≤ 50	≤ 50
L <sub>2</sub>	tříkolový	≤ 50	≤ 50
L <sub>3</sub>	dvoukolový	> 50	> 50
L <sub>4</sub>	tříkolový s asymetrickým umístěním vzhledem k podélné ose vozidla	> 50	> 50
L <sub>5</sub>	tříkolový se symetrickým umístěním vzhledem k podélné ose vozidla	> 50	> 50
L <sub>M</sub>	jízdní kolo s trvale zabudovaným motorem (motokolo)	> 50	> 20

Tabulka 1 Klasifikace motocyklů [1]

## 1.1.2 Skútr

Na rozdíl od motocyklů mají skútry charakteristický posez jezdce, kdy jezdec nemá oporu pro kolena a jeho posez připomíná polohu podobnou posezu na kuchyňské židli. Konstruktivní řešení většinou umožňuje dobrou ochranu posádky před povětrnostními vlivy. Základním charakterem těchto dopravních prostředků jsou malé rozměry kol a poměrně velký úložný prostor pod sedlem.



Obrázek 1- Skútr Vespa [9]

### 1.1.3 Moped

Mopedy spadají do kategorie L1 a jsou určeny především pouze pro jednoho jezdce pro dopravu na krátkou vzdálenost. Pro mopedy je charakteristická nízká hmotnost a pro oporu nohou použití šlapadel, která jsou určena pro startování a případně pro pohon vlastní silou jezdce.



Obrázek 2 – Moped [10]

#### ***Vhodnost elektromotoru pro skútry a mopedy***

Co se týče elektromotorů, jsou skútry a mopedy velkým kandidátem na použití. Obzvláště proto, že jsou používány zejména v městském provozu při jízdě na krátké vzdálenosti. Velkou výhodou jsou nulové emise, které nenarušují ovzduší uvnitř měst, a okamžitý nástup výkonu. Nejsou hlučné, což ovšem může být výhodou pro řidiče, ale nevýhodou pro všudypřítomné chodce, kteří si takového vozidla nemusí všimnout, a proto je nutné vybavit takovéto skútry

houkačkou nebo podobným zařízením. Co se týče nabíjení, určitě je dostupnější a také levnější než benzínová stanice, jedinou nevýhodou by měl být delší čas tankování.

Nejvíce rozšířenou kategorií jsou motocykly jako takové, a proto se dělí na další kategorie a podkategorie podle toho, k jakému účelu je daný motocykl určen.

### 1.2.1 Silniční motocykly

Jedná se o kategorii motocyklů, která je určena pro jízdu na zpevněných komunikacích a je zastoupena velkým počtem silničních podkategorií.

#### 1.2.1.1 Motocykl sportovní

Sportovní motocykl je ve své podstatě upravenou verzí silničních závodních motocyklů. Charakteristickým prvkem těchto motocyklů je celokapotáž, která minimalizuje odpor vzduchu, dále pak zlomená říditka pro typickou zalehnutou polohu jezdce. Tyto motocykly mají ještě jednu malou podkategorii nazývanou super sportovní, kam se řadí stejné motocykly, které se ovšem liší vysokým obsahem motoru kolem  $1000\text{cm}^3$ . Tyto motocykly po úpravě pro okruhové ježdění (demontáž osvětlení, zrcátek apod.) se nazývají Superbike.



Obrázek 3 – Sportovní motocykl Honda [11]

#### 1.2.1.2 Naked bike

Naked bike je motocykl bez kapotáže, tzv. „naháč“. Tento druh motocyklů se moc neliší od sportovních. Hlavním rozdílem je design typického motocyklu buďto v retro-stylu s klasickým kulatým světlem analogovými budíky, nebo v moderním designu, kdy se jedná o kombinaci drobné kapotáže, např. kolem hlavního světlometu, a hlavním rozdílem oproti sportovnímu motocyklu jsou říditka do tvaru písmene V, odkapotovaný motor a vzpřímená poloha jezdce. Dnes se však čím dál tím více objevuje moderní trend futuristických tvarů, například motocykl Kawasaki Z800 ( r.v. 2015). Rozdíly jsou patrné z přiložených obrázků.



Obrázek 4 – Naked motocykl v retro stylu ( Honda CB1100 ) [12]



Obrázek 5 – Naked motocykl v moderním stylu ( Kawasaki Z800) [13]

### 1.2.1.3 Chopper

Typ motocyklu, který se vyznačuje dlouhým rozvorem kol, pomaloběžným motorem, kde otáčky nejsou zdaleka tak vysoké jako u sportovních motocyklů, dále pak širokými říditky a většinou větším úhlem sklonu přední vidlice. Motor těchto motocyklů je většinou dvouválec do V s vysokým krouticím momentem. Důraz je kladen hlavně na pohodlnou polohu jezdce. Mohou být vyráběny sériově, ale velký podíl je i na kusové výrobě na zakázku, a tím pádem je možné pak označovat jako „ custom“ motocykly vyrobené na míru podle představy majitele.



Obrázek 6 – Chopper [14]

### ***Vhodnost elektromotorů***

Efektivnost elektromotorů u silničních motocyklů se projeví zejména u sportovních a naked motocyklů, a to okamžitým nástupem maximálního krouticího momentu. U spalovacích motorů existuje náběh, než se motor dostane na určité otáčky, při nichž je maximální krouticí moment. Velkou nevýhodou je neekonomická jízda, kdy dochází k velmi častému zrychlování a brždění, což má důsledek v rychlém vybíjení akumulátorů a jejich životnosti. Zkrátka na silniční závodní motorce by nebylo možné závodit po nějakou delší dobu, přesto tyto závody na ostrově Man existují. Podobně je tomu u naked motocyklů, kde už tolik jízda není tolik agresivní jako u závodních strojů. Ve využití konstrukčního řešení je lepší se zde držet klasické koncepce s převodovým členem výkonu na zadní kolo než přímé vazby na osu zadního kola především z důvodu lepšího rozložení hmotnostních, a tím pádem i jízdních vlastností. U cestovních motocyklů, chopperů apod. je použití elektromotorů nevhodné, protože tyto motocykly jsou určeny k překonávání velkých vzdáleností, takže po cestě by musel být dostatek dobíjecích míst nebo alespoň síťových zásuvek. Navíc pro kultovní řidiče chopperů je elektromotor nežádoucí už sám o sobě, jde ale pouze o věc názoru.

### **1.2.2 Terénní motocykly**

Motocykly určené pro jízdu po nepevných komunikacích. Charakteristickými rysy jsou: větší přední kolo než zadní, dezén pneumatik s výstupky, zvednuté blatníky a široká řídítka zpevněná hrazdou. Poloha jezdce na tomto typu motocyklu je vzpřímená vsedě, ale většinou jezdec takzvaně stojí ve stupačkách a přenáší váhu mezi předním a zadním kolem.





Obrázek 7 – Terénní motocykl KTM [15]

### ***Vhodnost elektromotorů***

U terénních motocyklů patří mezi výhody okamžitý nástup výkonu. Jako nevýhodu bych zde uvedl prostředí, ve kterém se tyto motocykly pohybují. Prach a jiné nečistoty mohou mít zásadní vliv na snížení životnosti elektromotoru, přesto však rakouský výrobce motocyklů KTM vyrábí elektrický motocykl určený pro jízdu v terénu.

## **1.2.3 Univerzální motocykly pro terén i silnici**

### **1.2.3.1 Fun bike „motard“**

Jedná se o enduro motocykl, kde je větší zadní kolo než přední. Disponuje silničními pneumatikami, které jsou širší, a tento motocykl je více určen na zpevněnou komunikaci. Vyznačuje se vysokou ovladatelností a je určen pro volný čas.



Obrázek 8 – Motard [16]

### ***Vhodnost elektromotorů***

Zde je elektromotor namístě, protože jízdní doba je krátká, je vyžadován výkon na zadním kole.



### 1.2.3.2 Enduro

Nejuniverzálnější motocykl vhodný pro jízdu jak na zpevněné, tak nezpevněné komunikaci. Provedení jsou různá podle toho, zda se jedná o Enduro určené převážně do terénu, nebo o tzv. silniční enduro, které snadno poznáme například podle litých kol a rozsáhlejší kapotáže.



Obrázek 9 – Cestovní silniční enduro BMW [17]

## 1.2.4 Speciální - sportovní motocykly

### 1.2.4.1 Silniční závodní motocykly

Motocykly určené pro závodní účely na uzavřených silničních okruzích. Dnešní motocykly této kategorie se vyrábějí v kubaturách 250, 600 a 1000 cm. Vyznačují se kompletním zakapotováním jezdce, velmi vysokým výkonem a úpravami pro snadnou výměnu komponent. Dnes už existují i elektromotocykly určené pro silniční závod TTXGP na ostrově Man, který je oproti tradičnímu závodu na tomto ostrově zkrácený na padesát minut.

### 1.2.4.2 Motokrosově závodní motocykly

Jedná se terénní motocykly vyráběné jak s dvoutaktním, tak se čtyřtaktním motorem. Motocykl umožňuje široké nastavení podvozku pro rychlou terénní jízdu. Vhodnost elektromotoru je stejná jako u obyčejných terénních motocyklů.

### 1.2.4.3 Trial motocykly

Motocykly vyznačující se vysokou ovladatelností a prostupností v terénu. Jsou určené pro zdolávání překážek. Elektromotor zde najde uplatnění, zejména pro svou nízkou hmotnost, která je zde velmi důležitá, dále pro krátkou jízdní dobu a potřebu vysokého krouticího momentu.



Obrázek 10 – Trial [18]

#### 1.2.4.4 Motocykly pro plochou dráhu

Motocykly jsou určeny pro prašnou oválnou dráhu. Jejich konstrukce nemá žádné brzdy ani převodovku. Malou podkategorií jsou motocykly pro ledovou dráhu. Jejich konstrukce je podobná. Na první pohled se vyznačují pneumatikami s hřeby a kryty kol.



Obrázek 11 – Speciál pro plochou dráhu [19]



#### 1.2.4.5 Stunt motocykly

Jedná se o sériově vyráběný, většinou naked motocykl s vysokým stupněm konstrukčních úprav určený pro kaskadérské kousky. Mezi úpravy patří mazání motoru tak, aby byl klikový prostor a skříň převodovky mazána i během velkého náklonu motocyklu. Další úpravou je instalace stupaček navíc, instalace padacího rámu, výměna hliníkových dílů za ocelové z důvodu velkého rázového zatížení a instalace větší rozety pro zvýšení kroutícího momentu. U těchto motocyklů se používají jen kotoučové brzdy, ovšem s více brzdíči pro zvýšení účinnosti brzd.



