



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Kotvald

**OPTIMALIZACE KONCEPTU ULOŽENÍ POHONNÉHO
ÚSTROJÍ STUDENTSKÉHO ZÁVODNÍHO MOTOCYKLU**

Bakalářská práce

2022



K616..... Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tomáš Kotvald

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Optimalizace konceptu uložení pohonného ústrojí
studentského závodního motocyklu**

Název tématu (anglicky): Optimization of Drive System Mounting Concept in a
Student Motorbike

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- v obecné části stručně popište možnosti přenosu výkonu u motocyklů - od pohonné jednotky na zadní kolo,
- analyzujte stávající řešení konstrukce převodovky motocyklu EVO 2.0 Electric týmu CTU Lions z pohledu funkce a uložení a definujte nedostatky,
- na základě získaných výsledků navrhnete konstrukční změny převodovky,
- navržené změny podrobte diskuzi a navrhnete doporučení pro další vývoj.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Svoboda**

Datum zadání bakalářské práce: **22. června 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)


Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


.....
prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Tomáš Kotvald
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....2. března 2022

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této bakalářské práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Josefu Svobodovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce, za cenné připomínky a rady, které mi poskytoval po celou dobu psaní této bakalářské práce. Dále bych také poděkoval panu Ing. Přemyslu Tomanovi z fakulty dopravní ČVUT a Petru Svorníkovi z firmy Převodovky AP s.r.o. za odbornou konzultaci a všem členům týmu CTU Lions, rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia.

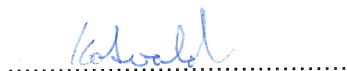
Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. srpna 2022



Tomáš Kotvald

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá optimalizací konceptu uložení pohonného ústrojí studentského závodního silničního motocyklu. Cílem práce je analyzovat současný stav konstrukce převodové skříně závodního silničního motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a navrhnout konstrukční změny, které povedou ke zvýšení účinnosti, funkčnosti a lepší montáži. V teoretické části práce jsou popsány jednotlivé části pohonného ústrojí motocyklu, soutěž MotoStudent, závodní silniční motocykl CTU Lions EVO 2.0 a současný stav převodové skříně u tohoto motocyklu. Praktická část práce se zabývá optimalizací uložení a odhalením nedostatků převodové skříně na stávajícím stavu motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a doporučením pro další vývoj převodové skříně nové.

Klíčová slova:

motocykl, závodní silniční motocykl CTU Lions EVO 2.0, pohonné ústrojí, převodová skříň, CTU Lions, soutěž MotoStudent, optimalizace

Abstract

The bachelor thesis „Optimization of Drive System Mounting Concept in a Student Motorbike“ deals with optimization of the concept of drive system of a student racing road motorcycle. The aim of the thesis is to analyse the current state of design of the gearbox of a racing road motorcycle CTU Lions EVO 2.0 and propose design changes that will lead to increased efficiency, functionality and better assembly. The theoretical part describes the individual parts of the motorcycle drive system, MotoStudent competition, racing road motorcycle CTU Lions EVO 2.0 and the current state of the gearbox of this motorcycle. The practical part of the thesis deals with optimization of the storage and detection of gearbox deficiencies on the current state of motorcycle CTU Lions EVO 2.0 and recommendations for further development of the new gearbox.

Keywords:

motorcycle, racing road motorcycle CTU Lions EVO 2.0, drive system, gearbox, CTU Lions, MotoStudent competition, optimization

Obsah

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 7 |
| 1 POHONNÁ ÚSTROJÍ MOTOCYKLŮ | 8 |
| 1.1 Schéma pohonného ústrojí..... | 8 |
| 1.2 Primární převod | 8 |
| 1.3 Sekundární převod | 11 |
| 1.3.1 Řetězový pohon | 11 |
| 1.3.2 Kardanový pohon..... | 14 |
| 1.3.3 Řemenový pohon..... | 15 |
| 1.4 Spojka | 15 |
| 1.4.1 Třecí spojky | 16 |
| 1.4.1.1 Jednokotoučová třecí spojka..... | 16 |
| 1.4.1.2 Dvukotoučová třecí spojka | 16 |
| 1.4.1.3 Vícelamelová třecí spojka..... | 17 |
| 1.4.1.4 Kluzná spojka..... | 18 |
| 1.4.2 Odstředivá spojka..... | 19 |
| 1.5 Převodová skříň | 19 |
| 1.5.1 Manuální převodové skříňě | 20 |
| 1.5.2 Automatické převodové skříňě | 21 |
| 1.6 Specifika pro elektrické motocykly | 21 |
| 2 SOUTĚŽ MOTOSTUDENT | 23 |
| 2.1 CTU Lions..... | 24 |
| 2.2 Pravidla soutěže MotoStudent – ročník 2019–2021..... | 25 |
| 2.3 Výťah z pravidel kategorie ELECTRIC o pohonném ústrojí | 26 |
| 2.3.1 Elektrický motor | 26 |
| 2.3.2 Převodová skříň..... | 26 |
| 3 MOTOCYKL CTU LIONS EVO 2.0 | 27 |
| 3.1 Rám..... | 28 |
| 3.2 Zadní kyvná vidlice | 29 |
| 3.3 Bateriový box | 30 |
| 4 POPIS SOUČASNÉHO STAVU PŘEVODOVÉ SKŘÍŇĚ | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1 | Převodová skříň | 31 |
| 4.1.1 | Uchytení převodové skříňe k elektromotoru..... | 32 |
| 4.1.2 | Zavěšení převodové skříňe v rámu | 33 |
| 4.1.3 | Vnitřní převodové ústrojí..... | 33 |
| 4.1.3.1 | Vstupní hřídel do převodové skříňe | 33 |
| 4.1.3.2 | Hnací hřídel..... | 35 |
| 4.1.3.3 | Materiály použité na výrobu převodové skříňe..... | 39 |
| 4.1.4 | Smysl otáčení převodové skříňe..... | 39 |
| 4.1.5 | Tělo převodové skříňe | 40 |
| 4.2 | Hodnocení současného stavu převodové skříňe | 41 |
| 4.2.1 | Výhody současného řešení..... | 41 |
| 4.2.2 | Nevýhody současného řešení..... | 42 |
| 4.3 | Nedostatky na převodové skříni motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 42 |
| 4.3.1 | Sestavování | 42 |
| 4.3.2 | Výroba | 43 |
| 4.3.3 | Obsluha | 43 |
| 4.3.4 | Funkce | 44 |
| 5 | NÁVRH OPTIMALIZACE ULOŽENÍ PŘEVODOVÉ SKŘÍŇE | 46 |
| 5.1 | Úpravy na stávajícím stavu převodové skříňe | 46 |
| 5.1.1 | Nová hnací hřídel | 46 |
| 5.1.2 | Utěsnění vstupní hřídele s pastorkem soukolí..... | 46 |
| 5.1.3 | Vymezování pozice talířového kola | 48 |
| 5.1.4 | Pozice vypouštěcího šroubu | 49 |
| 5.1.5 | Změna ložisek na hnací hřídeli a vstupní hřídeli s pastorkem | 49 |
| 5.2 | Úpravy se změnou těla převodové skříňe..... | 50 |
| 5.2.1 | Změna ložisek na vstupní hřídeli s pastorkem..... | 50 |
| 5.2.2 | Přemístění vypouštěcího šroubu | 51 |
| 5.2.3 | Dělicí rovina těla převodové skříňe..... | 51 |
| 5.2.4 | Upínací plochy odlitku..... | 52 |
| 5.2.5 | Kontrolní okénko na těle převodové skříňe | 52 |
| 6 | DISKUZE VÝSLEDKŮ | 53 |
| | ZÁVĚR..... | 54 |
| | POUŽITÁ LITERATURA..... | 56 |

| | |
|-----------------------------|----|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 59 |
| SEZNAM GRAFŮ A TABULEK..... | 60 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 61 |

Úvod

Jak je všeobecně známo, na jakýchkoliv soutěžích jde o vítězství. Každý zúčastněný chce být ten nejlepší a ukázat své kvality. U motoristických soutěží nejde jen o šikovnost samotného jezdce, ale také o kvalitu a spolehlivost závodního stroje a týmu mechaniků. Bez správně fungující závodní techniky vítězství dosáhnout nelze. Proto je důležité mít kolem sebe kolektiv lidí, který je schopný motocykl nebo jiný závodní stroj správně připravit, nastavit, vyvíjet a optimalizovat. Jednotlivé týmy svůj stroj v průběhu závodní sezóny upravují, vylepšují a zdokonalují, aby svému jezdcovi poskytly výhodu nad soupeři.

Jakožto člen univerzitního závodního týmu CTU Lions, který konstruuje a vyvíjí závodní silniční motocykly vím, jak je tato úloha složitá, proto bych se chtěl předkládanou bakalářskou prací podílet s týmem CTU Lions na návrhu silničního závodního motocyklu. Univerzitní závodní tým CTU Lions reprezentuje na mezinárodním poli nejen sebe, ale současně i univerzitu ČVUT a její jednotlivé fakulty a alespoň malým dílem tak přispívá k zviditelnění schopností a úrovně českého vysokoškolského učení ve světě.

Univerzitní závodní tým CTU Lions je už počtvrté účastníkem mezinárodní univerzitní soutěže MotoStudent. V této soutěži univerzitní závodní týmy z celého světa konstruuji a sestavuji funkční prototyp závodního motocyklu. Závodní motocykly jsou limitovány rozměry a pravidly definovanými promotérem soutěže MotoStudent. Vymyslet tak ideální koncept umístění pohonného ústrojí není lehký úkol. Vždy je důležité zpětně analyzovat dané řešení, určit jeho výhody a nedostatky a následně zkusit navrhnout optimalizaci a inovaci daného konceptu. Tato bakalářská práce se zabývá právě tímto tématem, tedy optimalizací uložení pohonného ústrojí na závodním silničním motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a doporučením pro další vývoj nové převodové skříně.

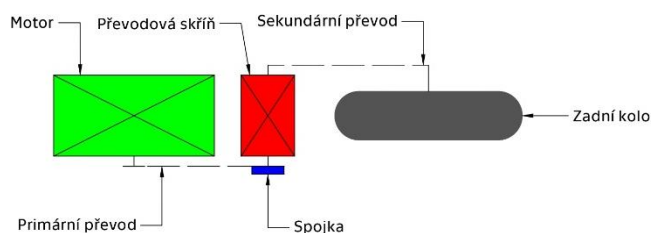
Cílem této bakalářské práce je navržení optimalizace uložení pohonného ústrojí, která by měla týmu CTU Lions pomoci vylepšit současný silniční závodní motocykl CTU Lions EVO 2.0. Aby mohl být popsán aktuální stav převodové skříně motocyklu a navržena její optimalizace, je vhodné popsat jednotlivé části pohonného ústrojí a definovat základní pojmy. V práci je obecně popsáno pohonné ústrojí sériových i závodních motocyklů, soutěž MotoStudent, silniční závodní motocykl CTU Lions EVO 2.0 včetně popisu současného stavu převodové skříně a jejich nedostatků. Dalším cílem práce je doporučení změny uložení pohonného ústrojí při stavbě nového prototypu motocyklu.

1 Pohonná ústrojí motocyklů

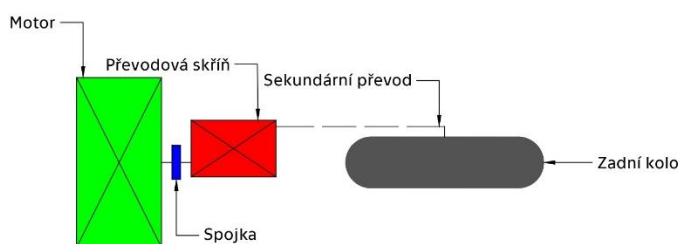
K popsání aktuálního stavu převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a navržení její optimalizace, je vhodné definovat základní pojmy a popsat jednotlivé části pohonného ústrojí. V následující kapitole budou obecně rozebrány a popsány jednotlivé komponenty a jejich funkce v rámci pohonného ústrojí motocyklů.

1.1 Schéma pohonného ústrojí

Pohonné ústrojí motocyklu se skládá z motoru, primárního převodu, spojky, převodové skříně a sekundárního převodu. Na základě otáčení osy klikové hřídele či rotoru (v případě elektrického motocyklu), může být motor uložen příčně nebo podélně. Schéma uložení motoru s příčným výstupem klikové hřídele je zobrazeno na obrázku 1. Schéma podélného uložení, tedy s klikovou hřídelí otáčející se ve směru podélné osy motocyklu je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 1: Schéma pohonného ústrojí motocyklu s příčným výstupem klikové hřídele z motoru



Obrázek 2: Schéma pohonného ústrojí motocyklu s podélným výstupem klikové hřídele z motoru

1.2 Primární převod

Primární převod tvoří první článek převodového ústrojí motocyklu. Tento převod umožňuje, pomocí ozubených kol, řetězu nebo řemenu, přenášet otáčky a kroutící

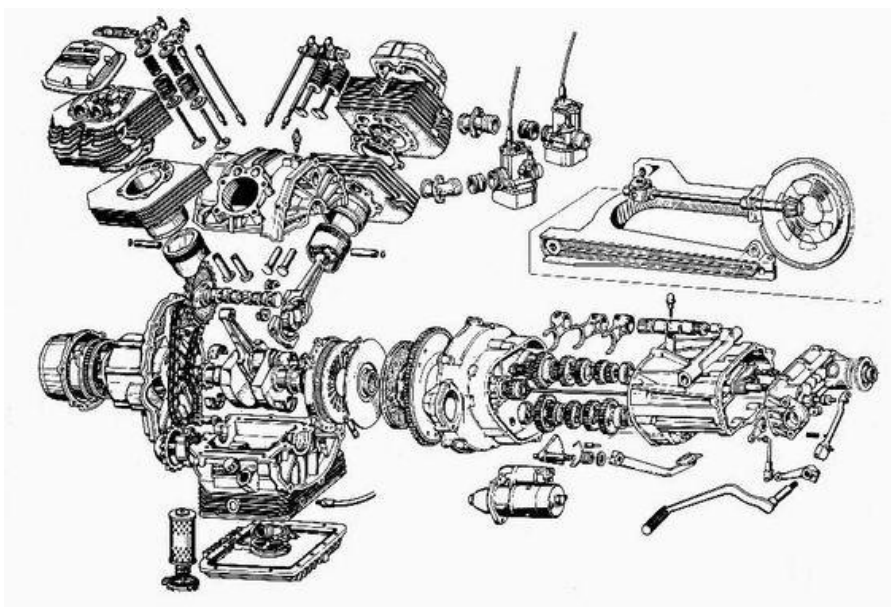
moment z motoru (od klikové hřídele, či výstupní hřídele elektromotoru) na zadní kolo. Primární převod i lze vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{D_1}{D_2} [-]; \quad (1)$$

Kde z_1 je – počet zubů hnacího ozubeného kola [-], z_2 – počet zubů hnaného ozubeného kola [-],

D_1 – průměr hnaného ozubeného kola [mm], D_2 – průměr hnacího ozubeného kola [mm] [1]

Pokud má primární převod hodnotu např. 1,8 znamená to, že kliková hřídel motoru vykoná 1,8 otáčky, zatímco například spojka, která je na vstupní hřídeli do převodové skříně, vykoná 1 otáčku. Primární převod mají zpravidla všechny motocykly se spalovacím motorem. U některých typů např. V2 motory Moto-Guzzi ústí klikový hřídel motoru přímo do spojky a tím pádem je primární převod umístěný v převodové skříně, to lze vidět na obrázku 3. [2]



Obrázek 3: Schéma podélného uspořádání motoru V2 [3]

Pro primární převod tvořený ozubenými koly se nejčastěji používají ozubená kola s přímým ozubením (viz obrázek 4). V průběhu vývoje někteří výrobci začali v rámci primárního převodu implementovat kola se šikmým ozubením, a to zejména kvůli tiššímu chodu a schopnosti přenést vyšší výkon oproti přímým zubům. Hlavní výhodou

přímého ozubení je, že vyvíjí nízké axiální tlaky na klikovou hřídel a ložiska převodové skříně. Mazání ozubených kol je u čtyřdobých motorů typicky zprostředkováno skrze společnou olejovou náplň motoru a převodové skříně. U některých motocyklů je primární převod plněn svým olejem a od zbytku pohonného ústrojí je oddělen – například u motocyklů značky Harley-Davidson s motory Twin Cam.

Řetězový převod má oproti ozubeným kolům zásadní nevýhodu v podobě vyššího opotřebení a tím pádem kratší životnost a z toho vyplývající nutnost výměny. Používá se spíše u motocyklů s nižší kubaturou. Při konstrukci je nutné si uvědomit i odlišnost ve smyslu otáčení – pomocí řetězu má hnací i hnané kolo stejný smysl otáčení, v případě použití ozubených kol je však smysl otáčení ozubených kol opačný (stejného smyslu otáčení hnacího a hnaného kola, lze docílit tzv. vloženým ozubeným kolem). Tato skutečnost někdy vede konstruktéra i k volbě opačného směru otáčení samotného motoru jako např. u motoru motocyklu Kawasaki GPZ 500. Výjimečně se používá i převodu ozubeným řemenem. Jedná se o kevlarová vlákna zalitá pryží – konstrukce je tedy podobná v případě řemenů rozvodových i sekundárních. Řemen je na rozdíl od řetězu nutné udržovat v suchu bez přístupu rozpouštědel a mastnoty. Velkou výhodou řemenu je, že vytváří méně hluku na rozdíl od předchozích dvou variant. [4]



Obrázek 4: Čelní ozubení s přímými zuby [5]

1.3 Sekundární převod

Sekundární převod zajišťuje přenos hnacího momentu z převodové skříně na zadní kolo stroje nebo motocyklu. Níže jsou popsány nejčastější způsoby takového přenosu.