Obrázek 12 – Stunt

#### 1.2.4.6 Scrambler

Tento typ retro motocyklů se stal v dnešní době poměrně oblíbeným. Vzhledem připomíná jedny z prvních motocyklů vůbec. Vyznačuje se univerzálním užitím a velkým výkonem.



Obrázek 13 - Scrambler [20]

## 2 RÁMY MOTOCYKLŮ [2]

Rámy motocyklů mají mnoho technických řešení, ovšem můžeme je postupně rozdělit do dvou základních skupin na samonosné rámy, které jsou využívány především u skútrů, a dále pak na nosné rámy používané u většiny motocyklů. Jejich hlavním účelem je udržovat motocykl v jednom celku a zajišťovat dokonalou vazbu mezi osou zadní kyvné vidlice a osou krku řízení. Porušení této polohové vazby má zásadní vliv na ovladatelnost motocyklu, proto tedy musí být rám dostatečně tuhý. Jeho dalším účelem je absorbování akceleračních a brzdných účinků. Rozhodl jsem se porovnat výsledky těchto zatížení u stejného rámu zatíženého tradičním spalovacím motorem a v druhém případě zatíženého elektromotorem. Posledním účelem rámu je pomoci tlumení rázů.

Nejvíce používaným materiálem v dnešní době je hliník a jeho slitiny, který vytlačuje tradiční ocel, přesto však existují firmy jako například firma Ducati, kde vyrábějí pouze ocelové rámy kolébkové z trubek, které mají skvělé tuhostní a pevnostní vlastnosti, ovšem na úkor vyšší ceny. Z konstrukčního pohledu se dnes u moderních a sportovních motocyklů především využívá typ rámu zvaný Deltabox. Je tvořený ze dvou nosných částí, které mohou být tvořeny trubkami, výlisky nebo mohou být odlité. Tyto části se táhnou od krku řízení, obepínají motor a končí u čepu zadní kyvné vidlice. U levnějších motocyklů se stále používají kolébkové rámy z ocelových trubek. Specialitou je použití vnitřního prostoru trubek jako nádrže pro palivo nebo motorový olej.

### 2.1 Samonosné rámy

Jsou především složeny z různých výlisků z plechu, ty jsou spojeny pomocí svarů. Charakteristickou vlastností je uložení motoru a převodovky na kyvné vidlici, viz obr. Zajímavostí je, že toto konstrukční řešení používají i některé silniční supersportovní motocykly pro snížení hmotnosti. Jejich nevýhodou je nižší tuhost, ale na druhé straně jsou levné a dovolují vytvořit zajímavý design.

### 2.2 Nosné rámy

Nosné rámy můžeme rozdělit na tři dílčí kategorie:

#### 2.2.1 Trubkové

Jsou vhodné pro motocykly pro svou lehkost, vysokou pevnost, tuhost a snadnou výrobu z polotovarů. Rozdělují se na uzavřené a otevřené. Dále je pak můžeme rozdělit podle toho, jestli jsou dvojitě, rozdvojené nebo jednoduché. Dnes například tento rám využívá výrobce Honda pod označením Backbone pro cestovní motocykly. Ty jsou levné, snadno upravitelné pro různé motory a jsou vhodné pro sériovou výrobu.

##### 2.2.1.1 Uzavřené rámy

###### A) Jednoduchý uzavřený rám

Skládá se z mohutné přední části a odlehčené zadní části. V přední části nalezneme hlavu rámu s miskami nebo ložisky řízení a dále pak dolní část hlavy rámu tvořenou z jedné nebo dvou nosných uzavřených trubek většího průměru než u trubek zadní části. Zadní část je u všech rámu dvojitá, kvůli uložení zadního kola. Výhodou těchto rámu je malá výrobní cena a jednoduchá výroba. Jako nedostatek se jeví malá boční tuhost rámu a malá tuhost uložení kyvné vidlice.

## B) Dvojitý rám

Dvojitý rám je tvořen dvěma základními nosnými rámovými trubkami. Trubky jdou vedle sebe v přední horní i spodní části rámu. Jsou vhodné tam, kde je vyžadováno široké uložení zadní kyvné vidlice, motoru, stojánku, stupaček a šikmých rámových trubek. Nevýhodou je cena rámu a obtížná svařitelnost. Dále pak tento typ rámu omezuje velikost nádrže, ve které musí být vytvořen široký tunel.

## C) Rozdvojený rám

Rozdvojení u těchto rámu je pouze v některých částech, jako je místo pro uložení zadní kyvné vidlice. Standardně rozdvojení začíná pod motorem a končí pod sedlem.

### **2.2.1.2 Otevřené rámy:**

Tyto rámy využívají pevnosti motoru jako nosného prvku. Poznávacím znakem je přerušení spodních nosných trubek. Výhodou těchto rámu je snadná montáž motoru do rámu a celková nízká hmotnost. Nevýhodou jsou vibrace způsobené nízkou tuhostí uložení motoru. Další variantou otevřeného rámu je, že motor je hlavním nosným prvkem a na něm jsou nainstalovány další pomocné rámy nebo motor drží čep kyvné vidlice a rám je použit pro zbylé komponenty, které drží sedlo, nádrž apod.

## A) Lisované

Tyto rámy mají široké uplatnění u lehkých motocyklů, především ve velkosériové výrobě. Výhodou je možnost volby profilu. Většinou je tento rám svařovaný z plechových výlisků, jejichž tvar se musí přizpůsobit typu namáhání rámu. Nevýhodou jsou drahé nástroje pro výrobu.

## B) Lité

Jejich výhoda spočívá v široké volbě požadovaných průřezů. Nevýhodou je výrobní náročnost odlitku.

## C) Kombinované

Základem je odlitek, který tvoří hlavní část rámu. Na něj se pak připevňují pomocné, například trubkové rámy.

### 3 SOUČASNÉ ELEKTROMOTOCYKLY

Na trhu existuje celá řada vyráběných elektromotocyklů. Zde jsou uvedeny a popsány pouze čtyři vybrané modely.

#### 3.1 Johammer J1

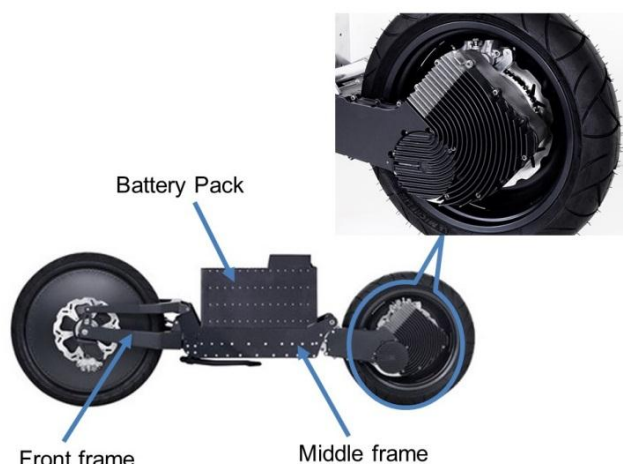
Tento neobvyklý motocykl je vyráběn v Rakousku firmou Johammer e-mobility. Autorem motocyklu je Johann Hammerschmid. Johammer J1 se vyznačuje zvláštním designem a originálním konstrukčním řešením., jako je například uložení obou kol na kyvných vidlicích podobně jako u motocyklu Bimota Tesi 3D. Osy řízení a tlumení jsou společné. Zajímavostí je především tlumení motocyklu, které je přenášeno z ramen kyvných vidlic na tlumiče uložené v zakrytovaném boxu pod akumulátory. Pohon zajišťuje elektromotor uložený v ose zadního kola. Uložení je provedeno tak, aby zajišťovalo bezúdržbový provoz. Brzdění se provádí opačným přidáváním plynu na proudové rukojeti. Výhodou je nízko uložené těžiště, které zaručuje snadnou ovladatelnost motocyklu. Co se týče ergonomie, řidič si může zvolit ze dvou párů stupaček, podle stylu jízdy. Cena odráží jak cenu elektrobaterií, tak atraktivitu motocyklu a činí 620 tisíc korun.



Obrázek 14 – Johammer J1 [21]



Obrázek 15 – Tlumičová skříň Johammer J1 [22]



Obrázek 16 – Podvozek Johammer J1 [23]

Názory na řízení motocyklu jsou především takové, že řidič má pocit nejistoty z řízení. Je to způsobeno tím, že motocykl má neobvyklý posez a nemá tradiční řídítka, ovšem po několika kilometrech jízdy si lze na toto řízení zvyknout. Je zde použito dvou os, na každé z nich je řídítko a při zatažení se otáčí každá osa zvlášť. Hodně nepřehledné jsou přístroje, které jsou umístěny v zrcátkách. Výhodou je plynulost jízdy a minimální používání mechanických brzd.

Tabulka 2 – Technické parametry Johammer J1

	J1.150	J1.200
Výkon	11 kW (ve špičce 16 kW)	
Dojezd	150 km	200 km
Kapacita baterie	8,3 kWh	12,7 kWh
Hmotnost	159 kg	178 kg
Maximální rychlost	120 km/h	
Délka	2200 mm	
Šířka řidítek	814 mm	
Rozvor	1455 mm	
Výška sedla	650 mm	
Typ baterií	Li-Ion 72 V	
Výška těžiště	350 mm	
Rám	Centrální, hliníkový, smontovaný	
Převod od motoru	1:10,15	

### 3.2 KTM Freeride E

Tento vyráběný elektrický motocykl byl vyvíjen Rakouskou firmou KTC od roku 2007. Jedná se o první sériově vyráběné lehké enduro, vyznačující se tichým chodem, lehkostí a snadnou ovladatelností. Během vývoje se konstruktéři inspirovali především u trialových kol ve spolupráci s Dannym MacAskillem. Motocykl je vyráběn ve dvou verzích: E-SX, který je



určen pro uzavřené tratě, není homologován pro silniční provoz a nenajdeme na něm žádná světla a podobně, jedná se tedy o ostrý motokrosový model. Naproti tomu druhá verze E-SC je enduro homologované pro provoz na pozemních komunikacích. K řízení stačí řidičské oprávnění A1. Nyní je ve stádiu vývoje třetí motardová verze. Hnací jednotkou je elektromotor rakouské výroby s výkonem 22 koní při 4500 ot/min a krouticím momentem 42 Nm. Pro srovnání, klasické soutěžní enduro poháněné spalovacím motorem disponuje 40 Nm. Z toho vyplývá jasná výhoda elektromotorů o stálém a neproměnném krouticím momentu. Pro bezproblémovou použitelnost motocyklu v terénu je veškerá elektronika utěsněna. Zajímavostí je, že při brodění je možné si dovolit brodit se větší hloubce než u klasického endura. Výkon je z motoru přenášen pomocí jednoduché převodovky a výstupem je řetězové kolečko, které pomocí řetězu přenáší výkon na zadní hnané kolo. Samotné baterie jsou Lithium-Iontové s napětím 260 V a kapacitou 2,5 kWh. Životnost se odhaduje na 700 cyklů a samotné nabíjení je zajištěno pomocí externí nabíječky, které umožňuje nabíjet bez demontáže baterií z motocyklu. Pro snadnou výměnu jsou baterie umístěny nad motorem a jsou ukotveny pomocí čtyř šroubů. Otázkou je, jak se toto konstrukční řešení projeví na těžišti motocyklu.