1.3.1 Řetězový pohon

Řetězový pohon zadního kola motocyklu využívá nejčastěji válečkový nebo pouzdrový řetěz. [2] Tento způsob pohonu je nejrozšířenější, ale není ve všech ohledech zcela ideální. Vyžaduje pravidelnou kontrolu a údržbu např. dopnutí řetězu a pravidelné mazání. [6] Řetěz spojuje výstupní hřídel z převodové skříně přímo se zadním kolem. Spojení zajišťuje přenos kroutícího momentu ze sekundárního řetězového kola na převodové skříně, skrze jednotlivé články řetězu na řetězové kolo (tzv. rozetu), které je již přímo spojené se zadním kolem, které pohání. Podle poměru počtu zubů sekundárního řetězového kola na výstupu převodové skříně vůči rozetě se vytváří sekundární převodový poměr. Jak řetěz, tak řetězová kola mohou být na pravé i levé straně motocyklu, záleží na výrobci. Změnou řetězových kol můžeme poměrně snadno docílit změny převodového poměru. [2]

Aby byl zajištěn správný chod motocyklu, řetěz musí být mezi řetězovými koly správně napnutý. Napnutí a správné pozice zadního kola motocyklu je docíleno pomocí tzv. napínáků – součástí k napnutí řetězu na zadní vidlici. Příklad řešení napínáku řetězu od konstruktérů Suzuki lze vidět na obrázku 5.

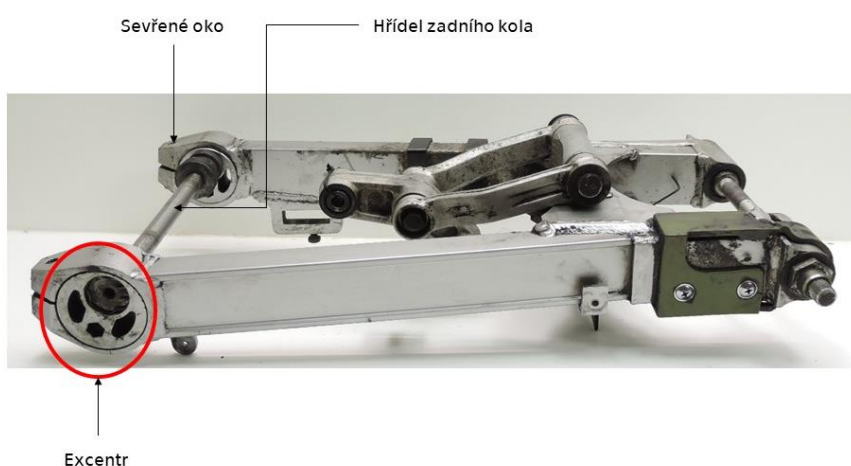


Obrázek 5: Napínák řetězu Suzuki [7]

Používají se zpravidla dva typy napínáků. První se skládá ze dvou plechů prohnutých do tvaru písmene „U“ upevněných na obou ramenech zadní vidlice. Skrz tyto plechy prochází hřídel zadního kola, kterou lze posunovat dopředu nebo dozadu v podélných otvorech. V dnešní době lze vidět různé modifikace tohoto jednoduchého typu. Tento typ napínáku lze vidět na obrázku 6. Druhým typem je excentr v otočném úchytu zadní vidlice nebo excentricky uchycená hřídel zadního kola. Toto řešení zajišťuje, že při seřizování napnutí řetězu nedojde k nechtěnému vybočení zadního kola mimo podélnou osu motocyklu (viz obrázek 7). [2]

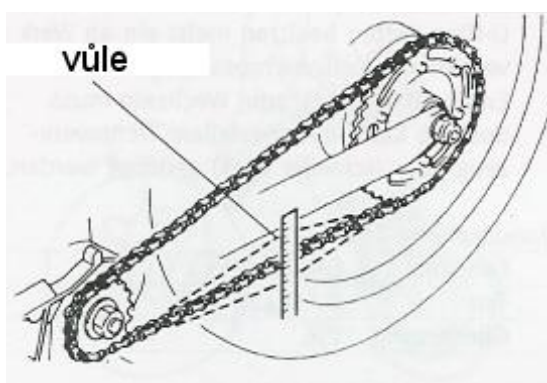


Obrázek 6: Napínák řetězu na motocyklu Suzuki GSXR1000 [8]



Obrázek 7: Napínák řetězu s excentrem na motocyklu Kawasaki GPZ 900 R [9]

Napínání se zpravidla provádí pomocí napínacích šroubů (případně matic), které jsou na konci kyvné vidlice. Při napínání je důležité provádět vždy stejný počet otáček napínacího šroubu (případně matice) na jedné i druhé straně uložení zadního kola a tím zajistit, aby nedošlo k nechtěnému vybočení zadního kola mimo podélnou osu motocyklu. Obecně lze říci, že správně napnutý řetěz má prověšení mezi 2,5 až 3,5 cm, vždy je však třeba řídit se doporučením výrobce motocyklu. Průhyb neboli prověšení řetězu měříme na spodní části řetězu, zhruba uprostřed mezi oběma řetězovými koly, viz obrázek 8. Napnutí řetězu se kontroluje zpravidla každých 1000 km, ale i v tomto případě je nutné řídit se doporučením výrobce motocyklu. [10]



Obrázek 8: Schéma kontrolы správně napnutého řetězu [10]

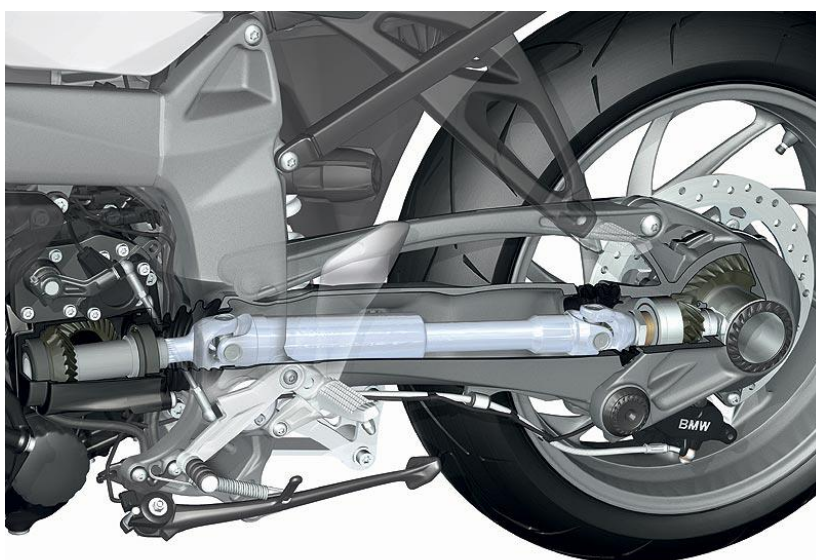
Výhody použití řetězu spočívají v jeho schopnosti přenášet vysoké hodnoty kroutícího momentu, a to při zachování nízké hmotnosti. Řetěz je dobře přístupný a viditelný, tím pádem je snadná vizuální kontrola napnutí, opotřebení a jeho celkového stavu (např. zda není poškozen). To samé platí i pro údržbu v podobě pravidelného mazání a dopínání. Při použití řetězu na sekundárním pohonu lze snadno stávající převodový poměr změnit výměnou řetězových kol. [11]

Nevýhodou řetězového pohonu je nutnost časté údržby v podobě mazání, které je nutné provádět pravidelně zhruba každých 400 km. V případě použití v prašném a blátivém prostředí dokonce i častěji. Dalším důležitým nedostatkem řetězového pohonu je jeho hlučnost a výkonová ztráta. Při prasknutí řetězu hrozí, že může dojít k těžkému poranění jezdce, případně ke škodám na majetku nebo zdraví v jeho bezprostředním okolí. Tomu lze předcházet pravidelnou kontrolou, údržbou a včasnou výměnou, tak jak předepisují jednotliví výrobci pro daný motocykl. [11]

1.3.2 Kardanový pohon

Kardanova (kloubová) hřídel je strojní součást, která pomocí kardanova kloubu dokáže přenášet kroutící moment i při nerovnoběžnosti os vstupní a výstupní hřídele. Kardanovou hřídel (viz obrázek 9) je vhodné použít u cestovních motocyklů a případně chopperů z důvodu její schopnosti přizpůsobit se pohybu zadní kyvné vidlice při pružení, kde současně není překážkou její vyšší hmotnost, která je vykompenzována téměř bezúdržbovým provozem. Při použití sekundárního pohonu kardanovou hřídelí musí být na zadním kole umístěn úhlový převod v tzv. rozvodovce. Celá kardanova hřídel včetně rozvodovky je zapouzdřena s vlastní olejovou náplní, takže na ni nemají vliv vnější podmínky, jako jsou déšť, prach a jiné nečistoty. Nespornou výhodou pohonu kardanovou hřídelí je její spolehlivost, tichý chod, dlouhá životnost a nenáročná údržba. U kardanového pohonu se eliminuje nutnost napínání řetězu (manipulace se zadním kolem) tak, jak je nutné u řetězového pohonu. [2] [6] [12]

Nevýhodou použití kardanového pohonu je oproti ostatním řešením (řetězový pohon a pohon řemenem) jeho vyšší hmotnost, která je také daná nutností spojení se zadní rozvodovkou, proto se nevyužívá u sportovních a závodních motocyklů. Výroba kardanového pohonu je velmi náročná a drahá. U kardanové (kloubové) hřídele je velice komplikované měnit převodový poměr, a to z toho důvodu, že lze změnu provést pouze výměnou celého zadního úhlového převodu s jiným převodovým poměrem. [11]



Obrázek 9: Kardanový pohon na motocyklu značky BMW [13]

1.3.3 Řemenový pohon

Řemenový pohon (viz obrázek 10) je tichý a bezúdržbový, protože nevyžaduje žádné mazání a ze všech tří variant přenosu kroutícího momentu z převodové skříně na zadní kol je nejlehčí. Řemen řemenového pohonu má obvykle delší životnost než řetěz. [11] I tady je ale nutné řídit se doporučenými intervaly výměny řemene jednotlivých výrobců motocyklů pro daný typ, které se mohou od sebe vzájemně lišit. Na rozdílné intervaly doporučené výměny řemene má vliv celkový výkon motocyklu, jeho hmotnost i rozdílné šířky použitého řemene od výrobce.

Nevýhodou řemenu je vyšší cena oproti řetězu. Dalším důvodem, proč nejsou využívány více je nutnost jejich pečlivého seřízení, aby nedocházelo k nerovnoměrnému opotřebenosti řemene. Při výměně řemene je téměř vždy nutné vyměnit napínací kladku, případně kladky, pokud je jich na řemenovém pohonu použito více. [11] Při výměně řemene je nutné vždy postupovat dle servisních doporučení výrobce daného motocyklu, který ve svém servisním manuálu vždy uvádí seznam všech dílů, které je potřeba současně s výměnou řemene také vyměnit.



Obrázek 10: Řemenový rozvod na motocyklu značky Harley-Davidson [14]

1.4 Spojka

Spojka tvoří spojovací a rozpojovací článek mezi motorem a převodovou skříní. Svojí funkcí umožňuje plynulé rozjetí motocyklu a při jízdě řazení jednotlivých rychlostních stupňů. Spalovací motor není schopen dodávat dostatečný kroutící moment, který je

potřebný pro rozjezd stroje ihned od nulových otáček. Z tohoto důvodu je nutné použití spojky v pohonném ústrojí motocyklu.

Spojka u motocyklu plní tyto následující základní funkce:

- přerušení spojení mezi motorem a převodovou skříní,
- přenos kroutícího moment z motoru do převodové skříně,
- přerušení přenosu kroutícího momentu mezi motorem a převodovou skříní při řazení rychlostí (zajištění plynulého a tichého řazení rychlostních stupňů). [2]

Spojka je upevněna v setrvačnicku motoru, který je mezi blokem motoru a vstupní hřídelí převodové skříně. U motocyklů se nejčastěji používají třecí spojky. Dále budou popsány jednotlivé typy spojek.

1.4.1 Třecí spojky

Třecí spojka se skládá z jedné nebo více řad třecích kruhových lamel a přítlačného kotouče. Při stisknutí spojkové páčky na levé straně řídítek dojde k odpojení převodové skříně od motoru. Spojka nám umožňuje při zařazeném prvním rychlostním stupni v převodovce a postupným plynulým uvolňováním spojkové páčky do tzv. „záběru spojky“, plynulý rozjezd motocyklu. Při vlastní jízdě nám spojka při stisknutí spojkové páčky umožňuje bezproblémové zařazení vyššího, případně nižšího převodového stupně. Třecí spojka může být suchá a mokrá. V mokré provedení lamely fungují v olejové lázni. Dále můžeme tyto spojky rozlišit dle množství třecích lamel [2] [15]

1.4.1.1 Jednokotoučová třecí spojka

Jednokotoučová třecí spojka se skládá z jedné třecí lamely, která je umístěna na vstupní hřídeli převodové skříně, mezi setrvačnickem motoru a přítlačným kotoučem spojky. Setrvačnick je upevněn na konci klikové hřídele. Na setrvačnicku je upevněn koš spojky s přítlačným kotoučem, který je při sepnutí spojky přítlačován silou membránové pružiny nebo několika vinutými pružinami na třecí lamelu spojky a dochází k přenosu kroutícího momentu z motoru do převodové skříně. [2]

1.4.1.2 Dvoukotoučová třecí spojka

Dvoukotoučová třecí spojka pracuje na stejném principu jako jednokotoučová. Jediný rozdíl je, že pro přenos kroutícího momentu z motoru do převodovkové skříně je

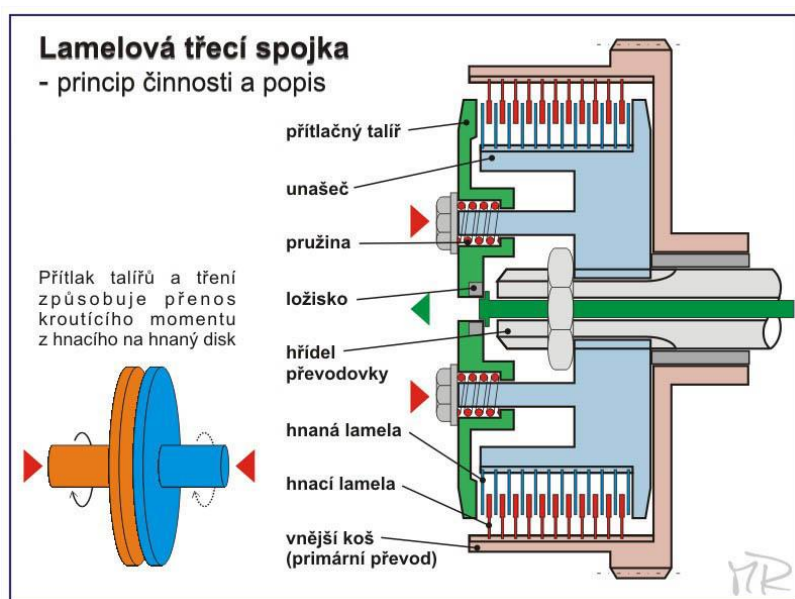
využíváno dvou třecích lamel za sebou. Tím je umožněno přenést větší kroutící moment z motoru do převodové skříně, než je tomu u jednokotoučové spojky [2]

1.4.1.3 Vícelamelová třecí spojka

Jedná se o nejběžnější typ motocyklové spojky. Pracuje na principu využívání více ocelových lamel, které jsou střídavě naskládány uvnitř jejího pouzdra. [15] Díky více třecím vrstvám (tím i větší třecí ploše v kompaktnějších rozměrech) je spojka schopna přenášet velké kroutící momenty. [16] Tato vícelamelová třecí spojka je schopná přenášet největší kroutící moment z motoru do převodové skříně ze všech popsaných třecích spojek. Proto je také nejpoužívanější variantou spojky v motocyklech, zejména u těch s vyšším výkonem, kde by již jednokotoučová, respektive dvoukotoučová třecí spojka nebyla schopná přenést kroutící moment z motoru do převodové skříně. Tento druh spojky se vyskytuje ve variantách suché a mokré spojky. [2]

Mokrá varianta vícelamelové třecí spojky je spojka v olejové lázni – mokrá spojka. Příznivých vlastností oleje se využívá při spínání spojky, která má tím pádem hladší záběr. Třecí spojka funguje jen za přítomnosti tření. Olejová lázeň, respektive olej, ve kterém tato mokrá spojka pracuje, naopak tření snižuje a s tímto negativním účinkem je nutno počítat při návrhu spojky, a dále při volbě správného oleje. [2]

Suchá varianta vícelamelové třecí spojky se používá na závodních a sportovních motocyklech. Důvodem je schopnost přenést stejný kroutící moment z motoru do převodové skříně jako v případě mokré varianty, ale při menších rozměrech a z toho vyplývající nižší hmotnosti, která vyplývá kromě jiného také z absence olejové náplně. Naopak její nevýhodou oproti mokré je tvrdší záběr a vyšší hlučnost. Schéma vícelamelové třecí spojky je zobrazeno na obrázku 11. [2]



Obrázek 11: Schéma vícelamelové třecí spojky [17]

1.4.1.4 Kluzná spojka

Kluzná spojka (viz obrázek 12) je vícelamelová suchá spojka s asistenčním systémem „anti-hopping“, která se používá hlavně u závodních a drahých sportovních motocyklů. Při sportovní jízdě a podřazení o více než jeden rychlostní stupeň, zabráňuje zablokování zadního kola a ztrátě stability (smyku). Pokud je přenášen kroutící moment z motoru na zadní kolo, je chod spojky ovlivňován pouze jezdcem pomocí páčky spojky. Při brzdění motorem je přenos momentu opačný, tedy ze zadního kola na motor. V tomto případě kluzná spojka zabrání zablokování zadního kola, částečným prokluzem systému „anti-hopping“, který je její součástí. Kluzné spojky jsou ovšem velmi drahé a problematické na montáž. [15] [18]



Obrázek 12: Kluzná spojka [19]

1.4.2 Odstředivá spojka

Odstředivá spojka (viz obrázek 13), jak už název napovídá, využívá odstředivé síly k přenosu kroutícího momentu z motoru dále do pohonného ústrojí. Při nízkých volnoběžných otáčkách zůstává spojka rozpojena. Při rostoucích otáčkách motoru odstředivá síla způsobuje vychýlení závaží (odstředivých tělísek), které působí na přítlačný kotouč spojky a tím postupně dochází k přenosu výkonu z motoru dále do pohonného ústrojí na podobném principu, jako tomu je u jednokotoučové třecí spojky. Jakmile motor dosáhne určité hodnoty otáček, je spojka sepnutá. Hodnotu otáček motoru nutných k sepnutí spojky se dá upravovat změnou tuhosti pružin působících proti závažím (odstředivým tělískům) nebo změnou hmotnosti závaží (odstředivých tělísek). Odstředivé spojky jsou sice levné, ale mají i řadu nevýhod. Nejsou schopné přenosu velkého kroutícího momentu s nejsou konstruované k prokluzu, pokud na motocykl působí velké zatížení. Tohoto druhu spojek je hojně využíváno na skútrech, motocyklech typu minibike či moped. [2] [15] [20]



Obrázek 13: Odstředivá spojka [21]

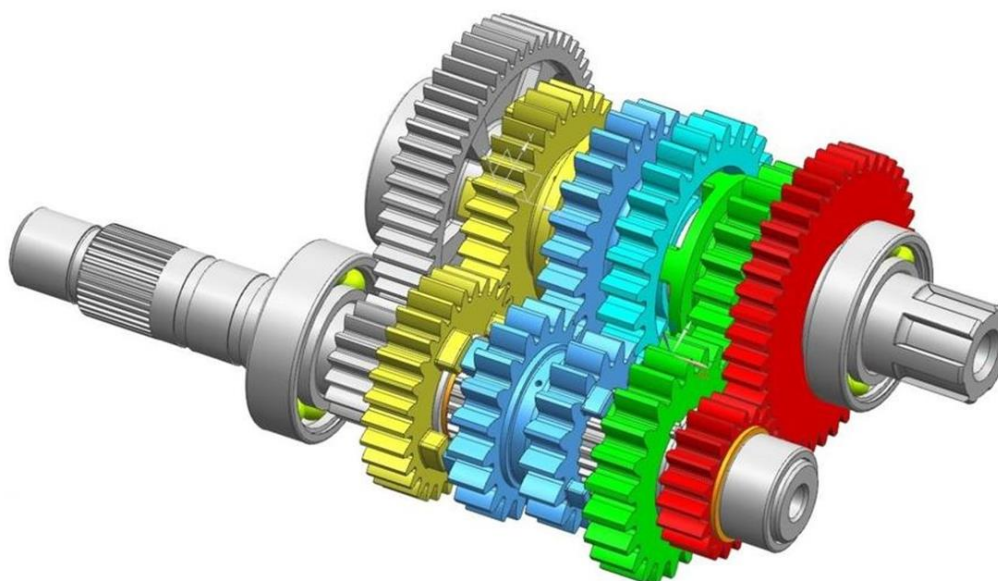
1.5 Převodová skříň

Převodová skříň je technické zařízení, které na motocyklu umožňuje převod mezi motorem a hnanou hřídelí (resp. mezi výstupem ze spojky a sekundárním řetězovým kolem). Převodová skříň se skládá z pevné skříně, převodového a řadícího mechanismu. Většina motocyklů používá konstrukci, kde převodová skříň a motor tvoří jednu

kompletní jednotku, která je součástí bloku motoru. Převodové skříně jsou manuální a automatické.

1.5.1 Manuální převodové skříně

Převodový mechanismus manuální převodové skříně (viz obrázek 14) je tvořen komplexem ozubených kol, pomocí kterých se mění silové a kinetické parametry. [2] [4] U manuálně ovládané převodové skříně se převodový stupeň zařadí pomocí řadící páčky ovládané zpravidla levou nohou a ručně ovládanou spojku (páčkou) na levé straně řídítek. Změna rychlostního stupně při jízdě probíhá následovně, jestliže máme zařazený např. třetí rychlostní stupeň, stiskneme levou páčku ovládní spojky na řídítkách (dojde k odpojení motoru od převodové skříně), nohou přes řadící páku na levé straně motocyklu zvolíme druhý (např. stlačením řadící páky směrem dolů), případně čtvrtý rychlostní stupeň (např. stlačením řadící páky směrem nahoru) a poté páčku spojky na levé straně řídítek pozvolna uvolníme (dojde ke spojení motoru s převodovou skříní). Mezi rychlostním stupněm číslo jedna a dvě je zpravidla tzv. neutrál, při kterém není zařazen žádný rychlostní stupeň a je možné nastartovat motor, případně nechat motor nastartovaný bez nutnosti držet stisknutou levou ovládací páčku spojky na řídítkách. Nejčastěji je u motocyklových převodovek využíváno přímého ozubení na rozdíl od automobilů, kde se naopak využívá šikmého ozubení. Z toho vyplývá že u motocyklů jsou zpravidla posouvána celá ozubená kola po hřídelích pomocí tzv. řadících vidliček.



Obrázek 14: Převodový mechanismus manuální převodové skříně [22]

1.5.2 Automatické převodové skříně

Automatické převodové skříně existují v motocyklech v několika podobách:

- plynule měnitelná převodová skříně (CVT) – variátor,
- převodová skříně s dvojitou spojkou (DCT).

První typ automatické převodové skříně je plynule měnitelná převodová skříně (CVT) jinak také variátor, který se používá zejména ve skútrech a mopedech. Jedná se o typ převodového mechanismu plynule měnící převodový poměr a neexistují u něj jednotlivé, předem dané převodové stupně. [23]

Další typ automatické převodové skříně je převodová skříně s dvojitou spojkou (DCT) s plně automatickým režimem. Tato převodová skříně má dvě hnací hřídele a na každé z nich je umístěna spojka, proto se také jedná o převodovou skříně s dvojitou spojkou. Na jedné hřídeli, např. č. 1, jsou umístěné liché a na druhé hřídeli, např. č. 2, sudé rychlostní stupně (rychlostní kola). Při jízdě je sepnuta vždy pouze jedna spojka se zvoleným rychlostním stupněm. [24]

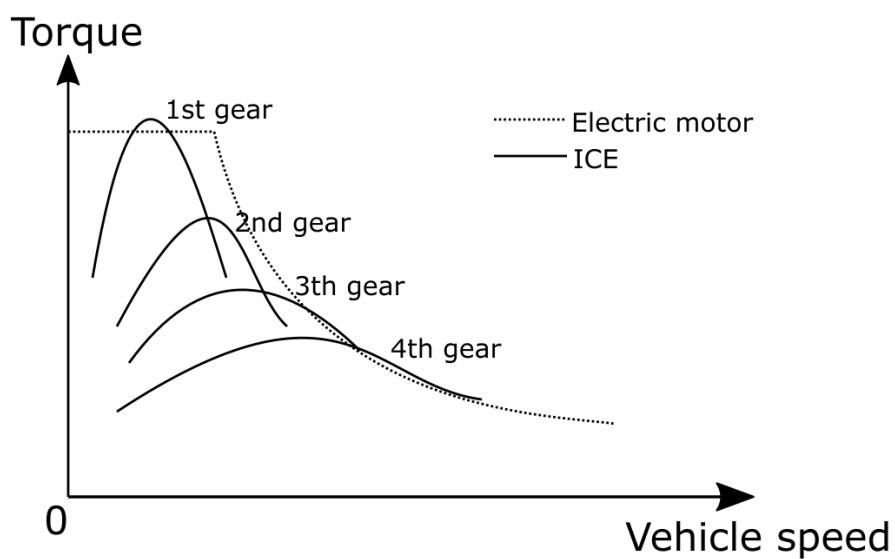
1.6 Specifika pro elektrické motocykly

Rozdíl mezi motocyklem s elektrickým motorem a motocyklem s konvenčním spalovacím motorem je v rozdílném nárůstu kroutícího momentu (viz graf 1), který je u elektrického motoru maximální už od nulových otáček. U elektrického motoru při zvyšování otáček dochází ke snižování kroutícího momentu. U spalovacího motoru je nárůst kroutícího momentu spojený s růstem otáček motoru a jeho využití je v poměrně úzkém pásmu otáček motoru. [25] Proto je potřeba při použití spalovacího motoru do hnací soustavy zařadit spojku a převodovou skříně. Vzájemné spojení nám potom umožňuje efektivní využití kroutícího momentu spalovacího motoru.

Výhodou elektrického motocyklu jsou nižší emise v podobě hluku, vibrací a lokálních exhalací. Naopak u motocyklu se spalovacím motorem, který má ve své konstrukci velké množství rotujících dílů, se tato skutečnost negativně odráží na celkových vibracích. [25] [26]

Další nespornou výhodou elektrického motocyklu je možnost vynechání spojky a převodové skříně, a to z důvodů velkého rozsahu pracovních otáček a maximálního kroutícího momentu již v nízkých otáčkách na rozdíl od spalovacího motoru, který má

využitelný otáčkový rozsah poměrně úzký. Z tohoto důvodu u elektrického motocyklu můžeme použít jednostupňový převod. To vede k nižší nárokům na údržbu. [25] [26]



Graf 1: Porovnání kroutícího momentu elektrického a spalovacího motoru (pozn. ICE - internal combustion engine) [27]

2 Soutěž MotoStudent

MotoStudent je soutěž studentských (univerzitních) týmů z celého světa. Hlavním cílem této soutěže je umožnit studentům uplatnit své znalosti získané během studia v praxi a vytvořit reálný projekt celého motocyklu, a to návrhem, vývojem a výrobou skutečného silničního závodního motocyklu.

Soutěž MotoStudent je vypsána pro dvě kategorie PETROL – konvenční spalovací motor a kategorie ELECTRIC – čistě elektrický pohon. Geometrické a výkonnostní charakteristiky vyvíjeného prototypu motocyklu odpovídají kategorii Moto3 ze seriálu mistrovství světa silničních motocyklů. Od organizátorů soutěže MotoStudent každý tým dostane shodné povinné komponenty, kterými jsou motor (pohonná jednotka), brzdiče, pneumatiky a další drobné díly specifické pro danou kategorii. Povinné komponenty musí týmy použít tak, jak je dostali od organizátorů soutěže MotoStudent a nesmí je žádným způsobem modifikovat, či jakkoliv upravovat.

Samotná soutěž MotoStudent je rozdělena na dvě části:

1. část – vývoj, koncept a stavba závodního prototypu motocyklu,
2. část – testování závodního prototypu motocyklu.

V první části soutěže studenti vyvíjí koncept prototypu motocyklu a navrhují jeho finální podobu. Konečná fáze první části soutěže je spojení předchozích kroků a na jejich základě zkonstruování funkčního prototypu silničního závodního motocyklu. V této části soutěže se také odevzdávají povinné zprávy, ve kterých je popsán postup, jak byl prototyp vyvíjen od prvotních návrhů až po finální podobu a samotnou stavbu prototypu. Součástí prototypování je také projekt technické, či technologické inovace, který studenti vypracují a následně zapracují do finálního motocyklu.

Druhá část soutěže se zabývá samotným testováním a hodnocením prototypu motocyklu na závodním okruhu Motorland Aragon ve Španělsku. Před zahájením této druhé části musí prototypy všech zúčastněných univerzitních závodních týmů projít v místě konání na závodním okruhu nezbytnou vstupní technickou prohlídkou, tzv. „přejímkou“, kde se provádí kontrola dodržení všech předepsaných technických pravidel vypsanych organizátorem pro daný ročník soutěže. Posuzuje se celkové provedení prototypu, dodržení použití povinných komponent dodávaných organizátorem soutěže,

na kterých jsou jakékoli úpravy ze strany jednotlivých týmů zakázané a v neposlední řadě se při této technické prohlídce (přejímce) posuzuje, jestli daný prototyp splňuje všechna nezbytná bezpečnostní pravidla, aby nemohlo dojít k ohrožení na zdraví jezdce, případně dalších členů týmu a zúčastněných osob. Součástí přejímky jsou také bezpečnostní zkoušky např. brzd, či stlačení motocyklu v lisu, kdy organizátoři zkoumají deformace na rámu a velikosti bezpečnostních mezer, či tzv. „mokrý“ test elektro motocyklu. Při tomto tzv. „mokrém“ testu je motocykl umístěn do speciální klece, ve které je po definovaný čas vystaven vodní mlze. Účelem tohoto testu je prověření izolačních schopností a odolnosti elektrických zařízení motocyklu proti vniknutí vody.

Ve druhé části soutěže je prototyp motocyklu testován v rámci tzv. doprovodných disciplín a následně v samotném závodě. Disciplíny se skládají z testů prověřujících brzdění, akceleraci, maximální rychlost a také v jízdě zručnosti. Jízda zručnosti spočívá v co nejrychlejší projetí trasy (tzv. gymkhany) vytyčené pomocí kuželů. V samotném závodě jde už jen o rychlost. Závod začíná tzv. hromadným startem z pevných pozic. V průběhu závodu jezdci soupeří o pozice na trati v reálném čase. Vítězem se stává ten, kdo projede požadovaný počet okruhů (trasy) v nejrychlejší čas. Závodu předchází kvalifikace, ze které postoupí pouze týmy, které zajely organizátorem stanovený kvalifikační čas.

Každá fáze soutěže je hodnocena body, které týmy získávají za umístění v závodě, doprovodné soutěže, ale i za vývoj a koncept motocyklu. Konečné umístění týmu v soutěži tedy neurčuje jen bodový zisk v rámci samotného závodu, ale např. i za maximální rychlost, ovladatelnost prototypu motocyklu anebo za zprávy z vývoje a konceptu prototypu. Soutěž vyhrává tým, který nasbírá nejvyšší počet bodů.

2.1 CTU Lions

CTU Lions racing team (Czech Technical University Lions) je univerzitní (studentský) závodní tým působící na fakultě dopravní ČVUT. Logo závodního týmu CTU Lions je vyobrazeno na obrázku 15. Členové týmu jsou studenti z různých fakult napříč celou univerzitou, např. z fakulty strojní, elektrotechnické a samozřejmě dopravní. Tým vyvíjí a staví závodní prototypy motocyklů pro soutěž MotoStudent. V současné době se zaměřuje hlavně na elektrické prototypy motocyklů. V minulosti vyvinul a postavil dva motocykly se spalovacím motorem. Cílem týmu CTU Lions je vyvíjet a stavět prototypy

motocyklů, které jsou konkurence schopné v rámci mezinárodní soutěže MotoStudent. [28]

Tým CTU Lions vznikl v roce 2015 na fakultě dopravní ČVUT a již v říjnu 2016 odjel svůj první závod na závodním okruhu ve španělském Aragonu s prvním prototypem motocyklu se spalovacím motorem Honda 250R CBR. V následující závodní sezóně 2017/2018 se tým CTU Lions jako jeden z mála závodních týmů účastnil soutěže jak v kategorii PETROL, tak i v kategorii ELECTRIC. S prototypem motocyklu elektrické specifikace se tým umístil v sezóně 2017/2018 z celkového počtu 27 účastníků (závodních týmů) na 9. místě. [28]

V červenci 2021 se tým s novým motocyklem CTU Lions EVO 2.0 úspěšně zúčastnil finálního eventu (zakočení soutěže) MotoStudent 2019/2021. A mezi celkem 45 přítomnými týmy se umístil na celkovém 12. místě. V současné době se tým připravuje na novou sezónu laděním stávajícího motocyklu EVO 2.0 a vývojem motocyklu pro sezónu 2022/2023. [28]



Obrázek 15: Logo závodního týmu CTU Lions [28]

2.2 Pravidla soutěže MotoStudent – ročník 2019–2021

Soutěž MotoStudent má svá pravidla, která musí všichni účastníci soutěže (závodní týmy) respektovat. Jedná se o rozsáhlý soubor pravidel, která obsahují obecnou část společnou pro obě kategorie motocyklů, tedy jak pro kategorii ELECTRIC, tak pro kategorii PETROL a specifickou část pravidel pro každou soutěžní kategorii (ELECTRIC a PETROL). V některých pasážích jsou pravidla velice striktní, zejména v částech, které se týkají požadavků na bezpečnost jezdce. I přesto ponechávají týmům dostatečný prostor pro realizaci vlastních nápadů, inovací apod. V následující kapitole budou zmíněny výtažky z pravidel týkajících se pohonu nebo převodů pro soutěžní kategorii ELECTRIC.

2.3 Výtah z pravidel kategorie ELECTRIC o pohonném ústrojí

V následující kapitole bude sepsán stručný soupis pravidel soutěže MotoStudent z kategorie ELECTRIC týkající se pohonného ústrojí.

2.3.1 Elektrický motor

Elektrický motor neboli elektromotor je jeden z tzv. povinných komponentů, to znamená, že je to komponent, který mají všichni účastníci soutěže společný a nesmějí ho nijak modifikovat ani upravovat. Elektromotor je od organizátorů soutěže MotoStudent opatřen plombami z důvodu kontroly dodržení zákazu jakýchkoli jeho modifikací a úprav. Pokud by bylo s elektromotorem nedovoleně manipulováno, či by byl modifikován, není účastník soutěže (tým) připuštěn do druhé části soutěže. Neporušenost plomb je kontrolována organizátorem soutěže MotoStudent při převjímcě prototypu motocyklu na závodech. V případě poškození komponentu elektromotoru je nezbytné obrátit se na organizátory soutěže MotoStudent a s nimi řešit případnou opravu či výměnu tohoto komponentu tak, aby byla dodržena pravidla soutěže MotoStudent. [29]

Pro závodní sezónu 2019/2021 byl od organizátorů soutěže MotoStudent dodán elektromotor ENGIRO MS 1920. Elektromotor je v prototypu motocyklu zavěšen čtyřmi šrouby s oboustranným závitem M8. Výstupní hřídel je dlouhá 60 mm o průměru 28 mm a je opatřena drážkou pro pero 8x7x36 mm. Technický výkres elektromotoru ENGIRO MS 1920 lze nalézt v příloze č. 1.