Obrázek 17 – KTM Freeride E [24]

Samotná konstrukce ocelového rámu doplněná hliníkovými odlitky vychází z benzinových endur KTM. O odpružení se stará přední USD vidlice se zdvihem 250 mm. Zadní kolo je odpruženo pomocí centrálního tlumiče PDS WP. Brzdění zajišťují speciálně vyvinuté kotoučové brzdy se čtyřpístkovým brzdícím vepředu a dvoupístkovým vzadu. Co se týče informačních prvků, za krkem řízení nalezneme display zobrazující stav baterie a zvolený jízdní režim. Zvolit si můžeme ze tří režimů, první (Economy) je vhodný pro šetření baterie a je využíván převážně k nouzovým dojezdům. Druhý (Standard) je určen pro běžné ježdění a třetí (Advanced) je určen pro ostřejší jízdu, především v náročném terénu. Cena motocyklu se pohybuje kolem 320 tisíc korun.

### 3.2.1 Zhodnocení jízdních vlastností testovacím jezdcem

Dojem z jízdy se od endura se spalovacím motorem nepatrně liší. Především se zde zadní kolo nebrzdí nožní pákou, ale páčkou nahrazující klasickou spojkovou páčku na levé části říditelky a projev brzd není tak ostrý jako u benzinových motocyklů. Jízda je díky absenci řazení podobná jízdě na skútru. Ovladatelnost je výborná, vhodná i pro naprostého začátečníka, který



by si netroufl na klasické enduro se spalovacím motorem. Nevýhodou je ovšem poloha baterií, která je během jízdy nepatrně znát. Výhodou je, že díky elektrické pohonné jednotce nelze motocykl tzv. zašlápnout. Technické parametry motocyklu udává následující tabulka:

	KTM Freeride E-SX 2015	KTM Freeride E-SX 2015
Výkon	16 Kw při 4500 ot/min.	16 Kw při 4500 ot/min.
Točivý moment	42 Nm	42 Nm
Startér	Elektrický	Elektrický
Chlazení	Kapalinou	Kapalinou
Sekundární převod	Řetěz	Řetěz
Typ rámu	Perimetrický	Perimetrický
Materiál rámu	Ocel/lehká slitina	Chrom-molybden/lehká slitina
Zdvih předního odpružení	250 mm	250 mm
Zdvih zadního odpružení	260 mm	260 mm
Úhel hlavy řízení	67°	67°
Rozvor	1418 mm	1418 mm
Typ brzd		
Rozměr předního brzdového kotouče	260 mm	260 mm
Rozměr předního kola	2.75-21 "	2.75-21 "
Rozměr zadního kola	120/90 -18 "	120/90 -18 "
Výška sedla	910 mm	910 mm
Suchá hmotnost	106 kg	106 kg

Tabulka 3 – Technické parametry KTM Freeride E

### 3.3 Harley Davidson LiveWire

Jedná se o první elektrický motocykl od legendárního Amerického výrobce chopperů a cruiserů Harley-Davidson. Motor je třífázový a je uložen podélně pod rámem. K převodu krouticího momentu slouží kuželocelní převodovka se šikmými zuby, která podle výrobce vytváří charakteristický zvuk připomínající zvuk turbíny. Následuje sekundární, pro Harley Davidson typický sekundární převod realizovaný pomocí řemenu. Výkon motoru činí 52 koní. Maximální rychlost je omezená na 95 mph. O brzdění se stará dvoupístková kotoučová brzda. Váha motocyklu je 460 liber. Rám je mřížový a je tvořen hliníkovým odlitkem. Přední kolo je 18 palcové a zadní 17 palcové.



Obrázek 18 – Harley Davidson LiveWire [25]

### 3.4 ENERGICA EGO



Obrázek 19 - Energica EGO [26]

Jedná se o italský elektromotocykl o výkonu 100 kW, které motocyklu umožňují zrychlení z 0 na 100 km/h za 3,7 sekundy. Kapacita baterií činí 11,7 kWh, které postačují pro ujetí přibližně 150 km při průměrné rychlosti 80 km/h. Motocykl se snaží o vlastní zvukový projev, podobně jako u Harley Davidson. Motocykl váží 258 kilogramů. Zajímavostí tohoto motocyklu je dvojitý systém chlazení. Baterie jsou chlazeny vzduchem, elektromotor je chlazen olejem a řídicí jednotka vodou. Cena motocyklu se pohybuje kolem půl milionu korun.

## **4 SROVNÁNÍ SPALOVACÍHO MOTORU A ELEKTROMOTORU**

### **4.1 Z pohledu konstrukčního řešení**

U elektromotocyklů existuje více variant konstrukčních řešení, než je tomu u klasických motocyklů se spalovacím motorem, kde je většinou točivý moment motoru přenášen přes primární převod a spojku do převodky a z ní pak sekundárním převodem, jenž je realizován pomocí kardanu, řemenu, nebo řetězu na zadní kolo. Tato složitá kinematická vazba zde však nemusí být jediným řešením, protože elektromotor uložený v náboji může rovnou pohánět hnací kolo. Velkou výhodou je malý počet dílů, protože u elektromotoru odpadají např. ventily a jejich pohon. Co se týče údržby, u elektromotoru skoro téměř žádná není, na rozdíl od spalovacího motoru, kde musíme hlídat včasné výměny oleje, kontrolu klínového řemenu, těsnost převodových skříní apod. U elektromotocyklu je nutné pouze hlídat to, aby nedošlo k podvybití akumulátoru.

### **4.2 Z pohledu využitelnosti**

Vzhledem k tomu že elektromotor produkuje nulové emise, je jeho provoz ekologický, a tím pádem velmi vhodný pro využití ve městech, kde mimo to převažuje doprava na krátké vzdálenosti, pro kterou je elektromotocykl vhodný. Z důvodu nízké hlučnosti, která může být jak výhodou, tak nevýhodou, je vhodný pro jízdu do města. Elektromotocykly dále najdou uplatnění jako dopravní prostředek pro kameramany a komentátory sportovních událostí, jako je například Tour de France.

### **4.3 Z ekonomického hlediska**

Výhodou motocyklů poháněných elektromotorem je tzv. rekuperace elektrické energie, ke které dochází při brždění motorem. Ušetřená energie se ukládá zpět do baterií a je možné ji dále použít pro pohon, osvětlení apod. Rekuperace má také kladný vliv na životnost baterie a brzdové soustavy. Náklady na provoz jsou také mnohem menší, než u motocyklů se spalovacími motory. Dříve byl nevýhodou malý počet dobíjecích stanic, ale dnes je již možné dobíjet téměř každé baterie motocyklu z běžné sítové zásuvky.

### **4.4 Z pohledu jízdních vlastností**

Při jízdě na motocyklu s elektrickým motorem a převodovkou je motocykl mnohem citlivější na akceleraci a při podřazování je znát stálý tah motoru.

### **4.5 Průběh výkonu**

Oproti jízdě na motocyklu se spalovacím motorem nedochází k postupnému navyšování a následnému poklesu krouticího momentu ze známých charakteristických křivek průběhu. U elektromotorů je krouticí moment konstantní, důsledkem toho je snazší rozjet stálý tah motoru, který najde svoje využití především pro jízdu v terénu, kde motocykl snáze překoná různá převýšení.

### **4.6 Pocity řidiče**

Hodnoceno na základě jízdy na školním motokrosovém motocyklu ( viz. Obrázek č.17 )



Obrázek 20 – Motocykl E – moto ( ZČU)

Ve vlastním srovnání s jízdou na motocyklu se spalovacím motorem je především patrná jemnost chodu a nulové vibrace. Vše působí uhlazeným dojmem. Pro možnou jízdu na delší vzdálenost bych zde uvedl jako výhodu téměř nulovou hlučnost. Na druhé straně se ovšem objevuje nezvyk při prudké akceleraci, kdy docházelo k občasnému zacukání motocyklu, ale mohlo to být způsobeno poškozenou pohonnou baterií. Dále pak nedůvěryhodně působí brzdění vlastním elektromotorem a jezdec se spíše spoléhá na přední hydraulickou kotoučovou brzdu.

#### 4.7 Nevýhody elektromotocyklů

Zásadní nevýhodou elektromotocyklů je jejich nízká hlučnost, která má vliv na bezpečnost chodců. Chodec elektromotocykl takřka neslyší a může snadno vstoupit do vozovky, aniž by o motocyklu věděl, a tím pádem může snadno dojít k dopravní nehodě. U spalovacího motoru se tento problém nevyskytuje. Současně řešení tohoto problému elektromotocyklů je řešeno montáží reproduktorů na motocykl, která vydávají věrohodný zvuk spalovacího motoru závislý na otáčkách elektromotoru a je možné si zvolit podle vlastního uvážení, který spalovací motor má zvuk simulovat. Nemusí je ovšem jednat pouze o simulaci spalovacích motorů. Je možné simulovat i zvuk například koňského spřežení. Naproti tomu například italský výrobce elektrických motorek Energica slibuje mohutný zvuk vycházející přímo z elektromotoru, podobně jako u zmiňovaného modelu LiveWire od Harley-Davidson. Otázkou je, zda při delším cestování nebude tento pískavý zvuk nepříjemný. Z druhé úhlu pohledu je však nízká hlučnost výhodou zejména při jízdě městem, nebo jinou obydlenu oblastí. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena, která se odvíjí především od ceny baterií. Nelze také zapomenout na pořízení ojetého elektromotocyklu, kde není jednoduché zjistit stav životnosti akumulátorů.



## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VARIANTNÍCH NÁVRHŮ

U konstrukčních návrhů je vždy společné elektrické vybavení. Jedná se o pohonný elektromotor, bateriový pack, řídicí jednotku a hlavní vypínač. Dále pak z informačních prvků musí být elektromotocykl vybavený ukazatelem stavu kapacity baterie, nejlépe v zorném poli řidiče.

### 5.1 KLASICKÉ USPOŘÁDÁNÍ

Toto uspořádání vychází z tradičního konceptu motocyklů se spalovacími motory. V místě uložení spalovacího motoru jsou umístěny pohonné baterie z důvodu své významné hmotnosti, které se nejvíce podílí na pozici těžiště elektromotocyklu, a samotný elektromotor je umístěn v místě uložení kyvné vidlice a hnací moment je dále možné nejprve měnit převodovkou nebo přímo přenášet pomocí řetězu, kardanu nebo řemenu na hnané zadní kolo. Existuje ovšem i uspořádání, které je téměř totožné, liší se pouze tím, že pohonné baterie jsou umístěny v pozici palivové nádrže z důvodu snadnějšího nabíjení a elektromotor s převodovkou je pod nimi. Toto uspořádání použila rakouská firma KTM pro již zde popisovaný model E ride. Veškerá potřebná elektronika je vhodně umístěna ve falešné nádrži, která zde plní funkce elektrické skříně namísto palivové nádrže. Zatím se jedná o nejvíce používané uspořádání vhodné především pro motocykly jako takové. Pro mopedy a skútry je vhodnější následující uspořádání.

### 5.2 USPOŘÁDÁNÍ S MOTOREM V ZADNÍM KOLE

U tohoto konstrukčního řešení nalezneme hnací elektromotor uložený v náboji hnaného zadního kola, ke kterému můžeme přivádět elektrickou energii pomocí kabeláže, což je konstrukčně jednodušší než přivádět energii mechanicky. Výhodou je úspora prostoru, a tím pádem je toto řešení vhodné pro skútry a mopedy. Baterie jsou uloženy pod sedlem řidiče pro snadnější výměnu za jiný bateriový aku-pack.



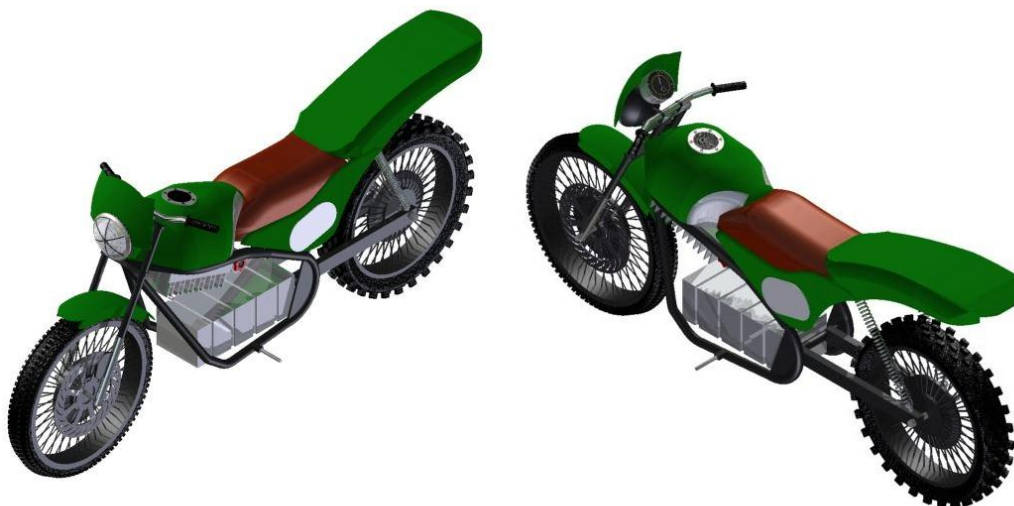
Obrázek 21 – Zadní kyvná vidlice s elektromotorem

### 5.3 USPOŘÁDÁNÍ S DVĚMA KYVNÝMI VIDLICEMI

Konstrukce s dvěma kyvnými vidlicemi není u motocyklů tak častá. Zabývá se jí italská firma Bimota. U elektromotocyklů bylo toto řešení použito pro rakouský Johammer J1. Nevýhodou je zde složitější systém pro umožnění zatačení předního kola. Jako výhoda se jeví snadné využití pro možnost pohonu obou kol motocyklu.

## 6 NÁVRH VLASTNÍHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Cílem vlastního konstrukčního řešení je navržení konceptu univerzálního retro motocyklu s pohonem obou kol pro provoz na zpevněných i nezpevněných komunikacích. Návrh je volně inspirovaný dnešními Scrambler motocykly. Motocykl najde využití zejména jako exotické moderní vozidlo poháněné elektromotorem, které není hlučné a umožňuje univerzální použití. Řešení spočívá v uložení obou hnacích elektromotorů v osách kol. Kola motocyklu jsou uložena tak, že přední hnané kolo je uloženo v klasických teleskopických vidlicích a zadní hnané kolo v kyvné vidlici odpružené pomocí dvou tlumičů.



Obrázek 22 - 3D pohled na koncept

Prvotní návrh se dvěma kyvnými vidlicemi byl nakonec zamítnut a pro koncept byl použit rám z již existujícího motocyklu, což výrazně přispělo ke snížení ceny. Rám motocyklu je použit z motocyklu Kawasaki ER5, jedná se o trubkový kolébkový ocelový rám. Vzhledem k jinému statickému zatížení byla provedena tuhostní analýza v několika zátěžných stavech. Co se týče ergonomie, je kladen důraz na pozici řidiče podobnou jízdě na klasickém enduro motocyklu. Řídítka jsou široká se snadnou dostupností ovládacích prvků. Sedlo zajišťuje rychlou změnu polohy řidiče pro svižný jízdní styl, není ovšem pohodlné pro dlouhou jízdní dobu. Nádrž, která je zde pouze designovým prvkem, slouží jako úložný prostor pro elektrické vybavení a pro drobné předměty.



Obrázek 23 - pohled zepředu a zezadu na koncept



Obrázek 24 - Prvotní skica

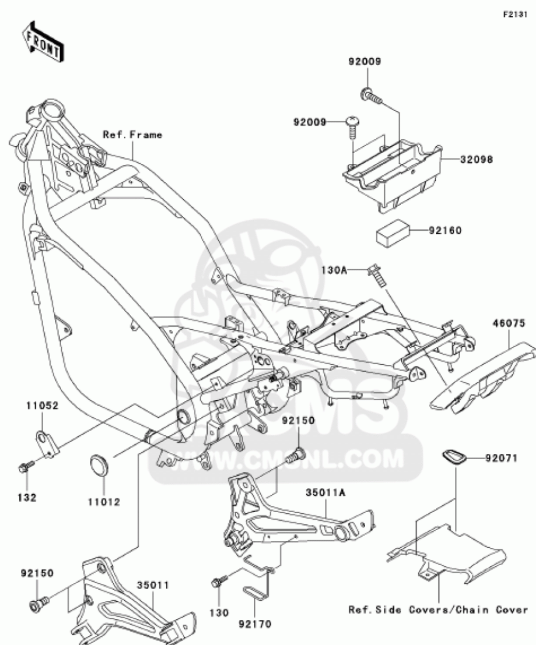
## 6.1 TUHOSTNÍ ANALÝZA RÁMU

Tato tuhostní analýza srovnává akcelerační zátěžné stavy akcelerace a decelerace jednoho rámu ve dvou variantách. První variantou je původní uspořádání se zatížením od spalovacího motoru, palivové nádrže a jezdce. Druhou variantou je uspořádání při možné přestavbě na elektromotocykl, kde hlavní odlišností je zásadní změna těžiště celého motocyklu vlivem odstranění palivové nádrže a jejího nahrazení pohonnými bateriemi. Rám původního motocyklu Kawasaki ER5 byl zjednodušen pro větší snadnost výpočtů, ta nemá zásadní vliv na jejich výsledky. Výpočty byly prováděné pomocí softwaru NX9 metodou MKP.



Obrázek 25 – Fotografie rámu motocyklu Kawasaki ER-5 [27]

FRAME FITTINGS



Get these parts at [www.cmsnl.com](http://www.cmsnl.com) !

Obrázek 26 – Schéma rámu motocyklu Kawasaki ER-5 [28]



## 6.2 CÍL TUHOSTNÍ ANALÝZY RÁMU

Cílem práce je navrhnout zjednodušení rámu motocyklu (model: Kawasaki ER-5) a simulovat jednotlivá zatížení při tuhostní analýze, včetně hmotnosti. Uvažujeme zrychlení motocyklu z rychlosti z nuly na sto kilometrů v hodině a brždění ze stejné rychlosti na nulu, s přihlédnutím ke hmotnosti motorů, nádrže, baterií a hmotnosti jezdce, dle uspořádání jednotlivých variant.

### 6.2.1 Popis technického řešení

Jedná se o dvojí kolébkový rám motocyklu, který je tvořen ocelovými trubkami spojenými pomocí svarů. Profily trubek jsou dvojího průřezu: 37 a 30 mm vnější průměry a 15 mm vnější průměry. Ukotvení kyvné vidlice je realizováno pomocí čepu uloženého v kluzných pouzdrech nosných plechů. Celý rám je odpružen na tlumičích, které jsou simulovány pružinami s tuhostí 500 N/mm pro přední i zadní tlumiče.

### 6.2.2 Popis výpočtového modelu

#### 6.2.2.1 Výpočet zrychlení

Zrychlení na rychlost 100 km/h za 6,21s se spalovacím motorem o výkonu 25 kW.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{27,7}{6,21} = 4,47 \text{ m} * \text{s}^{-2} = 4473,0721 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$$

Zrychlení na rychlost 100 km/h za 4,5 s elektromotorem.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{27,7}{4,5} = 6,15 \text{ m} * \text{s}^{-2} = 6155,56 \text{ mm} * \text{s}^{-2}$$

#### 6.2.2.2 Počáteční podmínky

Rychlost i čas jsou nulové. Dále pak uvažujeme statické zatížení od pohonné jednotky a akumulátoru. U varianty se spalovacím motorem uvažujeme navíc hmotnost plně natankované nádrže benzínem. Hmotnost dopočteme ze vztahu mezi objemem hustotou a hmotností.