2.3.2 Převodová skříň

Konfigurace převodového systému není v pravidlech soutěže MotoStudent omezená. Je povoleno použít jakýkoli typ primárního převodu např. převodová skříň, variátor CVT atd. Dále je možné využití přímého přenosu mezi výstupní hřídelí motoru a zadním kolem motocyklu. Instalace spojkových prvků mezi součásti převodového systému je povolena. Typ použitého sekundárního převodu není nijak omezen. Lze tedy použít řetěz, řemen, kardan atd. [29]

Jediné omezení, které pravidla v této oblasti určují je, že každý prvek převodu, který by mohl znamenat bezpečnostní riziko pro jezdce nebo jeho okolí, musí být zakryt pevným pouzdrem (krytem). [29]

3 Motocykl CTU Lions EVO 2.0

Plně elektrický motocykl EVO 2.0 je již druhým elektrickým prototypem kompletně vyvinutým týmem CTU Lions. Motocykl úspěšně prošel všemi přejímkami (technickými kontrolami) soutěže MotoStudent v roce 2021. V tabulce 1 můžete vidět parametry současného motocyklu. Fotografie motocyklu je na obrázku 16. V následující podkapitolách jsou popsány jednotlivé části závodního silničního motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a komponenty související a sousedící s převodovým ústrojím tohoto motocyklu.



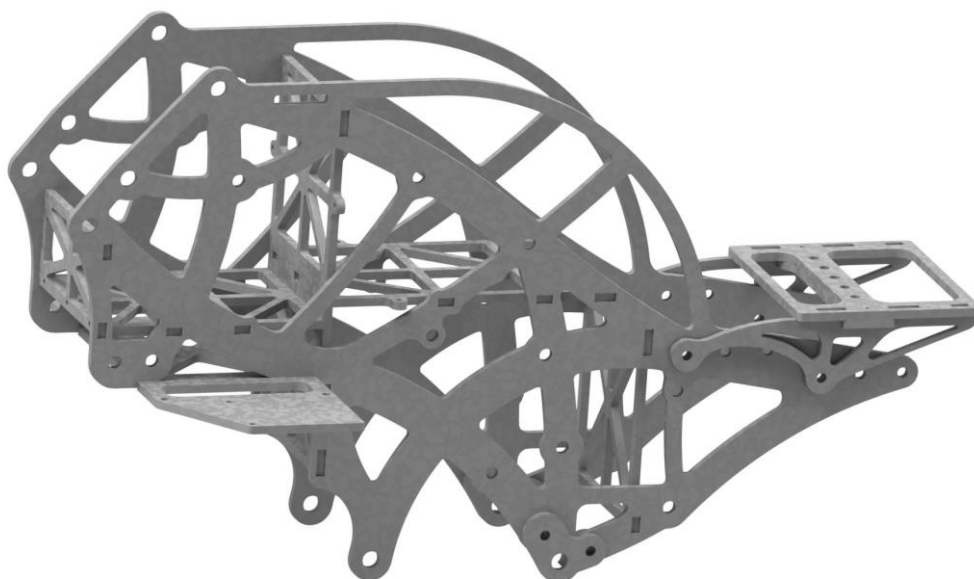
Obrázek 16: Motocykl CTU Lions EVO 2.0 na okruhu Motorland Aragon [30]

| Motocykl CTU Lions EVO 2.0 | |
|--------------------------------|---|
| Celková hmotnost [kg] | 165 (rozložení hmotnosti přední:zadní kolo – 55:45) |
| Motor | Engiro MS 1920 |
| Výkon [kW] | 13 (špičkově 42) |
| Kroutící moment [Nm] | 95 |
| Hmotnost motoru [kg] | 23 |
| Maximální rychlost [km/h] | 190 |
| Kapacita akumulátorů [kWh] | 7 |
| Maximální napětí [V]/proud [A] | 118/500 |
| Typy článků | Sony VTC5A |
| Zapojení článků | 28 seriově, 31 paralelně (celkem 868 čl.) |
| Materiál | hliník 6061, 6082 a 7075 T6 |
| Metoda svařování | TIG |

Tabulka 1: Technické parametry motocyklu CTU Lions Evo 2.0 [28]

3.1 Rám

Rám prototypu motocyklu je tvořen převážně z hliníkové slitiny (viz tabulka 1). Rám byl během fáze návrhu podroben zatěžovací simulaci s maximálním zatížením 1875 N aplikovaným vertikálně na sedlo a 2250 N horizontálně na zadní kolo. Konstrukce rámu je řešena profily o tloušťce stěny 8 mm, které byly odlehčeny pomocí technologie řezání vodním paprskem. Bočnice rámu nejsou symetrické. Jednotlivé části rámu jsou do sebe zasazeny pomocí obdélníkových západek, jak lze vidět na obrázku 17, a jsou k sobě svařeny tzv. „bazénovou“ formou. Další částí rámu, která navazuje na horní část je tzv. „břicho“. Jedná se o dolní část rámu, která kopíruje profil motoru a je k němu uchycena převodová skříň a zadní tlumící a pružící jednotka (viz obrázek 18). Tato oddělitelná část rámu tak umožňuje montáž elektrické pohonné jednotky a převodové skříně. Po spojení s horní částí rámu (hlavním rámem) tak tvoří pevný, tuhý a odolný základ celého prototypu motocyklu.



Obrázek 17: Horní část rámu motocyklu CTU Lions EVO 2.0

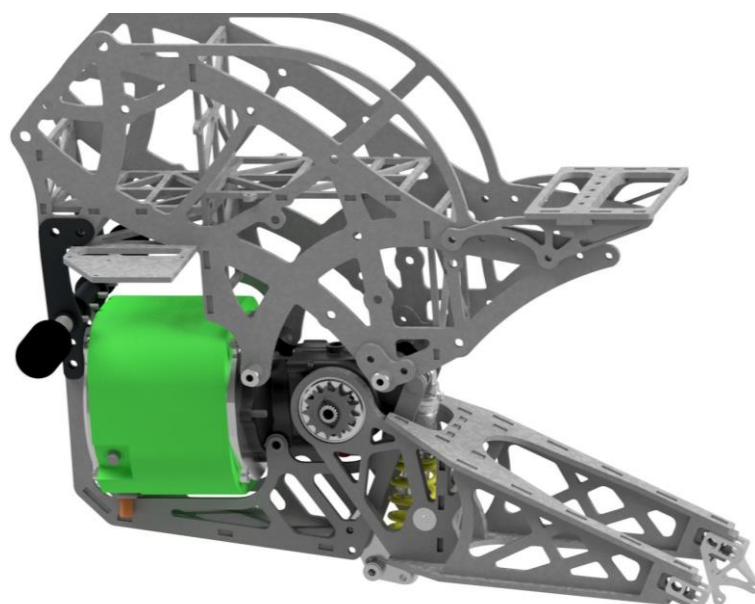


Obrázek 18: Dolní část rámu (břicho) motocyklu CTU Lions EVO 2.0

3.2 Zadní kyvná vidlice

Zadní kolo je umístěné na kyvném rámu – tzv. kyvné vidlici. Kyvný rám je stejně jako rám hlavní vyroben z hliníkové slitiny a pomocí obdélníkových západek svařený. Kyvná vidlice je k rámu upevněna přes systém přepákování zadní centrální pružící a tlumící jednotky, která je umístěna mezi kyvnou vidlicí a dolní částí rámu, jak lze vidět na obrázku 19. Na této jednotce se dá nastavovat předpětí pružiny, což má za následek změnu charakteristiky tvrdosti, čímž se mění vlastnosti podvozku motocyklu.

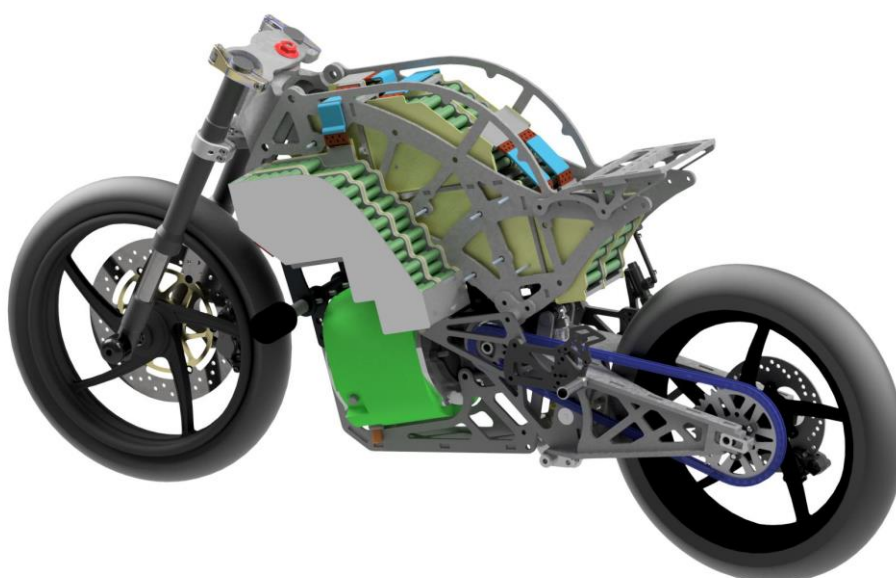
Nedílnou součástí zadní centrální pružící a tlumící jednotky je vlastní tlumič nárazů. Nejčastěji se na zadním zavěšení používá hydraulický tlumič nárazů s expanzní nádobkou, která je většinou připevněna odděleně k rámu a je s centrálním tlumičem nárazů spojena hadičkou. Nádržka slouží k zachycení hydraulického oleje z tlumiče, jelikož hydraulický olej při zahřátí zvětšuje svůj objem a současně většinou také umožňuje v několika stupních nastavení velikosti odporu protitlaku, čímž je možné ovlivnit celkovou charakteristiku tlumiče. [31] Ve spojení s možností nastavení předpětí zadní centrální pružiny je tak možné ladit a přizpůsobit dle potřeby chování celé zadní centrální pružící a tlumící jednotky charakteru trati a povětrnostním podmínkám (celková charakteristika trati, stav povrchu, co se týká rovnosti a v neposlední řadě se jiné nastavení volí při suché a mokré trati). V našem případě je motocykl vybaven pružící a tlumící jednotkou bez expanzní nádobky s možností nastavení předpětí a odskoku. K dispozici máme pružiny různé tuhosti, které na jednotce můžeme měnit.



Obrázek 19: Umístění tlumící a pružící jednotky na motocyklu CTU Lions EVO 2.0

3.3 Bateriový box

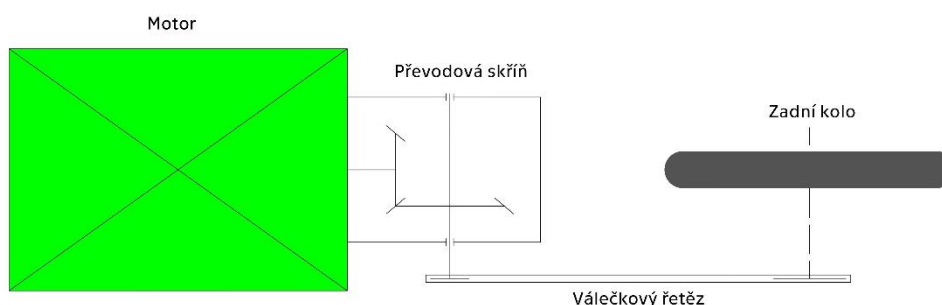
Bateriový box je na motocyklu CTU Lions EVO 2.0 implementován do rámové konstrukce a tvoří tak nedílnou součást rámu jako takového. Celý bateriový pack je rozdělen do 6 sub-packů, které jsou vzájemně propojeny. Jelikož je bateriový pack nedílnou částí rámu, nachází se tak i v těsné blízkosti převodové skříně a vytváří tak prostorové limitace pro případné úpravy a optimalizace na současné konfiguraci motocyklu (viz obrázek 20).



Obrázek 20: Bateriový box na motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4 Popis současného stavu převodové skříně

Pohon motocyklu CTU Lions EVO 2.0 je veden z elektromotoru do převodové skříně a přes válečkový řetěz na zadní kolo, jak lze vidět na schématu viz obrázek 21. Elektromotor je uložen v podélné ose motocyklu. V následující kapitole bude rozebrán současný stav převodové skříně.



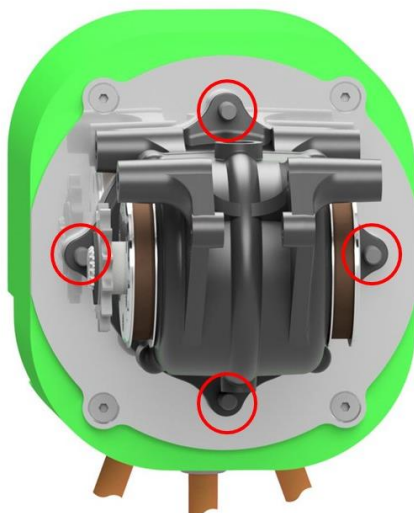
Obrázek 21: Schéma pohonu motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.1 Převodová skříně

Převodovou skříně používáme na prototypu elektrickém motocyklu ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, abychom v převodové skříně dosáhli požadovaného primárního převodového poměru 1,6. Daný převodový poměr zajišťuje úpravu, respektive snížení výstupních otáček z elektromotoru. Druhým důvodem použití převodové skříně je zvolené uložení elektromotoru v podélné ose motocyklu (výstupní hřídel z elektromotoru je také v podélné ose motocyklu). Převodová skříně se skládá z ozubeného kola na vstupní hřídeli tzv. pastorek, a z talířového kola na hnací hřídeli (tento celek tvoří úhlové kuželové soukolí se šikmým spirálovým ozubením tzv. typ ozubení Klingelber). Osa vstupní hřídele (navazující na výstupní hřídel z elektromotoru) je oproti hnací hřídeli otočena o 90°. Tím je zajištěna transformace podélného vývodu z elektromotoru (výstupní hřídel) na příčný vývod z převodové skříně (hnací hřídel). Na této hnací hřídeli je umístěno řetězové kolo, zajišťující přes válečkový řetěz přenos hnané síly na zadní řetězové kolo tzv. rozetu, která je již přímo spojená se zadním kolem, které pohání (soustava sekundárního převodu).

4.1.1 Uchycení převodové skříně k elektromotoru

Převodová skříň je spojena s elektromotorem přes přírubu hliníkového těla převodové skříně pomocí šroubů M10, které prochází děrami o průměru 10 mm (viz obrázek 22). Tím se z převodové skříně a elektromotoru po montáži stává jeden kompaktní pevný celek.

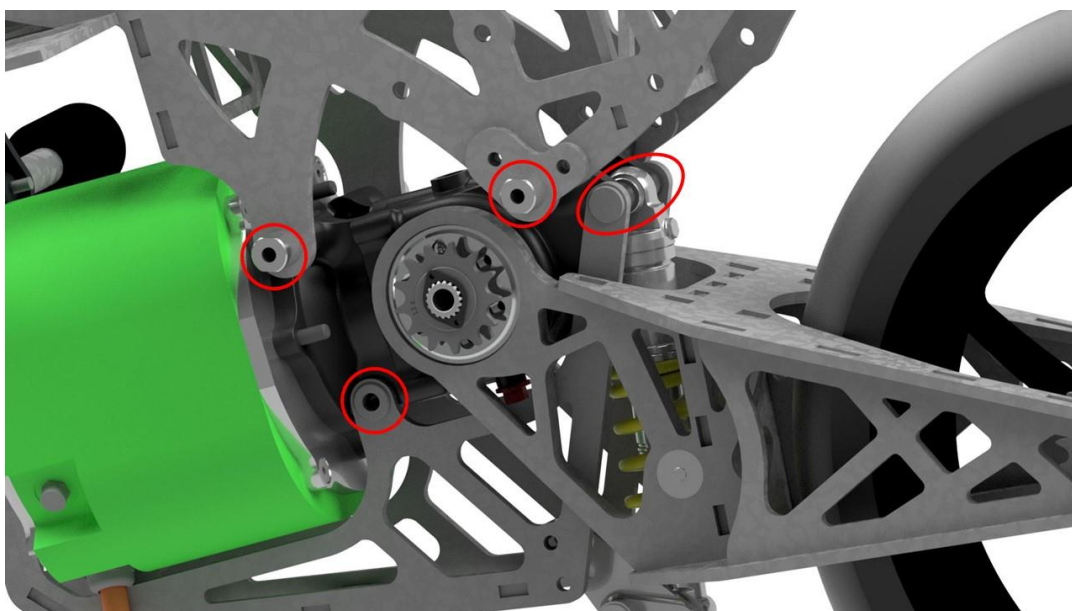


Obrázek 22: Uchycení převodové skříně k elektromotoru motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.1.2 Zavěšení převodové skříně v rámu

Tělo převodové skříně (společně s elektromotorem) tvoří centrální prvek rámu, přičemž samo je do rámu ukotveno pomocí symetrických úchytů (viz obrázek 23) do horní části rámu a dále do břicha. Jeden z těchto úchytů umístěný v zadní části převodové skříně je současně využit pro horní uchycení centrální pružící a tlumící jednotky zadního kyvného rámu (kyvné vidlice).

V prostřední části převodové skříně je symetricky v ose s hnací hřídelí na bronzových pouzdech uchycena zadní kyvná vidlice, která je k samonosnému rámu uchycena způsobem popsáním v kapitole 3.2 Zadní kyvná vidlice.



Obrázek 23: Zavěšení převodové skříně na motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.1.3 Vnitřní převodové ústrojí

V následující kapitole je popsána sestava, která je umístěna na vstupní hřídeli do převodové skříně. Dále se tato kapitola zabývá popisem komponentů (dílů) vyskytujících se na hnací hřídeli včetně materiálu, ze kterého jsou jednotlivé díly vyrobeny.