Hustota benzínu je 750 kg/m<sup>3</sup>. Objem nádrže je 17 litrů paliva. Zatížení od plně natankované nádrže je tedy:

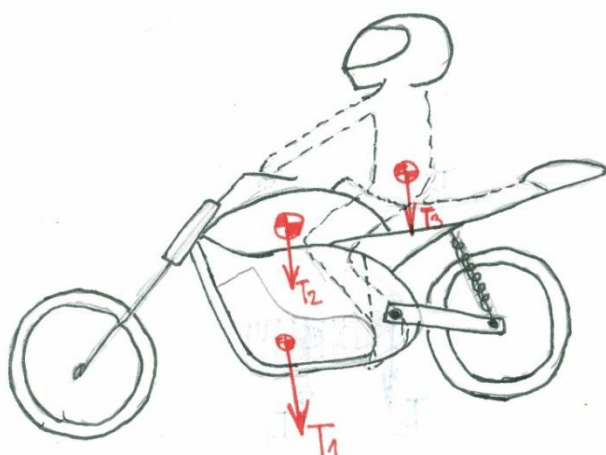
$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$m = \rho * V = 750 * 0,017 = 12,75 \text{ kg}$$

### 6.2.3 Varianta se spalovacím motorem

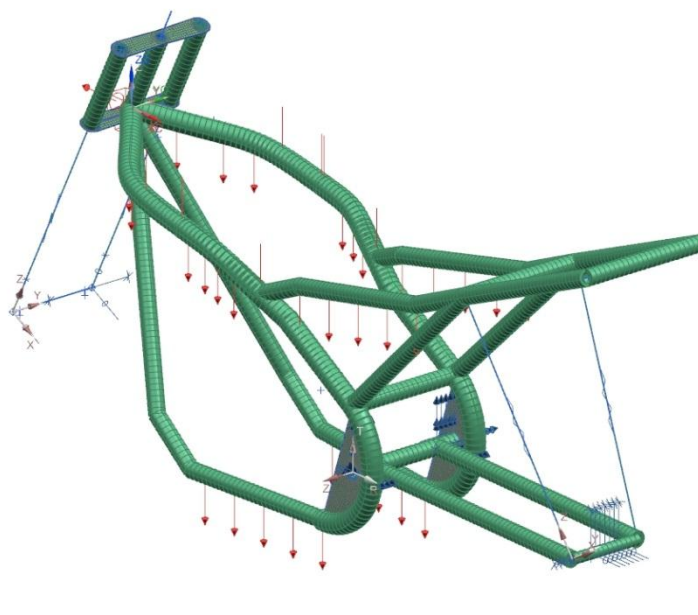
Pro akceleraci i deceleraci uvažujeme stejnou hodnotu zrychlení (4,47 m.s<sup>-2</sup>), navíc se statickým zatížením od spalovacího motoru o hmotnosti 40 kg, plně natankované nádrže benzínem o hmotnosti 12,75 kg a hmotností jezdce o hmotnosti přibližně 90 kg.

Jsou uvažována jednotlivá statická zatížení:

$$T_1 = m_1 \cdot g = 40[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = 392,4 [\text{N}]$$
$$T_2 = m_2 \cdot g = 12,75[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = 125,1 [\text{N}]$$
$$T_3 = m_3 \cdot g = 90[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = 882,9 [\text{N}]$$



Obrázek 27 - Uvažované statické zatížení ( spal. motor)



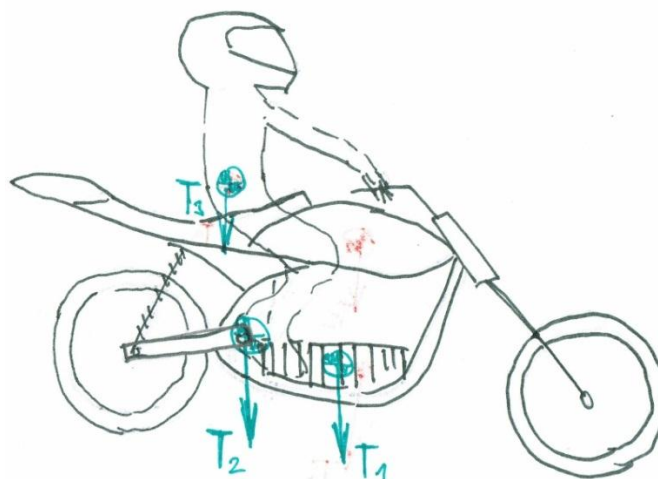
Obrázek 28 – Uvažované statické zatížení v prostředí programu NX9 pro simulaci se spalovacím motorem

#### 6.2.4 Varianta s elektromotorem

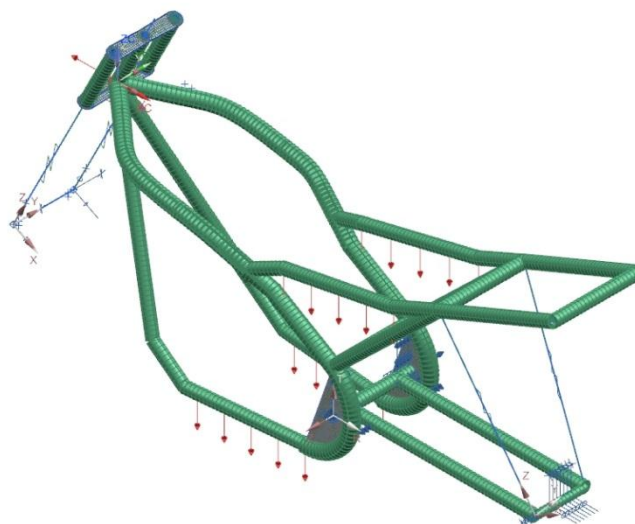
Pro akceleraci i deceleraci uvažujeme stejnou hodnotu zrychlení ( $6,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ), navíc se statickým zatížením od elektromotoru o hmotnosti 5 kg baterií o hmotnosti 12 kg a hmotností jezdce o hmotnosti přibližně 90 kg. U této varianty jsou baterie umístěny na dolních nosných trubkách, odpadá zde hmotnost paliva a spalovacího motoru. Elektromotor je umístěn nad bateriemi. Tato varianta má celkově menší hmotnost oproti variantě se spalovacím motorem, tomu odpovídá i větší hodnota zrychlení.

Jsou uvažována jednotlivá statická zatížení:

$$\begin{aligned} T_1 &= m_1 \cdot g = 5[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] = 49,6 [\text{N}] \\ T_2 &= m_2 \cdot g = 12[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] = 117,7 [\text{N}] \\ T_3 &= m_3 \cdot g = 90[\text{kg}] \cdot 9,81[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] = 882,9 [\text{N}] \end{aligned}$$



Obrázek 29- Uvažované statické zatížení (elektromotor)



Obrázek 30– Uvažované statické zatížení v prostředí programu NX9 pro simulaci s elektromotorem

### 6.2.5 Geometrie modelu

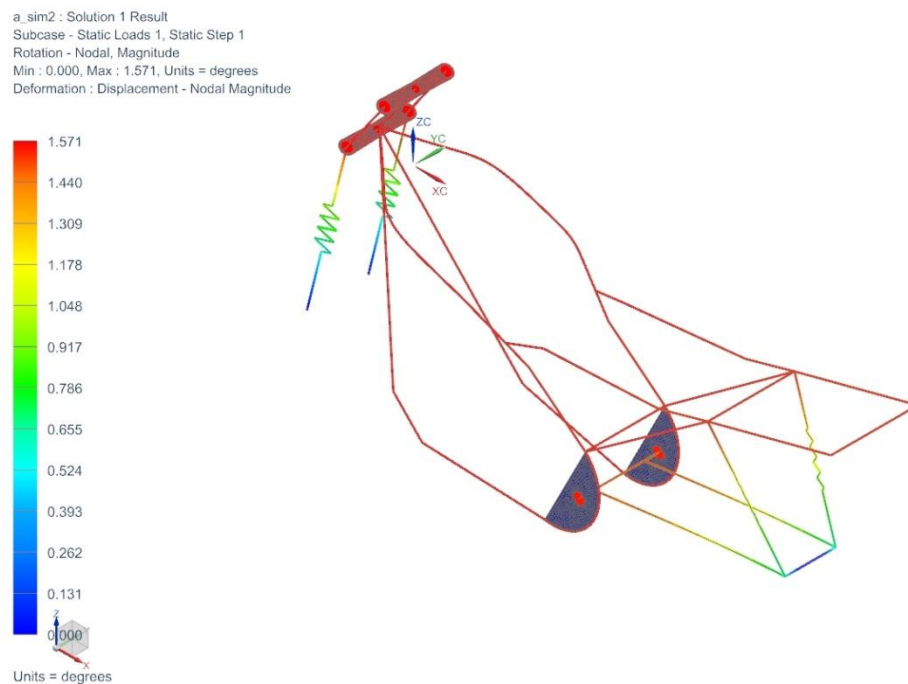
Geometrie modelu je vytvořena jako 1D prvky se zadaným průřezem a materiálem. Plechy, které slouží jako ukotvení kyvné vidlice, jsou simulovány jako 2D prvky se zadanou tloušťkou a materiálem. Tlumiče jsou zjednodušeny na prvek pružiny CBUSH1D s odpovídající hodnotou tuhosti reálného tlumiče. Pro simulaci otáčení kyvné vidlice byly použity okrajové podmínky pomocí funkce Manual coupling. Na ukotvení čepu kyvné vidlice a spojení 2D prvků s 1D prvky byla použita funkce 1D CONNECTION. Pro možnou deformaci pružin simulující tlumiče byl definován nový pomocný souřadný kartézský systém, který je pootočený vůči absolutnímu souřadnému systému ve směru osy Z, ta je pootočená pod úhlem krku řízení.