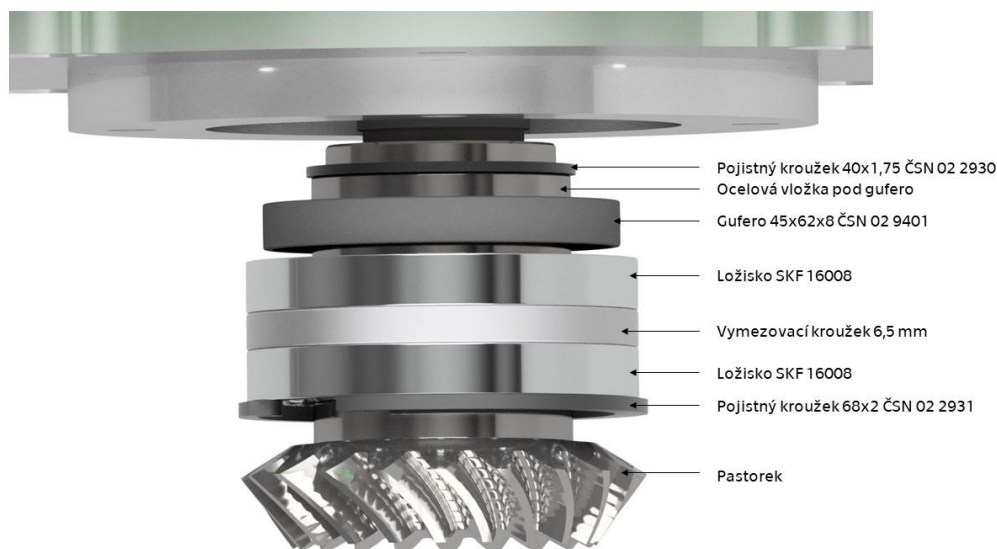
4.1.3.1 Vstupní hřídel do převodové skříně

Do převodové skříně vstupuje výstupní hřídel z elektromotoru (60 mm dlouhá o průměru 28 mm s vyfrézovanou drážkou pro pero 8x7x36 mm), která je v podélné ose motocyklu. Výstupní hřídel z elektromotoru je zasunuta do vstupní hřídele na jejímž konci je umístěný pastorek s 21 šikmými spirálovými zuby a zajištěna perem. Na vstupní hřídeli

jsou nalisována dvě ložiska od výrobce SKF s katalogovým označením 16008. Jedná se o nerozebíratelná jednořadá radiální kuličková ložiska, otevřená, bez těsnění a ocelovou klecí. Přesnost výroby a rozměrů odpovídá třídě P6. [32] Mezi dvěma ložisky je vložen distanční vymezovací kroužek, který zabraňuje styku vnějších prstenců ložisek a zároveň vymezuje pozici celého pastorku. Směrem od elektromotoru je na vstupní části umístěno radiální pryžové těsnění o rozměru 45x62x8 mm s přídatnou prachovkou tzv. gufero, které těsní převodovou skříně a zabraňuje ztrátě olejové náplně převodové skříně a nežádoucímu proniknutí převodového oleje k elektromotoru.

Gufero je vnějším průměrem nalisované v hliníkovém těle převodové skříně a na vstupní hřídeli těsní přes ocelovou vložku (kroužek), která je nalisována na vstupní hřídeli převodové skříně za ložisky a společně s ložisky je zajištěna hřídelovým pojistným kroužkem – tzv. segerovou pojistkou 40x1,75 mm proti pohybu vůči pastorku, kde je kompletní sestava opřena.

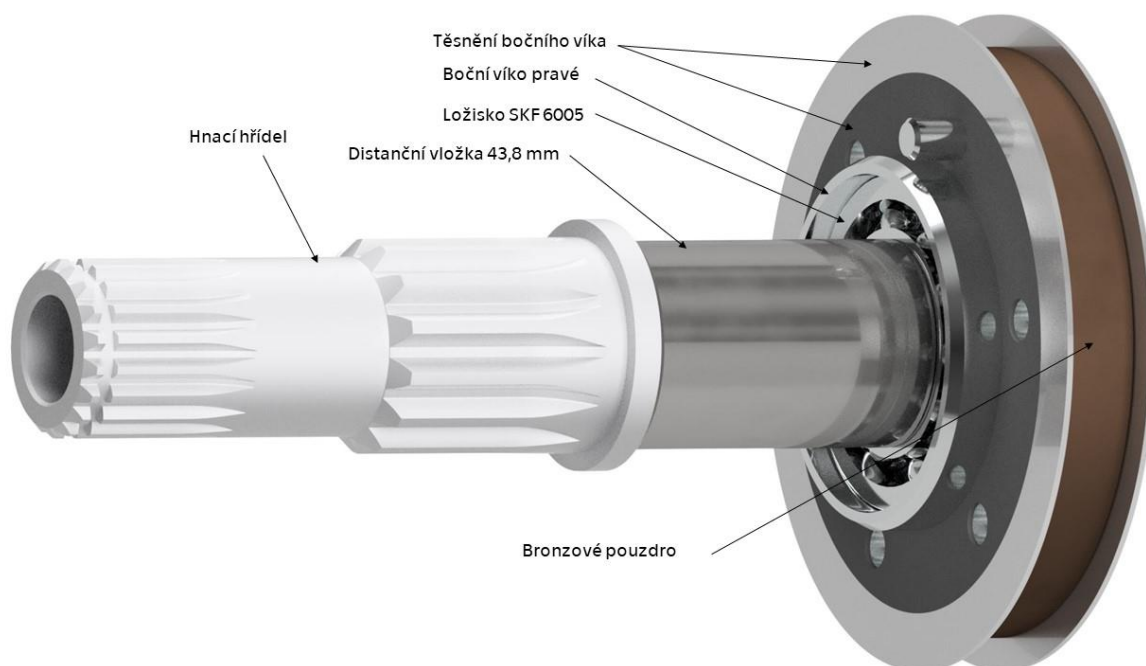
Na druhé straně je celá tato sestava po zalisování do vstupního otvoru hliníkového těla převodové skříně také zajištěna segerovou pojistkou 60x2 mm. Tím je dosaženo pevného zafixování celé vstupní hřídele v převodové skříně a zamezeno jejímu nežádoucímu pohybu. Sestava dílů na vstupní hřídeli je zobrazena na obrázku 24. Pozici pastorku je možné ladit pomocí vymezovacích kroužků.



Obrázek 24: Sestava dílů na vstupní hřídeli motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.1.3.2 Hnací hřídel

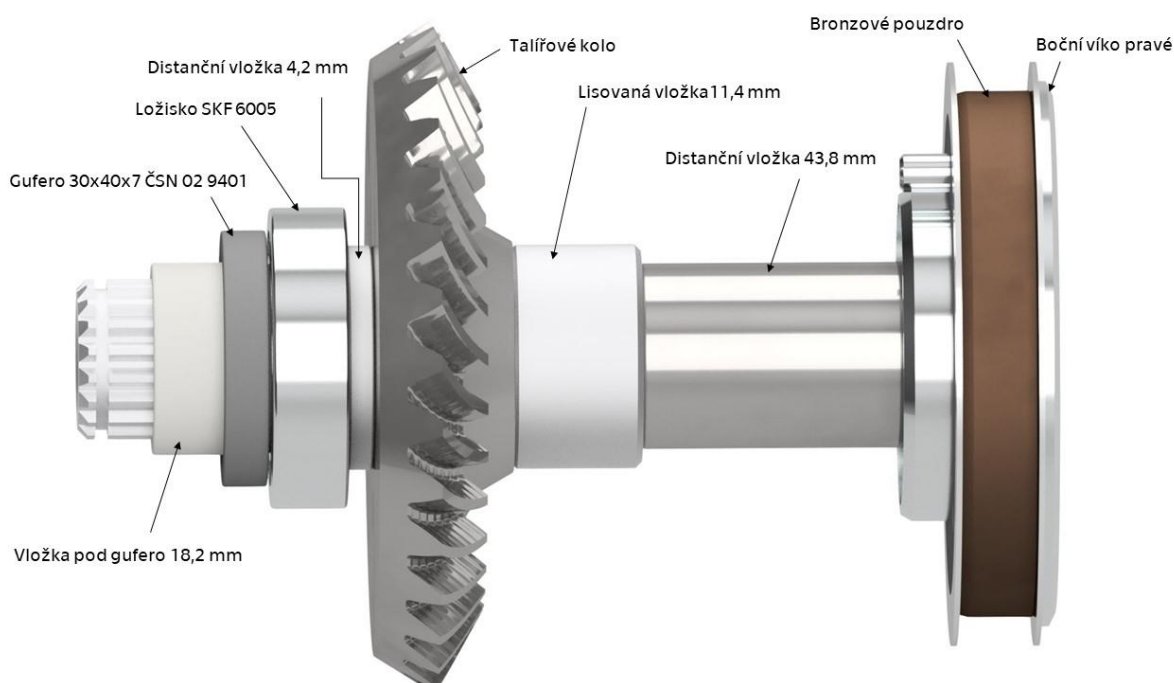
Hnací hřídel s talířovým kolem je celá uložena v ložiskách od výrobce SKF s katalogovým označení 6005 umístěných na jejích koncích. Jedná se o jednořadá otevřená radiální kuličková ložiska s ocelovou klecí, se standardní vůlí. Z pravé strany je na hnací hřídel nasunuta distanční vložka délky 43,8 mm, která se uprostřed hnací hřídele opře o nálietek hnací hřídele. Na této hřídeli je dále nalisováno výše popsané ložisko 6005 a celá sestava je zajištěna hřídelovým pojistným kroužkem tzv. segerovou pojistkou 25x1,2 mm ČSN 02 2930. Ložisko je svým vnějším průměrem nalisováno v pravém bočním víku. Na těle pravého bočního víka je nasazené bronzové pouzdro, na kterém je uložena zadní kyvná vidlice. Mezi víkem a tělem převodové skříně je umístěn těsnící tmel, který zamezuje úniku oleje z převodové skříně mezi dosedací plochou bočního víka a tělem převodové skříně, jak je vidět na obrázku 25.



Obrázek 25: Pravé osazení hnací hřídele motocyklu CTU Lions EVO 2.0

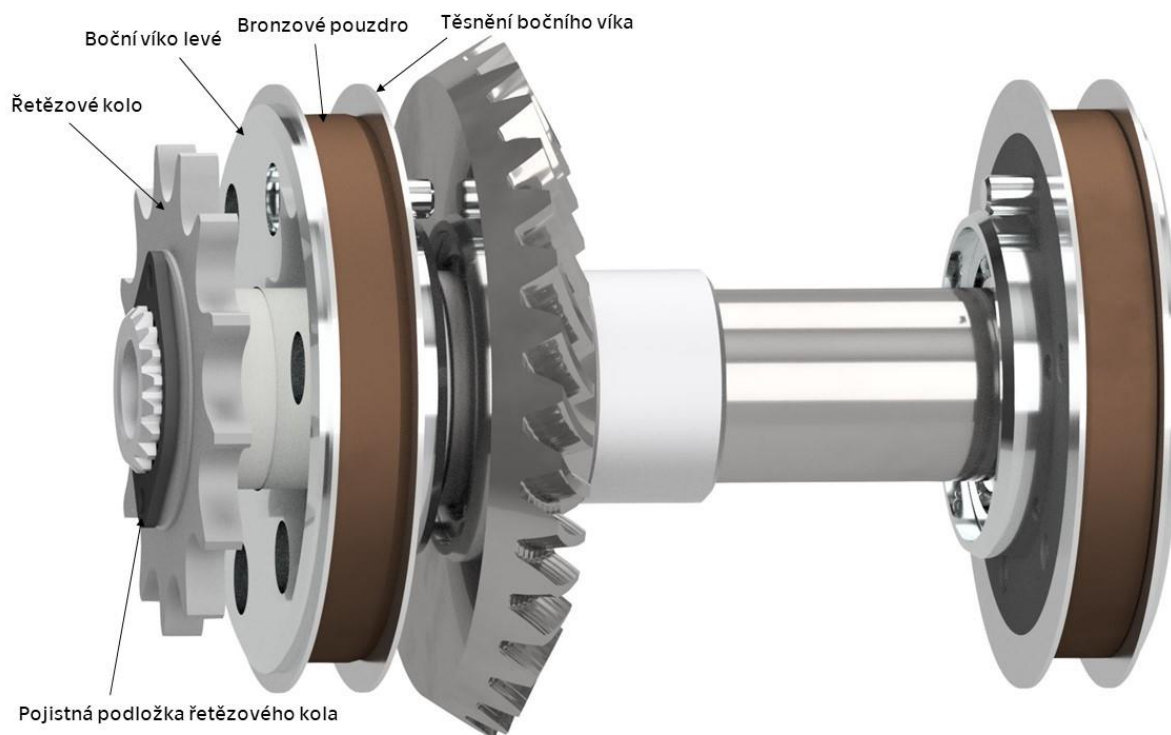
Popis současného stavu převodové skříně

Na hnací hřídeli je kolmo k pastorku umístěné talířové spirálově ozubené kolo s 32 zuby. Toto kolo je na hřídeli uloženo pomocí evolventního drážkování. K vymezení talířového kola z pravé strany slouží vložka zleva nalisovaná na hnací hřídeli o délce 11,4 mm, který se z pravé strany opírá o nálietek (osazení) hnací hřídele, z druhé strany je k tomuto vymezovacímu kroužku přiloženo talířové kolo. Z druhé strany talířového kola tuto funkci plní distanční vložka s délkou 4,2 mm. Za touto vložkou je nalisováno ložisko SKF 6005. Celá sestava je zleva zakončená pomocí vložky s délkou 18,2 mm, která slouží současně jako styčná plocha k utěsnění hnací hřídele pomocí guferu 30x40x7 mm, které je svým vnějším průměrem nalisované v levém bočním výstupním víku společně s ložiskem SKF 6005. Těsnící gufero zamezuje úniku oleje z převodové skříně přes hnací hřídel směrem k ozubenému kolu sekundárního pohonu ven z převodové skříně viz obrázek 26.



Obrázek 26: Talířové kolo na hnací hřídeli motocyklu CTU Lions EVO 2.0

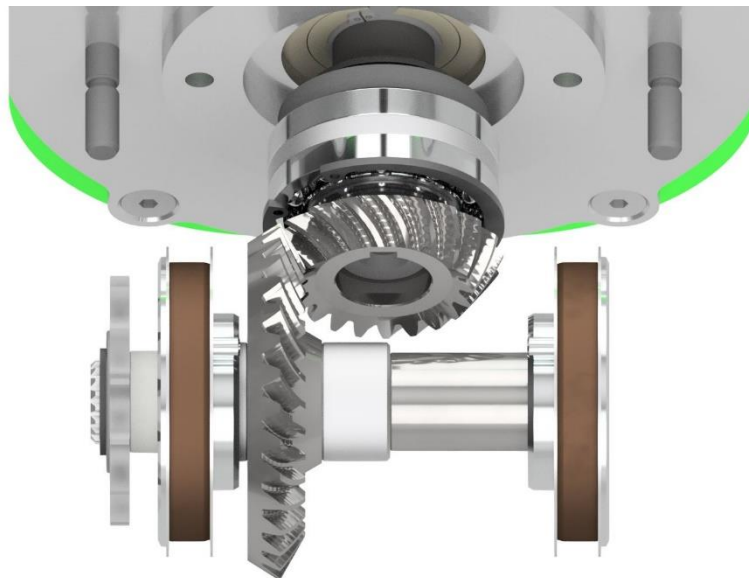
Na těle levého bočního víka, stejně jako na pravém bočním víku je nasazené bronzové pouzdro, na kterém je uložena zadní kyvná vidlice. Mezi víkem a tělem převodové skříně je těsnící tmel, který zamezuje úniku oleje z převodové skříně mezi dosedací plochou bočního víka a tělem převodové skříně viz obrázek 27. Další funkcí vložky (18,2 mm) je axiální vymezení všech zleva nasazených komponentů (kroužek 11,4 mm, talířové kolo, distanční vložka 4,2 mm, ložisko SKF 6005 a již zmíněná vložka 18,2 mm) a celá sestava je zakončena na evolventním drážkování nasazeným řetězovým kolem sekundárního pohonu (13 zubů) na jejím konci zajištěným v drážce hnací hřídele speciální podložkou řetězového kola. Tím je zajištěno vůči sobě pevné zafixování všech komponentů celé sestavy hnací hřídele a zamezeno jeho nežádoucímu axiálnímu pohybu. Finální montáží celé hnací hřídele pomocí levého a pravého bočního víka převodové skříně je zajištěno pevné zafixování celé hnací hřídele v těle převodové skříně a zamezeno jeho nežádoucímu pohybu.



Obrázek 27: Osazení hnací hřídele motocyklu CTU Lions EVO 2.0

Popis současného stavu převodové skříně

Na obrázku 28 lze vidět, jak je uspořádána vstupní hřídel a hnací hřídel v převodové skříni. Kompletní převodovou skříň i se zavěšením zadní kyvné vidlice lze vidět na obrázku 29.