## 6.3 VÝSLEDKY ANALÝZ

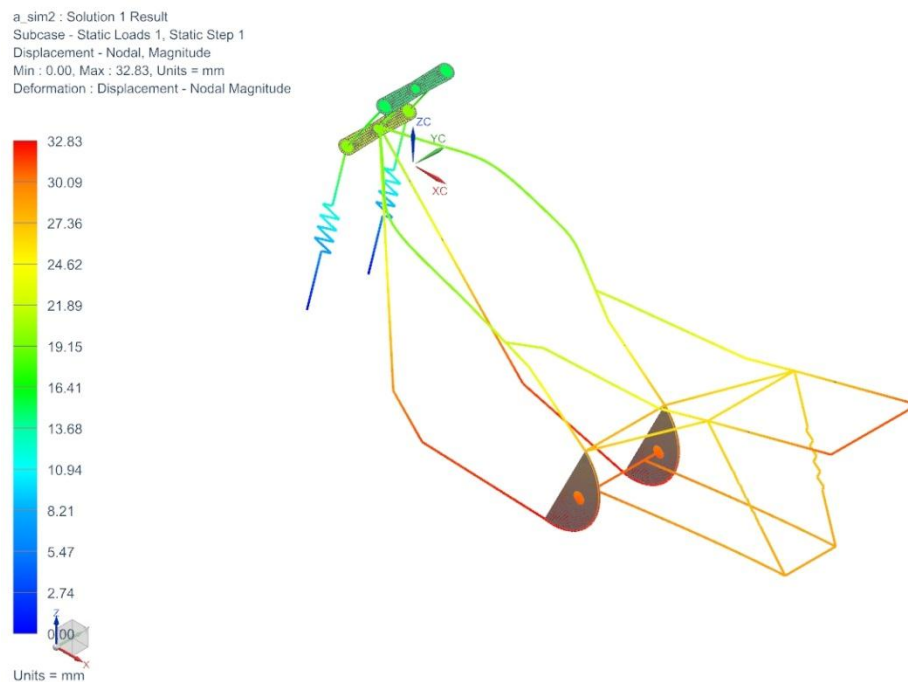
### 6.3.1 VARIANTA SE SPALOVACÍM MOTOREM

Účelem této analýzy je zjistit přibližné hodnoty deformací a napětí pro původní uspořádání a zřízení pro pohon motocyklu spalovacím motorem.

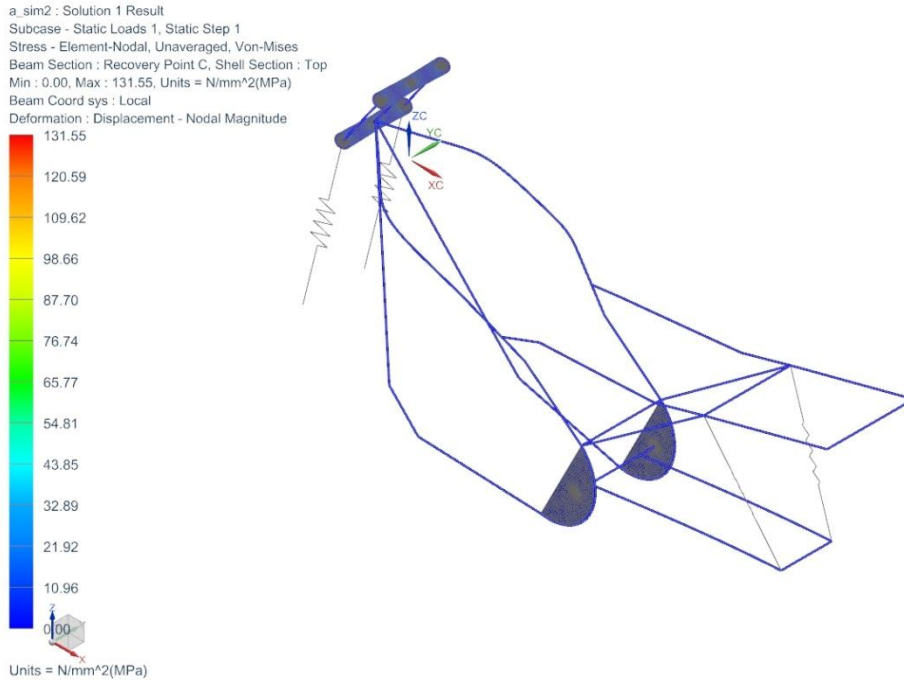
#### 6.3.1.1 AKCELERACE



Obrázek 31 – Natočení (max 1,571°)

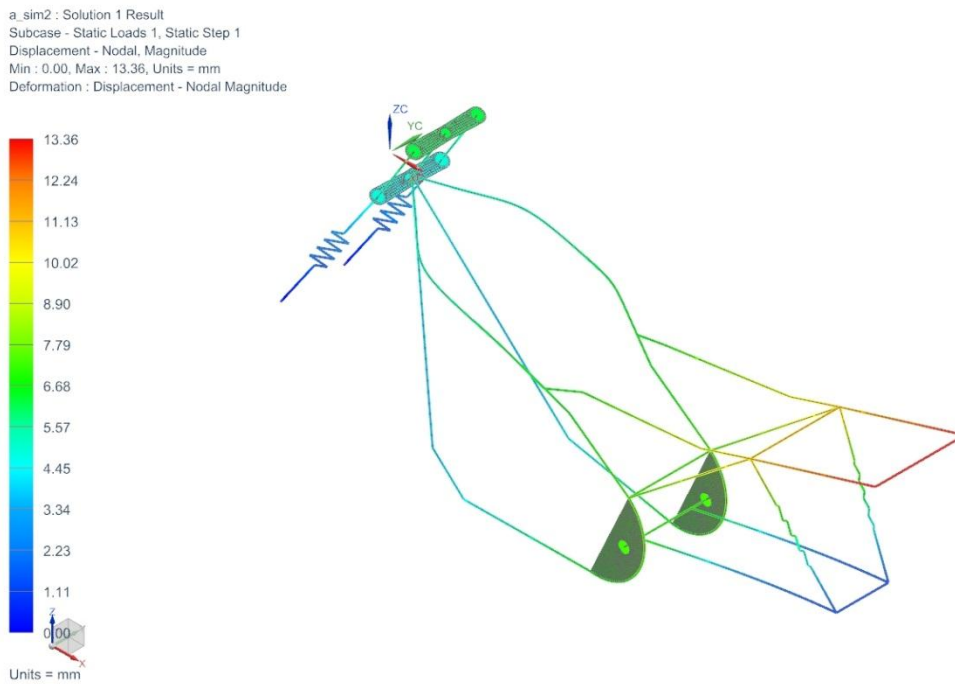


Obrázek 32 – Posunutí (max 32,83 mm)



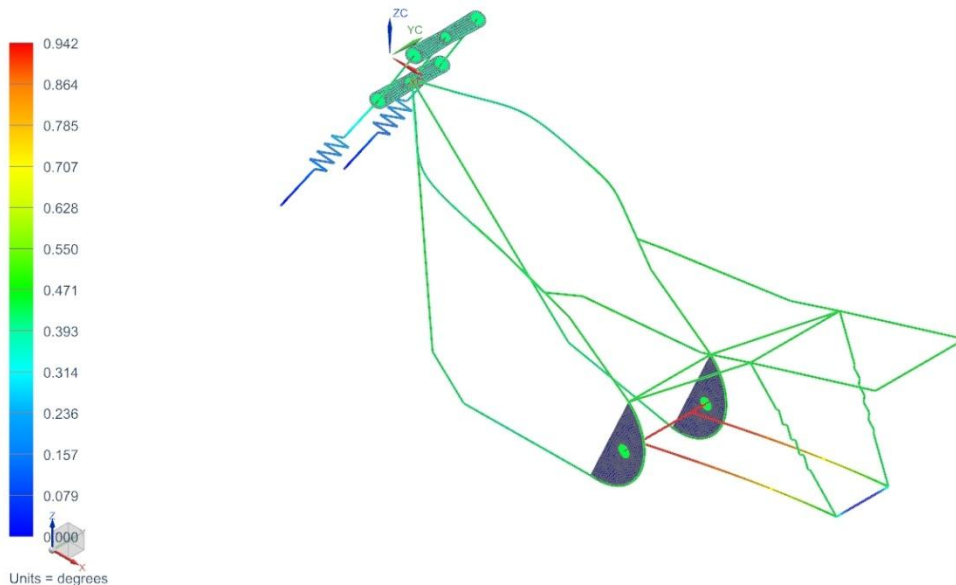
Obrázek 33 – Napětí (max 131,55 MPa)

### 6.3.1.2 DECELERACE



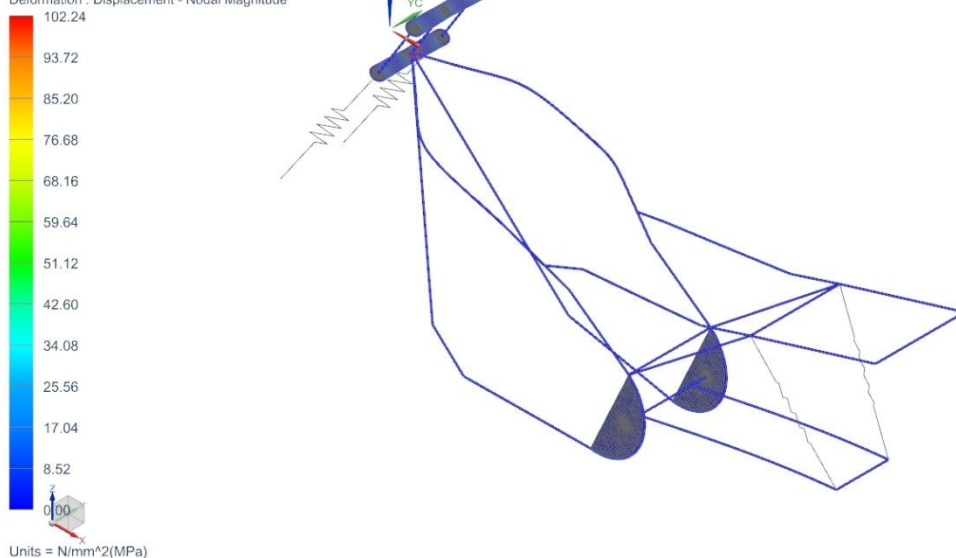
Obrázek 34 – Posunutí (max 13,36 mm)

a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Rotation - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.942, Units = degrees  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 35 – Natočení (max 0,942°)**

a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Beam Section : Recovery Point C, Shell Section : Top  
Min : 0.00, Max : 102.24, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)  
Beam Coord sys : Local  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 36 – Napětí (max 102,24 MPa)**

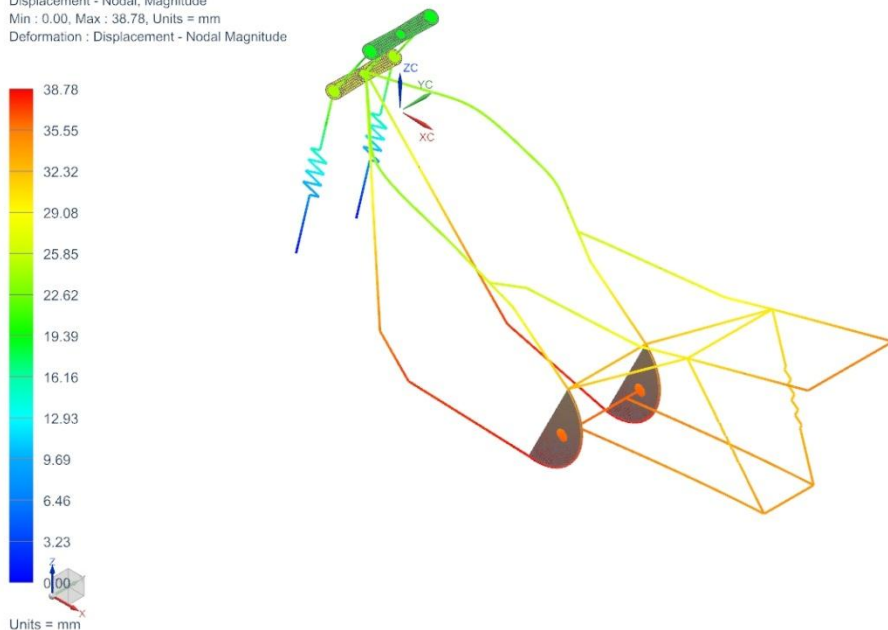
Z příložených obrázků tuhostní analýzy je možné vidět přibližný průběh deformací a napětí při běžném zatížení. Vypočtené hodnoty nepřekračují žádnou tuhostní nebo pevnostní podmínku. Další simulace zatížení se stejným rámem, ovšem osazeným pro pohon od elektromotoru ukáže, jak se průběh těchto napětí a deformací liší.

### 6.3.2 VARIANTA S ELEKTROMOTOREM

Účelem této analýzy je zjistit přibližné hodnoty deformací a napětí pro nové uspořádání a zatížení pro pohon motocyklu elektromotorem.

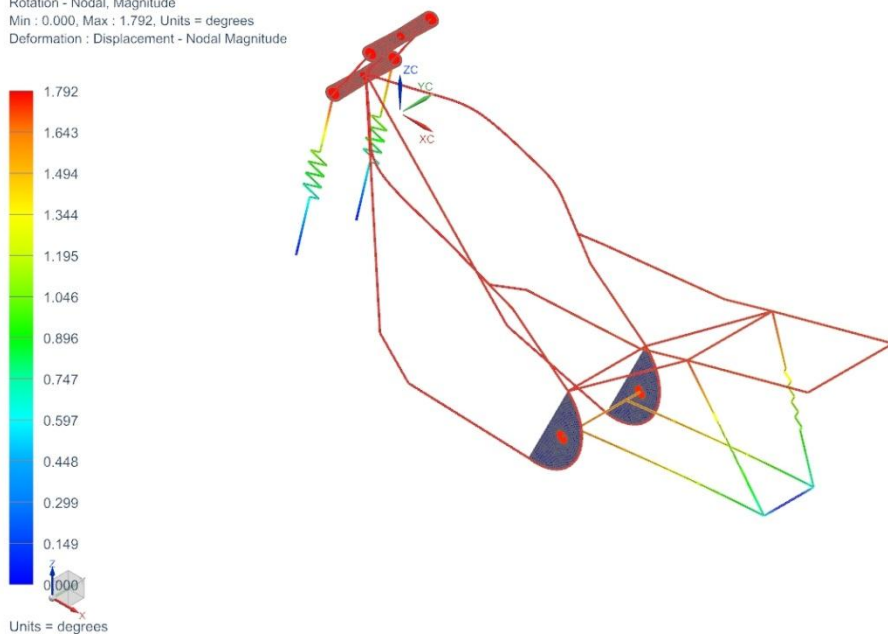
#### 6.3.2.1 AKCELERACE

a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0,00, Max : 38,78, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



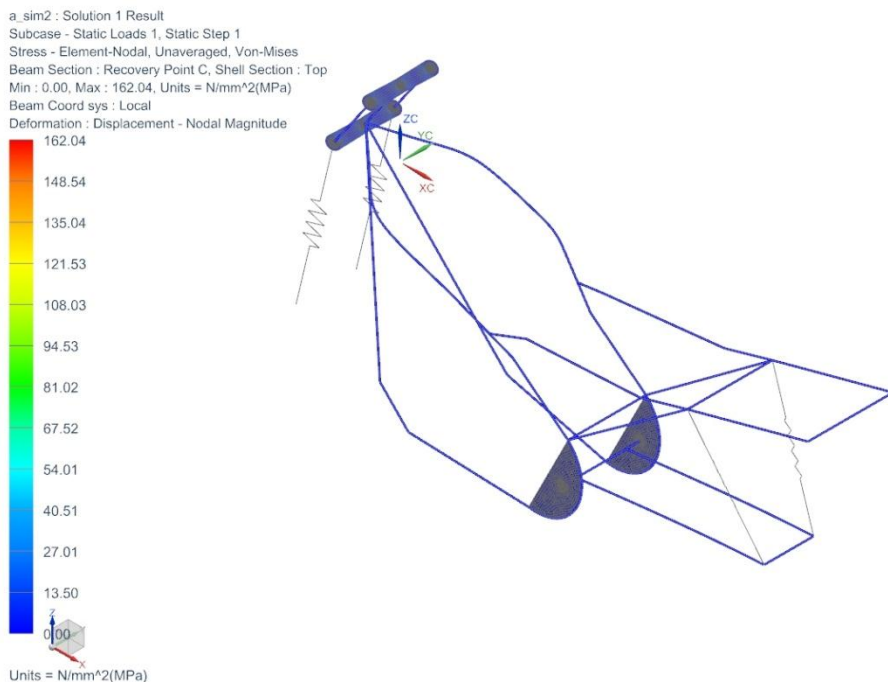
Obrázek 37 – Posunutí (max 38,78 mm)

a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Rotation - Nodal, Magnitude  
Min : 0,000, Max : 1,792, Units = degrees  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 38 – Natočení (max 1,792°)





Obrázek 39 – Napětí (max 162,04°)

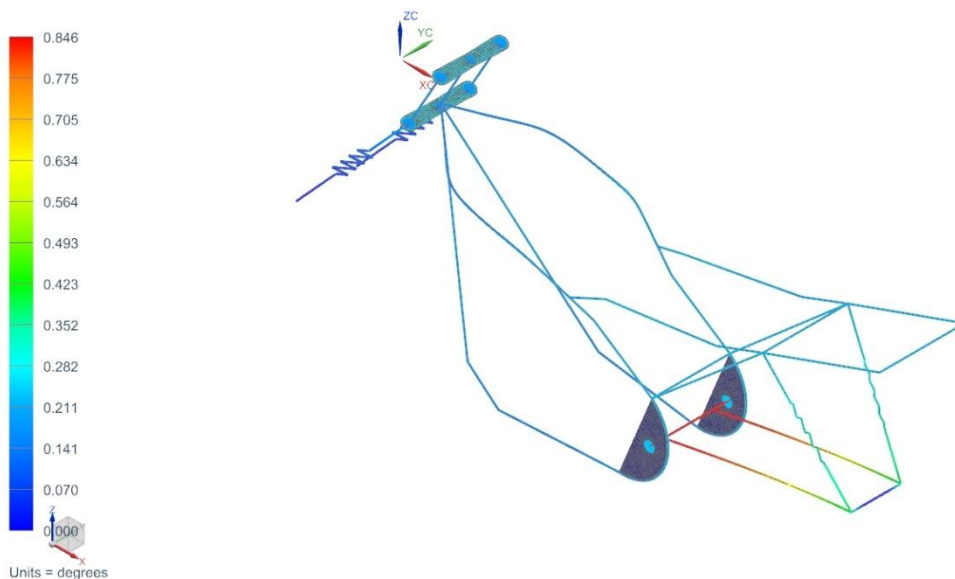
### 6.3.2.2 DECELERACE



Obrázek 40 – Posunutí (max 13,14 mm)

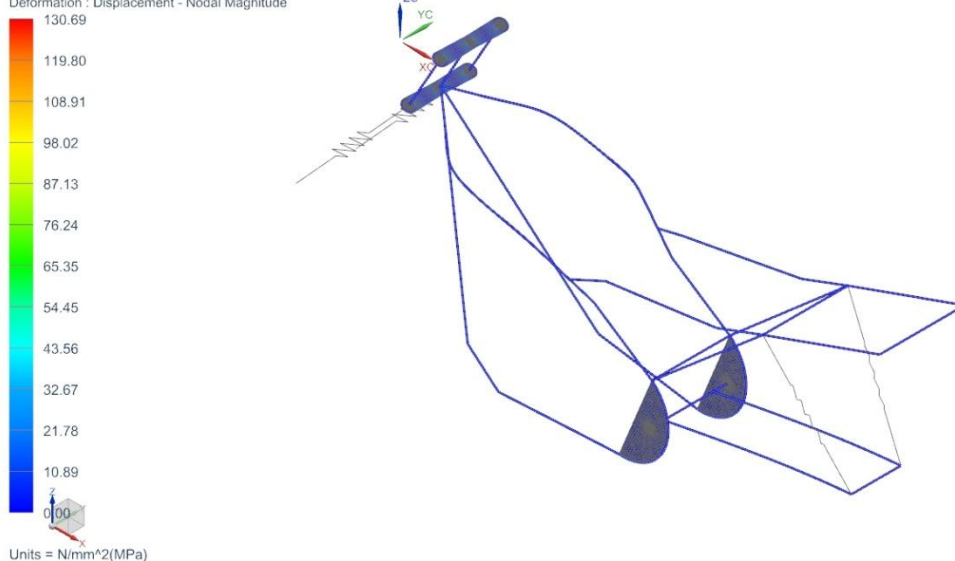


a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Rotation - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.846, Units = degrees  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 41 – Natočení (max 0,846°)**

a\_sim2 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Beam Section : Recovery Point C, Shell Section : Top  
Min : 0.00, Max : 130.69, Units = N/mm^2(MPa)  
Beam Coord sys : Local  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 42 – Napětí (max 130,69 MPa)**

Z výsledných hodnot deformací a analýz můžeme snadno vidět, že uspořádání pro pohon motocyklu elektrickou energií se stejným rámem, ale níže umístěné těžištěm mnohem méně namáhá rám, z toho plyne mnohem menší náročnost na pevnost a tuhost rámu i bez uvažování vibrací od spalovacího motoru. Tento fakt je možné vidět například u jednoduchých rámu skútrů.