Obrázek 28: Uspořádání vstupní a hnací hřídele na motocyklu CTU Lions EVO 2.0



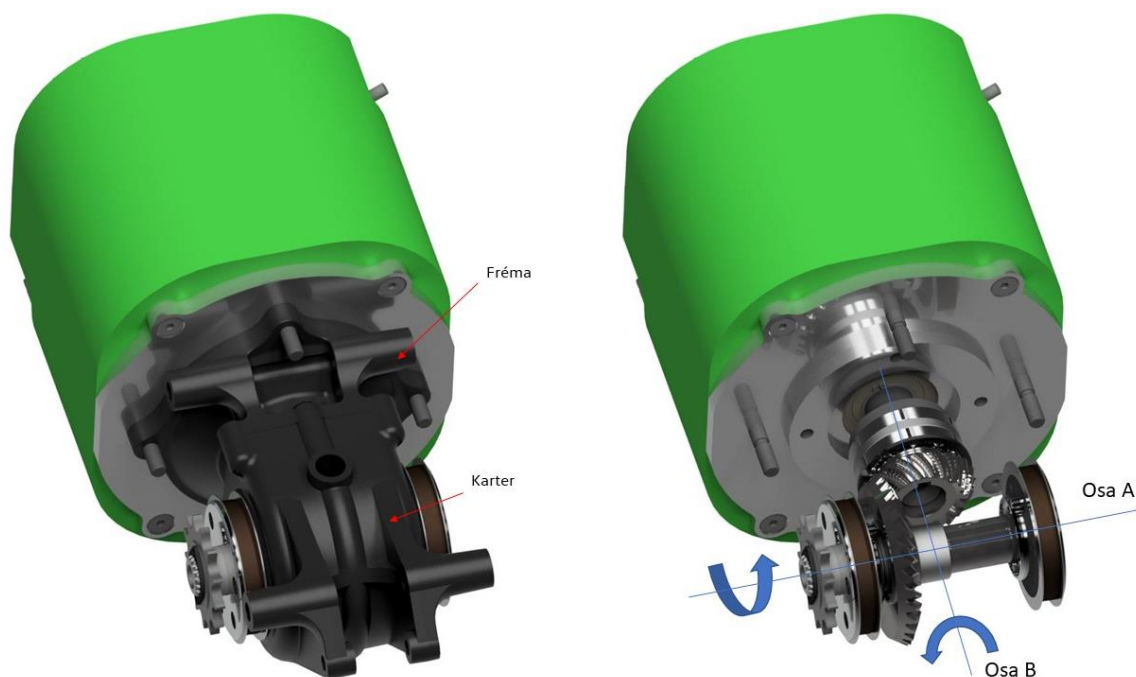
Obrázek 29: Kompletní převodová skříň se zadní kyvnou vidlicí motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.1.3.3 Materiály použité na výrobu převodové skříně

Hnací hřídel je vyrobena z materiálu ČSN 12 050. Jedná se o ocel určenou k cementování. [33] Na této hřídeli se nachází dvě evolventní drážkování. Pro talířové kolo se jedná o drážkování ČSN 01 4950 s rozměry $i 30 \times g 6 \times 2$. Na řetězové kolo je použito drážkování $i 25 \times g 6 \times 1,25$ ČSN 01 4950. Na talířové kolo se šikmým spirálovým ozubením a na pastorek je použit stejný materiál, a to ocel s označením 16420. Obě součásti mají dané ozubení cementované. Převodová skříň je odlita z hliníkové slitiny, která má pro toto použití vhodné vlastnosti tím, že je lehká, tepelně vodivá a snadno obrobitelná.

4.1.4 Smysl otáčení převodové skříně

Vezmeme-li v úvahu, že se výstupní hřídel z motoru otáčí proti směru hodinových ručiček (při pohledu na výstupní hřídel), poté se i pastorek na vstupní hřídeli převodové skříně otáčí proti směru hodinových ručiček. Vše je znázorněno na obrázku 30 jako osa B. Talířové kolo, které je na hnací hřídeli převodové skříně, kolmo k výstupní hřídeli z elektromotoru, respektive vstupní hřídeli s pastorkem se bude otáčet také proti směru hodinových ručiček. Na hnací hřídeli je umístěno řetězové kolo, které má stejný smysl otáčení jako talířové kolo, a to opět protisměru hodinových ručiček (při pohledu na motocykl z levé strany od sekundárního řetězového převodu). To je vyznačeno na obrázku 30 jako osa A.

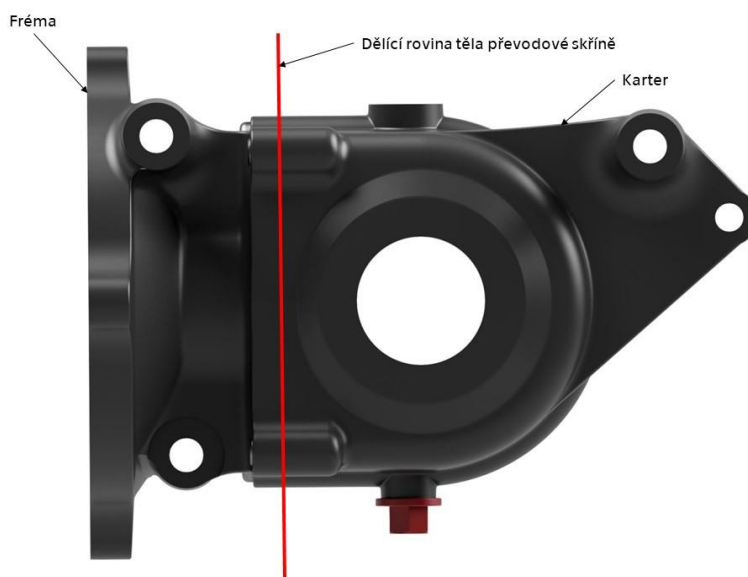


Obrázek 30: Smysl otáčení převodové skříně

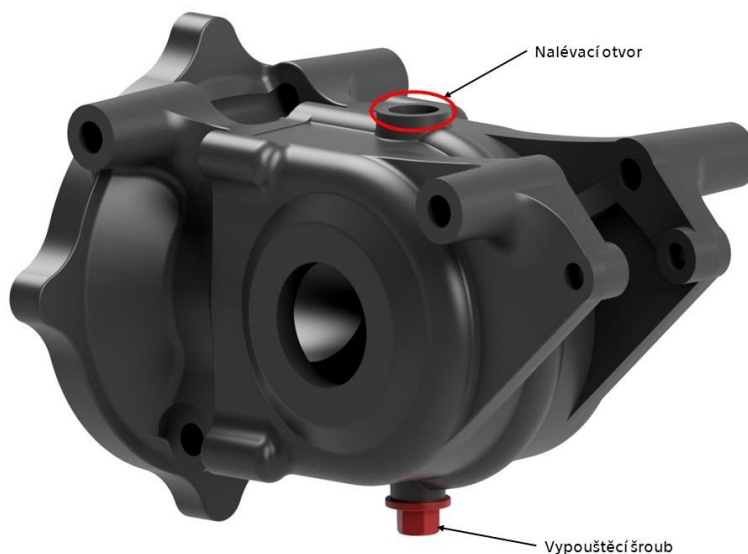
Navazující sekundární pohon, který zajišťuje přenos hnací síly z převodové skříně na hnané zadní kolo. Skládá se z řetězového kola, které má 13 zubů, na hnací hřídeli z převodové skříně a rozety zadního kola, která má 38 zubů a je již pevně spojená se zadním kolem. Mezi hnacím řetězovým kolem a rozetou na zadním kole je napnutý válečkový řetěz typu 520, který se také otáčí proti směru hodinových ručiček a převádí kroutící moment přes ozubenou rozetu na zadní kolo s převodovým poměrem 2,77. Celkový převodový poměr je 4,43.

4.1.5 Tělo převodové skříně

Tělo převodové skříně se skládá z hlavního obalu tzv. karteru, na něj je našroubované levé a pravé boční víko, ve kterých jsou nalisována ložiska hnací hřídele, jak lze vidět na obrázku 30. Celý hlavní obal je z čela uzavřený šroubovaným hlavním víkem tzv. frémou, ve které je nalisovaná celá sestava vstupní hřídele s pastorkem (viz obrázek 31). Těsnost hlavního víka a hlavního obalu zajišťuje těsnící tmel řádně stažený čtyřmi šrouby M6, kterými je celé víko připevněné k hlavnímu tělu převodové skříně. Celá převodová skříň je skrze čtyři montážní díry v odlitku přišroubována k vlastnímu elektromotoru. Nalévací otvor se nachází na vrchu karteru převodové skříně. Vypouštěcí šroub je také umístěn na karteru převodové skříně, ale je umístěn naproti nalévacímu otvoru, tedy na spodní části těla převodové skříně. Umístění vypouštěcího šroubu a nalévacího otvoru na těle převodové skříně lze vidět na obrázku 32.



Obrázek 31: Dělicí rovina těla převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0



Obrázek 32: Nalévací otvor a vypouštěcí šroub na těle převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0

4.2 Hodnocení současného stavu převodové skříně

V následující kapitole je hodnocen současný stav převodové skříně u motocyklu CTU Lions EVO 2.0. Jsou zde rozebrány výhody a nevýhody současného řešení.

4.2.1 Výhody současného řešení

Mezi hlavní výhody současného řešení převodové skříně patří konstantní převodový poměr, který je z hlediska použitého elektromotoru dostačující, protože díky němu můžeme docílit plynulejšího nástupu výkonu. Osazený elektromotor má specifickou charakteristiku nástupu výkonu, není tedy potřeba vícestupňového převodu.

Díky převodové skříně s konstantním primárním převodem byla zadní ozubená rozeta navržena menší. Velkou výhodou použití převodové skříně je zlepšení chlazení elektromotoru, které vyplývá z volby podélného uložení a samotné tělo převodové skříně současně funguje jako chladič elektromotoru. Převodová skříně je s elektromotorem spojena přes hliníkovou přírubu tzv. frémou, kde je využito vlastnosti hliníku jako dobrého vodiče tepla. Elektromotor tak není umístěn mimo podélnou osu motocyklu (vyosený).

Souosé uložení osy zadní kyvné vidlice a hnacího řetězového kola zabraňuje napínání válečkového řetězu při propružení. Další předností zvoleného uložení elektromotoru v podélné ose motocyklu je symetrické rozložení hmotnosti, které je velmi důležitým

faktorem ovlivňujícím celkové jízdní vlastnosti motocyklu. Tento hmotnostní balanc zajišťuje stejné chování motocyklu při nájezdu a následnému projíždění levých a pravých oblouků (zatáček).

Spirálové ozubení má vysokou únosnost a umožňuje dosáhnout většího převodového poměru. Spirálové ozubení na pastorku a talířovém kole dále zajišťuje tichý chod, oproti např. šikmému ozubení. [34]

4.2.2 Nevýhody současného řešení

Nevýhodou použití současné převodové skříně je navýšení celkové hmotnosti motocyklu. Hmotnost převodové skříně bez náplně je přibližně 4 kg. Převodová skříní vyžaduje prostor pro zástavbu a tím pádem i uzpůsobení geometrie motocyklu. Výroba šikmě spirálově ozubeného soukolí je velice nákladná, jedná-li se o kusovou výrobu. V převodové skříně dochází k lehké ztrátě účinnosti přenosu výkonu na zadní kolo. Z důvodu vnitřního tření a účinnosti samotného ozubení.

Nevýhodou zakřivených zubů soukolí je vznik větší axiální síly na elektromotoru tzn. tlak do motoru, který se ověřuje výpočtem. [34]

4.3 Nedostatky na převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0

V následující kapitole jsou sepsány hlavní nedostatky současného řešení převodové skříně u motocyklu CTU Lions EVO 2.0. Tato kapitola se dělí do podkapitol, které určují, v jaké oblasti se nedostatky vyskytují.

4.3.1 Sestavování

I když je na první pohled zvolené řešení úhlové převodové skříně jednoduché, ke komplikacím dochází při jejím sestavování, kdy je nutné správné usazení polohy talířového kola vůči pastorku vstupní hřídele a naopak. Nastavení vzájemné polohy dvou hlavních komponentů má zásadní vliv na výkonové ztráty přenosu síly z elektromotoru na řetězové kolo umístěné na konci hnací hřídele. Z toho vyplývá nežádoucí nadměrné zahřívání celé převodové skříně a sníženou životnost soukolí a ložisek.

Při správném sestavování a usazování polohy talířového kola vůči pastorku na vstupní hřídeli a naopak, je nutné mít možnost pomocí distančních vložek a vymežovacích podložek měnit polohu talířového kola na hnací hřídeli převodové skříně zleva, doprava,

a naopak a tím vymezit zubovou vůli mezi talířovým kolem a pastorkem. To samé platí o vstupní hřídeli s pastorkem, kde je také potřeba mít možnost pomocí vymezovacích podložek nastavit správnou polohu pastorku vůči talířovému kolu. V aktuální konfiguraci převodové skříně je vymezování zubové vůle mezi talířovým kolem a pastorkem velmi komplikované.

Co se týká sestavení převodové skříně bylo zjištěno, že sestava celé převodové skříně je velmi složitá. Hlavní komplikací současného řešení je zejména sestavení jednotlivých konstrukčních celků a převodového ústrojí převodovky. Při montáži bylo zjištěno, že hnací hřídel je příliš krátká. Tento problém vznikl již v průběhu návrhu, kdy došlo k umístění řetězového kola blízko k levému bočnímu víku převodové skříně. Na hnací hřídeli se složitě mění nalisovaná vložka, která určuje pozici talířového kola, jehož umístění je vidět na obrázku 26. Tento nedostatek komplikuje vymezení zubové vůle mezi pastorkem a talířovým kolem.

4.3.2 Výroba

Již od počátku výroby odlitku převodové skříně se převodová skříň potýká s problémem, že nemá vhodně zvolený tvar pro následné obrábění, kde byl tento problém odhalen. Tvar skříně byl v rámci optimalizace tvaru pro gravitační odlévání upraven, ale v rámci úprav nebyly zohledněny potřebné upínací a kotvící roviny/body pro následné upnutí při obrábění. Původním záměrem bylo dimenzování celkového tvaru s rezervami pro obrábění a vyrobení speciálního přípravku pro potřeby upnutí při obrábění. Tento způsob lze pro další výrobu optimalizovat.

Další komplikací ve výrobě byla volba nestandardního evolventního drážkování na hnací hřídeli pro řetězové kolo, což vedlo ke komplikacím s nasazením pojistné podložky řetězového kola. Zmíněné drážkování splňuje všechny pevnostní požadavky, ale není na motocyklech standardně používáno. Řetězová kola jsou tak pro náš motocykl specifická a bylo nutné vyrobit více variant, což výrobu prodloužilo a prodražilo. Pro další prototypy je možné tento přístup rovněž optimalizovat již v návrhové fázi.

4.3.3 Obsluha

Údržba převodové skříně je velmi komplikovaná a časově náročná. Vyplyvá to ale samozřejmě z celkově zvoleného řešení, kdy převodová skříň po sestavení s elektromotorem tvoří monoblok. Demontáž a montáž samotné převodové skříně je

v podstatě kompletní demontáž a zpětná montáž téměř celého podvozku motocyklu. V tomto případě je absence servisního okénka nebo alespoň kontrolního otvoru (šroubu) stavu hladiny oleje nepraktická. Rovněž je špatně přístupný nalévací otvor. Při výměně převodového oleje se naráží na problém s umístěním vypouštěcího šroubu, který když motocykl stojí oběma koly na vodorovné podložce, není umístěn v nejnižším bodě převodové skříně a z toho důvodu obsah olejové náplně nevyteče celý. Komplikací je možné rovněž do budoucna eliminovat již v návrhové fázi. Složitá je i samotná výměna dílů převodové skříně, která je nutná z důvodu jejich opotřebení. To souvisí s nedostatky sepsanými v kapitole 4.3.1 Sestavování.

4.3.4 Funkce

Převodová skříně je plně funkční, ale z výše uvedených důvodů není zajištěna maximální účinnost, respektive minimalizování výkonnostních ztrát, hladká obsluha a sestavování. Při delším používání by se mohly vyskytnout potíže s nadměrným opotřebením zubů na pastorku a talířovém kole, a to z důvodu nedostatečné možnosti vymezení zubové vůle. Nastavení zubové vůle je nutné ověřit provedením otisků zubů soukolí, které lze vidět na obrázku 33. Další možnou komplikací může být zvýšené opotřebením kuličkových ložisek, zejména na vstupní hřídeli s pastorkem, které nejsou dostatečně správně vymezeny vůči sobě a souvisejícím dílům. Převodová skříně se také může nadměrně zahřívat, a to pouze z důvodu absence odvodu vzduchu šroubu.

Funkce odvodu vzduchu šroubu spočívá zejména v odvodu a přívodu vzduchu do převodové skříně za chodu, kde je dosahováno vysokých teplot. Tím zamezuje nadměrnému zahřívání a přetlakování převodové skříně, které následně vytváří nežádoucí tlak na hřídelová těsnění, kde může z tohoto důvodu docházet k nežádoucímu úniku převodového oleje. To jenom potvrzuje, že během provozu bylo nalezeno malé množství převodového oleje v části mezi elektromotorem a převodovou skříní. Olej se do tohoto místa mohl dostat z důvodů absence odvodu vzduchu šroubu a přetlakování převodové skříně nebo také přes nedostatečně utěsněnou dutou část vstupní hřídele s drážkou pro pero a v ní zasunutou výstupní hřídel z elektromotoru.



Obrázek 33: Otisk zubů na pastorku soukolí na motocyklu CTU Lions EVO 2.0

5 Návrh optimalizace uložení převodové skříně

V následující kapitole jsou popsána navržená řešení pro nalezené nedostatky uvedené v kapitole 4.3 Nedostatky na převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0. Dále jsou zde navrženy optimalizace uložení na stávající převodové skříně. Druhá část kapitoly se zabývá návrhy, které už vyžadují změnu konceptu těla převodové skříně.

5.1 Úpravy na stávajícím stavu převodové skříně

V následující kapitole jsou sepsány úpravy na stávajícím stavu převodové skříně, bez nutnosti změny těla převodové skříně.

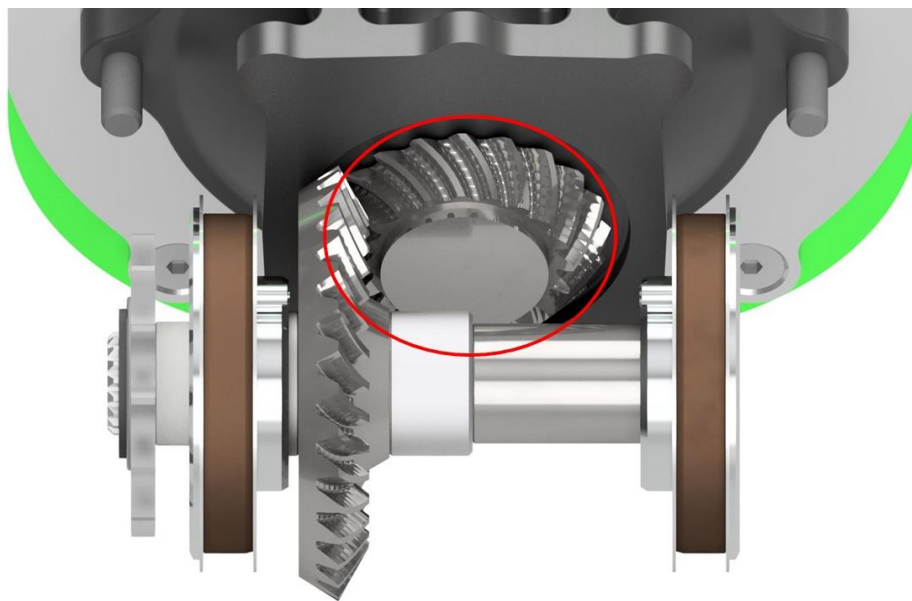
5.1.1 Nová hnací hřídel

Odstranění problému týkajícího se krátké hnací hřídele a nestandardního evolventního drážkování vyžaduje výrobu nové hnací hřídele, která bude delší o požadovaný rozměr. Při výrobě takto upravené (delší) hřídele by se samozřejmě změnilo i nestandardní evolventní drážkování, a to z normy ČSN 01 4950 na normu ČSN 01 4952, pro řetězové kolo, které by se muselo vyrobit znovu, aby drážkování na novém kole bylo shodné jako nově navržené evolventní drážkování ČSN 01 4952 hnací hřídele. Popisovaná úprava by nemusela být nákladná, jelikož výroba samostatné hřídele se dle zkušeností z minulých ročníků pohybuje v řádech tisíců, kdežto výroba soukolí v řádech statisíců. Výkres nové hnací hřídele se nachází v Příloze č. 2.