## 6.4 VYHODNOCENÍ ANALÝZY

Tabulka 4 – Výsledky varianty spalovacího motoru

<b>VARIANTA SE SPALOVACÍM MOTOREM</b>			
<b>AKCELERACE</b>		<b>DECELERACE</b>	
POSUNUTÍ	32,63[mm]	POSUNUTÍ	13,36[mm]
NATOČENÍ	1,571[deg]	NATOČENÍ	0,942[deg]
NAPĚTÍ	131,55[MPa]	NAPĚTÍ	102,24[MPa]

Tabulka 5 – Výsledky varianty elektromotoru

<b>VARIANTA S ELEKTROMOTOREM</b>			
<b>AKCELERACE</b>		<b>DECELERACE</b>	
POSUNUTÍ	38,78[mm]	POSUNUTÍ	13,14[mm]
NATOČENÍ	1,792[deg]	NATOČENÍ	0,846[deg]
NAPĚTÍ	162,04[MPa]	NAPĚTÍ	130,69[MPa]

Z výsledků je patrné, že k největším deformacím a napětím dojde při akceleraci. Velikost zrychlení má největší vliv na způsobené deformace a napětí než vliv statických zatížení. Grafické vyobrazení deformací je o 10% větší, než je skutečné pro lepší představu. Co se týče napětí, přibližná hodnota  $R_e$  pro ocel je 250 MPa. Tato hodnota nebyla v žádné počítané situaci překročena. Výpočet daných situací je oproti realitě pouze přibližný (především jednouzlová oblast krku řízení), protože je uvažováno se zjednodušeným rámem a je uvažován pouze 1D model. Pro přesnější a detailnější výpočet by bylo vhodné použít celou simulaci daných zatížení ve 3D.

## ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo porovnat současné elektromotocykly s motocykly s obvyklými spalovacími motory. Čtenáře tato práce seznamuje se základním rozdělením současných motocyklů a jejich rámců, dále pak popisuje některé již vyrobené elektromotocykly a jejich vlastnosti. Především pak srovnává výhody a nevýhody elektromotocyklů, včetně popisu jejich využití, údržby jízdních vlastností, nákladů na provoz a podobně. Jsou zde popsána i možná konstrukční řešení.

Posledním úkolem bylo navrhnout vlastní elektromotocykl. Koncept vychází z již existujícího motocyklu, a to tak, že byl použit stejný rám. Vzhledem k tomu byla vytvořena zjednodušená tuhostní analýza pomocí počítačové simulace, které podtrhuje univerzální použití rámu. Jedná se tedy o univerzální motocykl, kategorie Scrambler, který je oproti původnímu motocyklu mnohem lehčí a disponuje větším výkonem a trakcí, zejména díky oběma hnaným kolům.

Elektromotocykly jsou dnes pořád se rozvíjejícím se pojmem. Jejich výroba a potřeba se především odvíjí od touhy po zdravějším životním prostředí bez jedovatých emisí, které se pro spalovací motory každým rokem zpřisňují. Jsou krokem ke zdravějšímu životnímu prostředí a lepšímu využití energií, oproti spalovacím motorům nepotřebují stále se zmenšující zásoby fosilních paliv pro svůj provoz, a tím mají velice dobře nakročeno jako vozidla budoucnosti.

Závěrem je nutné říci, že i přestože elektromotocykly mají mnohá pozitiva a své obdivovatele, stále budou ve srovnání s motocykly se spalovacími motory chybět jejich emocionální stránky pocitu z jízdy.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### KNIŽNÍ PUBLIKACE

[1] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů 1*. Brno: Vlastním nákladem, 2004. ISBN 80-239-1601-7

[2] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů 2*. Brno: Vlastním nákladem, 2004. ISBN 80-239-1601-7

### INTERNETOVÉ PUBLIKACE

[3] Johammer J1: elektromotorka na drogách. *HYBRID.CZ*. [online]. 15.4.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/johammer-j1-elektromotorka-na-drogach>

[4] Netradiční e-bike Johammer J1. *MOTORKÁŘI.CZ*. [online]. 24.4.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/johammer/netradicni-e-bike-johammer-j1-28101.htm>

[5] KTM Freeride E – elektrická budoucnost. *MOTORKÁŘI.CZ*. [online]. 26.9.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/prvni-jizda/ktm/ktm-freeride-e-elektricka-budoucnost-29589.html>

[6] Harley-Davidson LiveWire. Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. 28.5.2015- [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Harley-Davidson\\_LiveWire](https://en.wikipedia.org/wiki/Harley-Davidson_LiveWire)

[7] Elektromotorka Energica EGO. *HYBRID.CZ*. [online]. 12.11.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektromotorka-energica-ego-podrobnosti>

[8] Energica EGO – italská elektromotorka pro 21. století. *EKOBOONUS.CZ*. [online]. 30.9.2013 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/ekologicka-doprava/elektromobily/energica-ego-italska-elektromotorka-pro-21-stoleti>

### OBRÁZKY

[9] Vespa Primavera. *motorscooterguide.net*. [online]. 22.5.2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.motorscooterguide.net/Pictures/150-Vespa-Primavera-Canada.jpg>

[10] KSR MOTO Moped 50. *ksr-moto.com*. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://www.ksr-moto.com/tl\\_files/slideshows/generic/ksrmoto\\_moped\\_002.jpg](http://www.ksr-moto.com/tl_files/slideshows/generic/ksrmoto_moped_002.jpg)

[11] Honda Cbr Black Hd Images 3 HD Wallpapers. *Wallimge.com*. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://wallimge.com/honda-cbr-black-hd-images-3-hd-wallpaper.html>

[12] dhoff\_photo's Bucket. photobucket.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://s215.photobucket.com/user/dhoff\\_photo/media/ADV/HondaCB1100BlackStyle201202.jpg.html](http://s215.photobucket.com/user/dhoff_photo/media/ADV/HondaCB1100BlackStyle201202.jpg.html)

[13] Z800. KAWASAKI.EU. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://storage.kawasaki.eu/public/kawasaki.eu/en-EU/model/ZR800AEF-GRN-F\\_001.png](http://storage.kawasaki.eu/public/kawasaki.eu/en-EU/model/ZR800AEF-GRN-F_001.png)

[14] American Chopper HD Wallpapers. wallpapers111.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://wallpapers111.com/wp-content/uploads/2015/03/American-Chopper-HD-Wallpapers-8.jpeg>

[15] 2013 KTM Off-Road Models! – Sneak Peek. dirtrider.com. [online]. 15.5.2012 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://www.dirtrider.com/files/2012/05/2013\\_KTM\\_450\\_XC-W\\_front.jpg](http://www.dirtrider.com/files/2012/05/2013_KTM_450_XC-W_front.jpg)

[16] RR 125 Motard 4T LCPRODUCT HOME GALLERY. betamotor.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://www.betamotor.com/system/attachments/0000/2137/RR4T09\\_Motard\\_web.jpg](http://www.betamotor.com/system/attachments/0000/2137/RR4T09_Motard_web.jpg)

[17] Motocykl roku 2013 – Modrobílé vrtule bodují. *automotonews.cz*. [online]. 30.4.2013 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.automotonews.cz/wp-content/uploads/2013/04/2013-BMW-R1200GS-107.jpg>

[18] Gas Gas 300 Pro. motomerlyn.co.uk. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://www.motomerlin.co.uk/blog/wp-content/uploads/2010/07/gg\\_txt250\\_2011\\_041.jpg](http://www.motomerlin.co.uk/blog/wp-content/uploads/2010/07/gg_txt250_2011_041.jpg)

[19] CO-BUILT FLAT TRACK RACER. bikeexif.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://kickstart.bikeexif.com/wp-content/uploads/2012/04/flat-track-motorcycle.jpg>

[20] TOP 5 TRIUMPH SCRAMBLER CUSTOMS. bikeexif.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://kickstart.bikeexif.com/wp-content/uploads/2012/05/tridays-triumph-scrambler.jpg>

[21] 十足未来科技感Johammer J1电动摩托车. <http://gps.zol.com.cn/>. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://2a.zol-img.com.cn/product/132\\_500x2000/856/ceWho1JRFQrA.jpg](http://2a.zol-img.com.cn/product/132_500x2000/856/ceWho1JRFQrA.jpg)

[22] JOHAMMER J1 ELECTRIC MOTORCYCLE. freshnessmag.com. [online]. 15.4.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://images.freshnessmag.com/wp-content/uploads/2014/04/johammer-j1-electric-motorcycle-15-570x380.jpg>

[23] Johammer J1: The Powerful Electric Bike Of Next Generation. crankit.in. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <https://crankit.in/wp-content/uploads/2014/06/Chassis-frame-300x228.jpg>

[24] Electric: The KTM Freeride E is Finally Ready for Primetime. asphaltandrubber.com. [online]. 17.9.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://i0.wp.com/www.asphaltandrubber.com/wp-content/uploads/2014/09/KTM-Freeride-E-electric-dirtbike-E-SX-E-XC-05.jpg?resize=635%2C476>

[25] Elektrický H-D Livewire se objeví také v Praze. motohouse.cz. [online]. 3.6.2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://www.motohouse.cz/media/image/thumb/harley-davidson-livewire.jpg/p\\_max\\_size.jpg](http://www.motohouse.cz/media/image/thumb/harley-davidson-livewire.jpg/p_max_size.jpg)

[26] 2015 ENERGICA EGO SUPERŠPORT POHÁŇANÝ ELEKTROMOTOROM. freshmagazine.eu. [online]. 3.1.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.freshmagazine.eu/wp-content/uploads/2013/12/135.jpg>

[27] KAWASAKI ER 5 MAIN FRAME CHASSIS + TAX LOG BOOK V5 ER500 ER5 500 C 01. ebay.ie. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.ebay.ie/itm/KAWASAKI-ER-5-MAIN-FRAME-CHASSIS-TAX-LOG-BOOK-V5-ER500-ER5-500-C-01-/400684131493>

[28] KAWASAKI 2002 ER500-C2 ER5. cmsnl.com. [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: [http://images.cmsnl.com/img/partslists/kawasaki-2002-er500-c2-er5-frame-fittings\\_bigkar033279145\\_c7e4.gif](http://images.cmsnl.com/img/partslists/kawasaki-2002-er500-c2-er5-frame-fittings_bigkar033279145_c7e4.gif)

**Platnost všech odkazů ke dni 22. 6. 2015**



## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Prvotní skica (originál)
2. Výkres navrženého konceptu