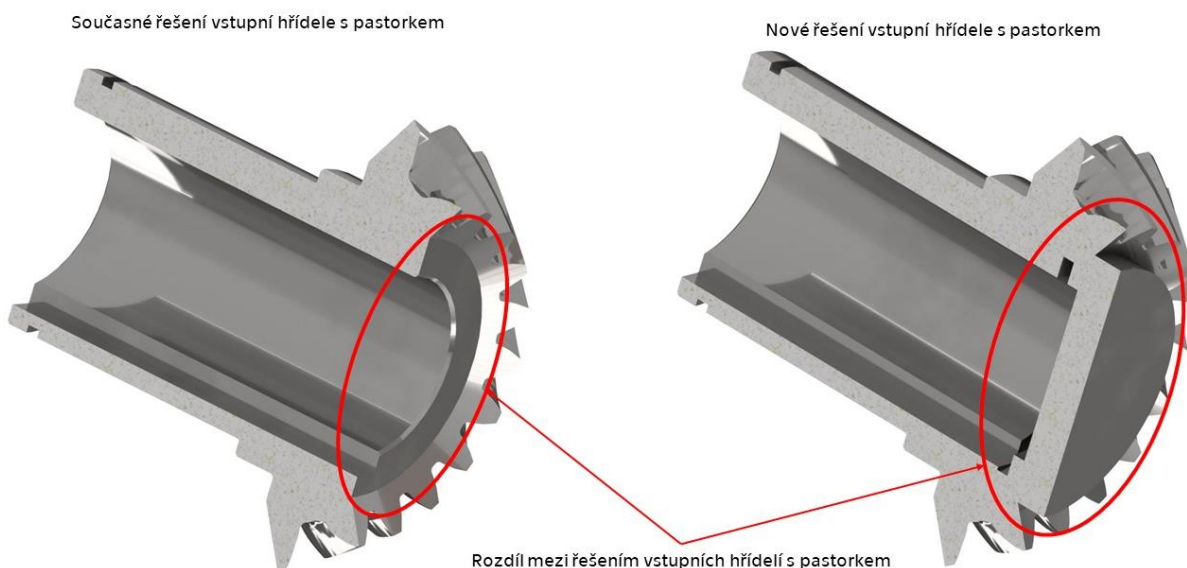
5.1.2 Utěsnění vstupní hřídele s pastorkem soukolí

V případě problému týkajícího se protékajícího oleje vstupní hřídelí s pastorkem se nabízí řešení vyrobení nové, na straně pastorku zaslepené, vstupní hřídele, která daný problém vyřeší. Nová vstupní hřídel převodové skříně by byla prodloužena o 5 až 10 mm za pastorkem směrem do středu ozubeného soukolí. Stávající provedení převodové skříně nabízí dostatečný prostor pro navrhovanou úpravu, aniž by hrozil jakýkoliv kontakt s dalšími komponenty převodové skříně. Do takto prodloužené vstupní hřídele bude vysoustružena díra o průměru 28 mm a hloubce 60 mm (což odpovídá rozměrům výstupní hřídele z elektromotoru). Díra ve vstupní hřídeli bude vysoustružena z opačné strany, než je umístěn pastorek a navrhovaná prodloužená část této hřídele, a bude opatřena drážkou pro pero 8x7x36 mm.

Bohužel toto řešení je velice nákladné, a to z důvodu výroby nové vstupní hřídele s pastorkem, který má spirálové šikmé ozubení, jak je již v této práci zmíněno jedná se o velmi drahou kusovou výrobu. Takto nově vyrobenou vstupní hřídel s pastorkem lze vidět na obrázku 34. Na obrázku 35 je zobrazeno v řezu pro porovnání stávající a nově navržené řešení. Rozdíl je v zaslepení nové vstupní hřídele a její prodloužení. Výkres nové vstupní hřídele s pastorkem se nachází v Příloze č. 3.

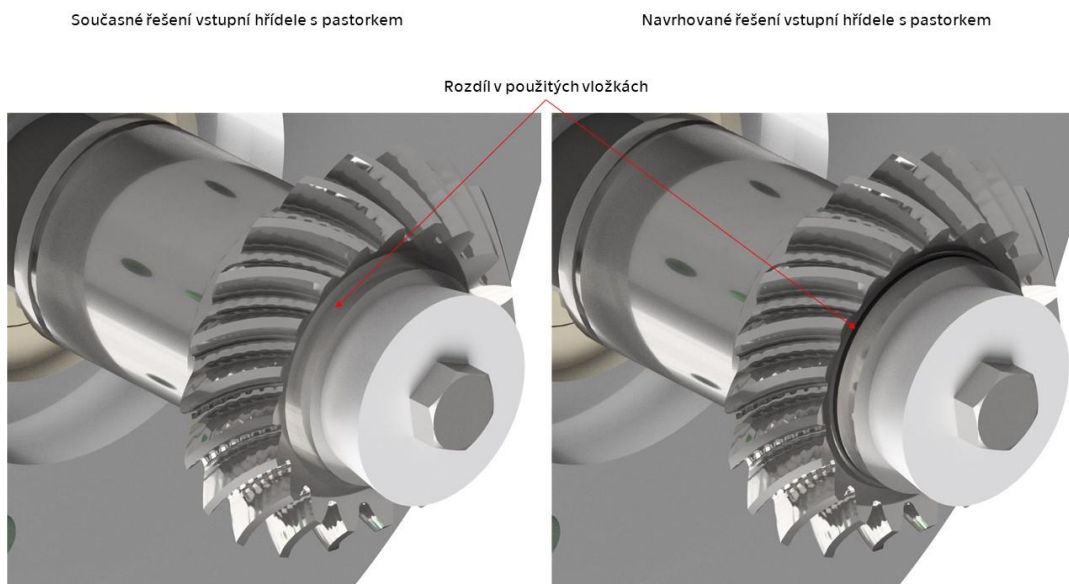


Obrázek 34: Nově navržená vstupní hřídel s pastorkem soukolí motocyklu CTU Lions EVO 2.0



Obrázek 35: Poloviční řez současnou a nově navrženou vstupní hřídelí s pastorkem

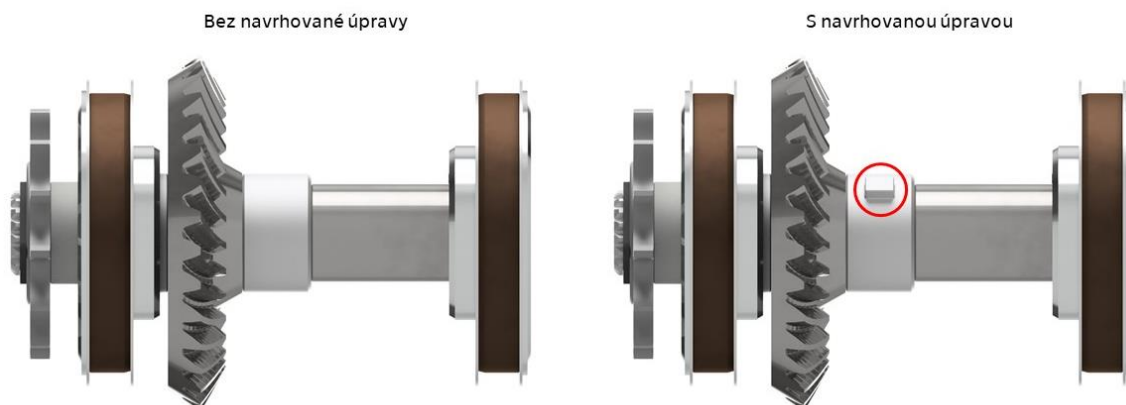
Dalším a méně nákladným řešením tohoto problému je výměna těsnící vložky na vstupní hřídeli s pastorkem, která by lépe utěsnila drážku pro pero než vložka současně používaná, která netěsní dostatečně velkou plochou drážku pro pero. Nová vložka by obsahovala silon, který by mezery ještě lépe utěsnil (viz obrázek 36).



Obrázek 36: Porovnání vstupních hřídelí s pastorkem za použití jiných vložek

5.1.3 Vymezování pozice talířového kola

Při vymezování pozice talířového kola na hnací hřídeli je problém s nalisovanou vložkou, jejíž šířkou lze měnit polohu talířového kola na hnací hřídeli. Nyní lze vložku z hnací hřídele sundat pouze destruktivním způsobem, to znamená poškozením vložky a hrozícím poškozením dosedacích ploch na hřídeli. Požadovaného vymezování by se dalo docílit snadnějším výměnou vložky na hnací hřídeli za vložku jiné šířky. Toho lze docílit úpravou vložky, pomocí přivaření malých kousků oceli ve tvaru obdélníku symetricky proti sobě. Za přivařené výstupky by bylo pomocí kleští nebo stahováku možné vložku demontovat a opakovaně použít. Na obrázku 37 lze vidět navrhované řešení. Výkres nové lisované vložky se nachází v Příloze č. 4.



Obrázek 37: Navrhované řešení lisované vložky na hnací hřídeli

5.1.4 Pozice vypouštěcího šroubu

V aktuální konfiguraci motocyklu CTU Lions EVO 2.0 se vypouštěcí šroub nenachází v nejnižší pozici na převodové skříně, což vede k neúplnému vypuštění oleje z převodové skříně při jeho výměně. Vypouštěcí šroub má v sobě zapuštěný magnet, který zachytává případné kovové nečistoty, které by mohly poškodit další součásti převodové skříně. Na vypouštění oleje z převodové skříně by bylo dobré sepsat pracovní postup tzv. checklist, aby se vypouštěcí šroub dostal do správné pozice. Níže je mnou navržený a sepsaný pracovní postup (checklist) v očíslovaných bodech tak, jak by měly jít jednotlivé kroky za sebou.

Postup na vypouštění oleje z převodové skříně:

1. zajistit zadní kolo motocyklu před případnou jízdou vzad ve stabilní a přímé poloze,
2. přední kolo vypodložit do výšky přibližně 34 cm
3. zajistit přední kolo a stabilitu motocyklu,
4. pod vypouštěcí šroub umístit nádobu na olej,
5. otevřít vypouštěcí šroub a nechat volně vytéct celý obsah olejové náplně,
6. uzavřít vypouštěcí otvor šroubem.

5.1.5 Změna ložisek na hnací hřídeli a vstupní hřídeli s pastorkem

Výměna jednořadých kuličkových ložisek od výrobce SKF s označením 6005 a 16008 by měla pomoci lepší montáži a zajištění dostatečné vnitřní vůle v ložiskách, kterou jsme si při současném provedení vyčerpali již pouhým nalisováním ložisek a nezachovali téměř žádnou rezervu pro zahřátí a zatížení provozem. Pro tuto nenákladnou úpravu by byla

zvolena ložiska v provedení se zvětšenou vnitřní vůlí a to C3 (6005/C3 a 16008/C3). Tím bude zajištěn dostatečný prostor pro dlouhodobé výkonové a teplotní zatížení, s minimálním výkonovou ztrátou v převodové skříně. Ještě je možné pro osazení hnací hřídele zvolit ložiska v provedení 6005 TN9/C3, které se liší tím, že kuličky jsou uloženy v polyamidové kleci, která má proti běžné ocelové výhodu v tom, že je částečně samomazná a ložiska celkově vykazují nižší hlučnost. V případě ložisek na vstupní hřídeli s pastorkem toto řešení není možné, protože se ložisko 16008 v provedení s polyamidovou klecí nenabízí. Ložiska 16008 jsou v tomto případě obě vystavena jak radiálnímu, tak axiálnímu zatížení a v tomto případě je ložisko s ocelovou klecí vhodnější. V případě ložisek hnací hřídele převažuje radiální zatížení.

Na vstupní hřídeli převodové skříně s pastorkem byl nalezen ještě jeden nedostatek, a to chybějící rozpěrka mezi vnitřními kroužky ložisek, která by měla vymezovat vzájemnou a neměnnou polohu obou ložisek mezi sebou. Proto, když je použitý vymezovací kroužek široký 6,5 mm (60x68x6,5 mm) mezi venkovními kroužky ložiska, musí být stejně široký vymezovací kroužek použitý i mezi vnitřními prstenci ložiska 6,5 mm (40x max. 52x6,5 mm). Tím se zajistí správné a pevné usazení celé vstupní hřídele v hlavním víku s minimální axiální vůlí. Výkres vnitřního vymezovacího kroužku se nachází v Příloze č. 5.

5.2 Úpravy se změnou těla převodové skříně

Níže jsou sepsány úpravy převodové skříně, které vyžadují změnu těla převodové skříně.

5.2.1 Změna ložisek na vstupní hřídeli s pastorkem

Navrhovanou změnou je výměna současných kuličkových ložisek od výrobce SKF s označením 16008 na vstupní hřídeli s pastorkem za ložiska kuželíková. Tím by se lépe rozložilo působení axiální síly od ozubeného soukolí převodové skříně směřující do vnitřní konstrukce ložisek. Ve stávajícím provedení je použití radiálních kuličkových ložisek SKF 16008 nevhodné, protože tento typ ložisek není konstrukčně vhodný pro přenos axiálního zatížení a trvale není schopen takovému zatížení odolávat. Naopak kuželíkové ložisko je přímo předurčené pro radiálně axiální zatížení. K výměně ložisek může ovšem dojít pouze za předpokladu změny délky vstupní hřídele s pastorkem, a z toho vyplývající nutnosti změny celého těla převodové skříně. Úprava vstupní hřídele s pastorkem je nutná z důvodu použití závitů pro KM matici, která by sloužila k předepnutí kuželíkových ložisek. K zajištění KM matice umístěné na vstupní hřídeli s pastorkem, by byla použita pojistná podložka.

5.2.2 Přemístění vypouštěcího šroubu

Vypouštěcí šroub je důležité umístit do nejnižšího místa na těle převodové skříně tak, aby při výměně převodového oleje, respektive při vypouštění staré provozní náplně došlo k jejímu úplnému vypuštění. V současné době je vypouštění olejové náplně velmi komplikované, jak je již popsáno v přechozích kapitolách.

Popisovaná úprava by pravděpodobně vyžadovala výrobu nového těla převodové skříně, při zachování současných rozměrů, případně modifikaci v podobě strojní úpravy stávajícího těla převodové skříně a vytvoření dvou vypouštěcích šroubů umístěných symetricky k podélné ose.

5.2.3 Dělicí rovina těla převodové skříně

Převodová skříně se špatně sestavuje z důvodu nevhodně zvolené dělicí roviny těla převodové skříně. Při návrhu a výrobě nové převodové skříně je důležité provést změnu a dělicí rovinu zvolit na vhodnějším místě. Možným řešením je volba dělicí roviny tak, aby byl převod lehce přístupný po demontáži jedné části těla převodové skříně (viz obrázek Obrázek 38).



Obrázek 38: Příklad demontované převodové skříně motocyklu Yamaha YZF-R1 CR [35]

5.2.4 Upínací plochy odlitku

Z důvodu změny tvaru těla převodové skříně při gravitačním odlévání nebylo následně možné odlitek správně upnout při obrábění. Při odlévání nové převodové skříně by se mělo tomuto problému předejít a už při návrhu počítat s technologií obrábění.

5.2.5 Kontrolní okénko na těle převodové skříně

Z důvodu lepší kontroly hladiny oleje v těle převodové skříně je nutné mít na přístupném místě kontrolní otvor tzv. kontrolní (servisní) okénko. Na současném těle převodové skříně kontrolní okénko chybí, a to z důvodu absence přístupného místa pro jeho zřízení. Kontrolní okénko by se mělo nacházet v místě lehce nad horizontální osou hnací hřídele, aby při kontrole nedošlo k vypuštění části převodového oleje. Nejlepší pozice pro kontrolní okénko je z boku převodové skříně, v místech, kde by bylo snadno přístupné. Kontrolní okénko musí být umístěno v takové výšce, aby požadovaná hladina oleje v převodové skříně dosahovala přesně na spodní okraj tohoto kontrolního okénka. Tím bude při výměně, případně doplnění oleje sloužit jako měrka oleje, kdy požadovaná hladina olejové náplně musí přesně dosahovat ke spodní hraně kontrolního okénka. Když začne kontrolním okénkem mírně vytékat olej, je hladina oleje v požadované výšce a kontrolní okénko se může uzavřít. Kontrolní okénko v těle převodové skříně bude opatřeno závitem a po jeho použití uzavřeno šroubem s plochým těsněním.

6 Diskuze výsledků

Všechny navrhované optimalizace na uložení převodové skříně byly konzultovány se členy týmu CTU Lions.

Úpravy navržené v práci na stávajícím stavu převodové skříně mohou být zhotoveny na současném stavu motocyklu CTU Lions EVO 2.0 s ohledem na finanční možnosti. Návrhy pro optimalizaci se změnou těla převodové skříně, resp. spíše doporučení pro konstrukční řešení budoucí převodové skříně budou zohledněna při návrhu nového pohonného ústrojí pro další závodní motocykl. Při návrhu motocyklu je důležité vyvarovat se již zdokumentovaným nedostatkům, aby se předešlo komplikacím jako na současném stroji. Proto je důležité už v návrhové fázi motocyklu být důsledný a optimalizovat návrh z hlediska použitých výrobních technologií.

Pro ročník 2022–2023 soutěže MotoStudent závodní tým CTU Lions představí nový prototyp závodního motocyklu (s největší pravděpodobností nesoucí název CTU Lions EVO 3.0), kde budou zohledněna doporučení pro konstrukční řešení budoucí převodové skříně, v případě, že se na novém motocyklu bude převodová skříň vyskytovat. V případě nedostatku času a finančních prostředků, je možné, že se bude upravovat pohonné ústrojí na stávajícím závodním motocyklu CTU Lions EVO 2.0, tedy bez nutnosti změny těla převodové skříně, kde by bylo možné využít mnou navrhovanou optimalizaci uvedenou v kapitole 5.1 Úpravy na stávajícím stavu převodové skříně.

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout optimalizaci uložení pohonného ústrojí studentského závodního motocyklu CTU Lions EVO 2.0 a tím pomoci celému závodnímu týmu CTU Lions.

V teoretické části práce byly popsány jednotlivé části, ze kterých se pohonné ústrojí motocyklů, ať už závodních nebo sériově vyráběných, skládá. Následně v práci byla popsána soutěž MotoStudent včetně univerzitního týmu CTU Lions a výňatku z pravidel, které se zabývají pohonným ústrojím pro závodní motocykly v kategorii ELECTRIC. V neposlední řadě je v práci popsán současný závodní motocykl CTU Lions EVO 2.0 a stav jeho převodové skříně včetně jejich nedostatků.

Praktická část práce se zabývala již samotnou optimalizací uložení pohonného ústrojí na závodním motocyklu CTU Lions EVO 2.0 zejména optimalizací převodové skříně. Samotné optimalizaci převodové skříně předcházelo nalezení a sepsání nedostatků, které se u závodního motocyklu CTU Lions EVO 2.0 vyskytovaly již v průběhu provozu na závodním okruhu, nebo při samotné konstrukci (sestavení) tohoto motocyklu. Při optimalizaci převodové skříně byla řešena nejdříve úprava na stávající převodové skříně, tedy bez nutné úpravy samotného těla převodové skříně. Dále byly předloženy doporučení pro vývoj nové převodové skříně.

Navržená optimalizace převodové skříně na stávajícím stavu převodové skříně spočívá v několika úpravách jednotlivých komponentů převodové skříně. Úpravy lze provést jednotlivě a to tak, že se upraví pouze některé komponenty převodové skříně anebo lze tuto optimalizaci provést komplexní implementací všech navržených řešení. Optimalizace převodové skříně na stávajícím stavu lze dosáhnout pomocí úpravy rozměrů a změny drážkování hnací hřídele, změny utěsnění vstupní hřídele s pastorkem soukolí z důvodu zamezení nežádoucího průtoku oleje, vložky, která vymezuje pozici talířového kola, využitím vhodnějších ložisek na vstupní a hnací hřídeli a dodržováním navrženého postupu (checklistu) pro výměnu oleje z převodové skříně.

Další část práce se zabývala úpravou změny těla převodové skříně tak, aby bylo možné předcházet případným konstrukčním problémům. Při konstrukci nového těla převodové skříně je třeba věnovat pozornost zejména umístění vypouštěcího šroubu a kontrolního

okénka, vhodnému zvolení dělicí roviny těla převodové skříně pro budoucí usnadnění montáže. Již při samotné koncepci nového těla převodové skříně je třeba brát v úvahu potřebu upínacích ploch pro následné obrábění odlitku. Při změně těla převodové skříně by bylo vhodné brát v úvahu i samotnou změnu ložisek na vstupní hřídeli s pastorkem, kterou nelze provést se stávajícím tělem převodové skříně.

Práce přinesla obecný popis jednotlivých komponentů pohonného ústrojí, popis soutěže MotoStudent a závodního motocyklu CTU Lions EVO 2.0, zhodnocení současného stavu převodové skříně na závodním motocyklu CTU Lions EVO 2.0 včetně jejich nedostatků. Dále se práce zabývá optimalizací převodové skříně na stávajícím stavu převodové skříně a doporučením pro další vývoj nové převodové skříně. Na základě výše uvedeného, je možné stanovit, že cíl práce byl splněn.

Při psaní této bakalářské práce jsem měl možnost detailněji proniknout do konstrukce pohonného ústrojí motocyklu, což považuji za velice užitečnou a zajímavou zkušenost, kterou bych rád využil nejen v rámci studia, ale i v případném budoucím zaměstnání. V neposlední řadě bych rád využil své poznatky zejména v univerzitním závodním týmu CTU Lions, kde bych i nadále rád působil.

Použitá literatura

- [1] Mechanický převod. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanický_převod
- [2] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 2: Převodné ústojí. Podvozek, rám. Elektrická výbava*. 1. Brno: Prof.Ing. František Vlk, DrCs., nakladatelství a vydavatelství, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [3] Schéma motoru V2. In: *Pinimg.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/originals/fa/fc/06/fafc065f3ca2d80b8bd045bcd2639b75.jpg>
- [4] Motorkari.cz. In: *Motorkari* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-10.-cast-prevody-3498.html?kid=991>
- [5] Čelní ozubení. In: *Paradacreativa.es* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://paradacreativa.es/cs/typy-ozubených-kol/>
- [6] Motorkari. In: *Motorkari.cz* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-10.-cast-prevody-3498.html?kid=992>
- [7] Napínák řetězu Suzuki. In: *Globalmoto.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.globalmoto.cz/modelovy-rok-2017-2018/253104-napinak-retezu-suzuki-original.html>
- [8] Napínák řetězu na motocyklu Suzuki GSXR1000. In: *Fullrevracing.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://fullrevracing.com/product/motorcycle-chain-adjuster-with-spool-chain-tensioner-for-suzuki-gsxr1000-2009-2016/>
- [9] Zadní kyvná vidlice motocyklu Kawasaki GPZ 900 R. In: *Motorparts-online.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.motorparts-online.com/en/kawasaki/gpz-900/1984-1993/swingarm/201345624>
- [10] Schéma správného napínání řetězu. In: *Dt125.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <http://www.dt125.cz/servis/retez.html>
- [11] Motoworld. In: *Motoworld.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: https://www.motoworld.com.my/index.php?route=blog/post&post_id=44

- [12] MOTORESS. In: *Motoress.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://motoress.com/rider/motorcycle-final-drive-gearing/>
- [13] Kardanový pohon na motocyklu značky BMW. In: *7-forum.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: https://www.7-forum.com/bild.php?bild=news/2008/intermot/kardan__p0048285-b.jpg&title=BMW%20K%201300%20S,%20BMW%20K%201300%20R,%20BMW%20K%201300%20GT,%20Kardan&cpy=bmw
- [14] Řemenový rozvod na motocyklu značky Harley-Davidson. In: *Automotivemacedonia.files.wordpress.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://automotivemacedonia.files.wordpress.com/2015/09/050808middle2.jpg>
- [15] Drivnglife. In: *Drivnglife.net* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://drivnglife.net/how-does-a-motorcycle-clutch-work/>
- [16] Mechanicaljungle. In: *Mechanicaljungle.com* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://mechanicaljungle.com/types-of-multi-plate-clutch/>
- [17] Vícelamelová spojka. In: *Motorkari.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-11.-cast-spojka-3524.html>
- [18] Technika motocyklu 11. část - spojka. In: *Motorkari.cz* [online]. [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-11.-cast-spojka-3524.html>
- [19] Kluzná spojka. In: *Digitltravel.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://digitltravel.com/cs/co-je-to-kluzná-spojka/>
- [20] Lancereal. In: *Lancereal.com* [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.lancereal.com/centrifugal-clutch-explained/>
- [21] Odstředivá spojka. In: *2hmoto.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: https://www.2hmoto.cz/odstrediva-spojka-ip000319?gclid=Cj0KCQjw_7KXBhCoARIsAPdPTfjiuvJPmciG7wTGb03vDC8ElvhJPKzqq4ahhPOcoHA6wl-3AbQ5IYoaAsO7EALw_wcB
- [22] Převodový mechanismus. In: *Docplayer.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/113256270-Sestirychlostni-prevodovka-pro-sportovni-motocykl-tridy-600-ccm-svoc-fst-2017.html>
- [23] Uti. In: *Uti.edu* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.uti.edu/blog/motorcycle/transmission>

- [24] 10 let dvouspojkových převodovek na motocyklech Honda. In: *Motoroute.cz* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.motoroute.cz/clanek/191-10-let-dvouspojkovych-prevodovek-na-motocyklech-honda.aspx>
- [25] Auto. In: *Auto.cz* [online]. [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vyhody-a-nevyhody-elektromobilu-proc-treba-nepotrebuji-prevodovku-a-jak-je-to-s-jejich-ucinnosti-121938>
- [26] Electrek. In: *Electrek.co* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://electrek.co/2019/06/20/5-reasons-electric-motorcycle-better-than-gas/>
- [27] Porovnání točivého momentu elektrického a spalovacího motoru. In: *Monceau-automobiles.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://monceau-automobiles.com/blog/why-an-electric-motor>
- [28] CTU Lions. In: *CTU Lions* [online]. [cit. 2022-07-18]. Dostupné z: <http://www.ctulions.cz>
- [29] MOTO ENGINEERING FOUNDATION: MotoStudent: Competition Regulations. In: *Motostudent.com* [online]. Španělsko, 2018 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: <http://motostudent.com/>
- [30] *Motocykl CTU Lions EVO 2.0 na okruhu v Aragonu* [fotografie]. In: . [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: Fotoarchiv univerzitního závodního týmu CTU Lions
- [31] Soudní inženýrství. In: *Sinz* [online]. 2004 [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-03-159-177.pdf>
- [32] *Prumex* [online]. [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: <https://www.prumex.cz>
- [33] *Značení ocelí* [online]. In: . [cit. 2022-07-21]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/znaceni_oceli.pdf
- [34] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [35] Yamaha YZF R1 CR převodovka. In: *Bikesportnews.com* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.bikesportnews.com/products/product-detail/yamaha-yzf-r1-cr-gearbox>

Seznam obrázků

Všechny obrázky, které nemají uvedený zdroj, byly vytvořeny autorem práce na základě podkladů dodaných studentským týmem CTU Lions.

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Schéma pohonného ústrojí motocyklu s příčným výstupem klikové hřídele z motoru..... | 9 |
| Obrázek 2: Schéma pohonného ústrojí motocyklu s podélným výstupem klikové hřídele z motoru..... | 9 |
| Obrázek 3: Schéma podélného uspořádání motoru V2 [3]..... | 10 |
| Obrázek 4: Čelní ozubení s přímými zuby [5] | 11 |
| Obrázek 5: Napínák řetězu Suzuki [7]..... | 12 |
| Obrázek 6: Napínák řetězu na motocyklu Suzuki GSXR1000 [8]..... | 13 |
| Obrázek 7: Napínák řetězu s excentrem na motocyklu Kawasaki GPZ 900 R [9]..... | 13 |
| Obrázek 8: Schéma kontroly správně napnutého řetězu [10] | 14 |
| Obrázek 9: Kardanový pohon na motocyklu značky BMW [13] | 15 |
| Obrázek 10: Řemenový rozvod na motocyklu značky Harley-Davidson [14]..... | 16 |
| Obrázek 11: Schéma vícelamelové třecí spojky [17] | 19 |
| Obrázek 12: Kluzná spojka [19]..... | 19 |
| Obrázek 13: Odstředivá spojka [21] | 20 |
| Obrázek 14: Převodový mechanismus manuální převodové skříně [22] | 21 |
| Obrázek 15: Logo závodního týmu CTU Lions [28]..... | 26 |
| Obrázek 16: Motocykl CTU Lions EVO 2.0 na okruhu Motorland Aragon [36] | 28 |
| Obrázek 17: Horní část rámu motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 29 |
| Obrázek 18: Dolní část rámu (břicho) motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 30 |
| Obrázek 19: Umístění tlumící a pružící jednotky na motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 31 |
| Obrázek 20: Bateriový box na motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 31 |
| Obrázek 21: Schéma pohonu motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 32 |

Seznam obrázků, grafů a tabulek

| | |
|--|----|
| Obrázek 22: Uchycení převodové skříně k elektromotoru motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 33 |
| Obrázek 23: Zavěšení převodové skříně na motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 34 |
| Obrázek 24: Sestava dílů na vstupní hřídeli motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 35 |
| Obrázek 25: Pravé osazení hnací hřídele motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 36 |
| Obrázek 26: Talířové kolo na hnací hřídeli motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 37 |
| Obrázek 27: Osazení hnací hřídele motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 38 |
| Obrázek 28: Uspořádání vstupní a hnací hřídele na motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 39 |
| Obrázek 29: Kompletní převodová skříň se zadní kyvnou vidlicí motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 39 |
| Obrázek 30: Smysl otáčení převodové skříně..... | 40 |
| Obrázek 31: Dělicí rovina těla převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 41 |
| Obrázek 32: Nalévací otvor a vypouštěcí šroub na těle převodové skříně motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 42 |
| Obrázek 33: Otisk zubů na pastorku soukolí na motocyklu CTU Lions EVO 2.0..... | 46 |
| Obrázek 34: Nově navržená vstupní hřídel s pastorkem soukolí motocyklu CTU Lions EVO 2.0 | 48 |
| Obrázek 35: Poloviční řez současnou a nově navrženou vstupní hřídelí s pastorkem.... | 48 |
| Obrázek 36: Porovnání vstupních hřídelí s pastorkem za použití jiných vložek..... | 49 |
| Obrázek 37: Navrhované řešení lisované vložky na hnací hřídeli | 50 |
| Obrázek 38: Příklad demontované převodové skříně motocyklu Yamaha YZF-R1 CR [34] | 52 |

Seznam grafů a tabulek

| | |
|--|----|
| Graf 1: Porovnání kroutícího momentu elektrického a spalovacího motoru (pozn. ICE - internal combustion engine) [27] | 23 |
| Tabulka 1: Technické parametry motocyklu CTU Lions Evo 2.0 [28]..... | 28 |

Seznam příloh

Příloha č. 1: Výkres motoru ENGIRO MS 1920

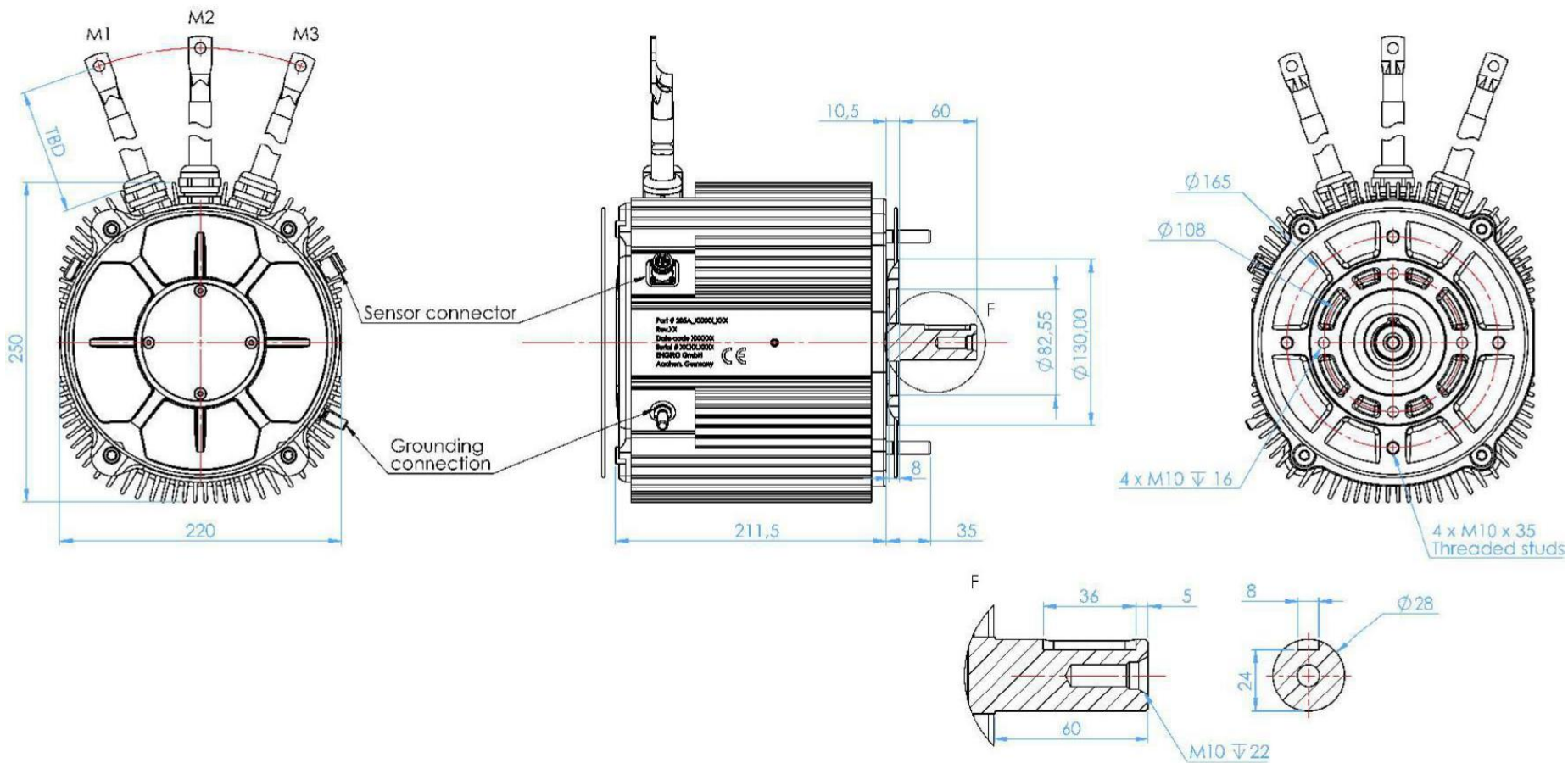
Příloha č. 2: Výkres nové hnací hřídele

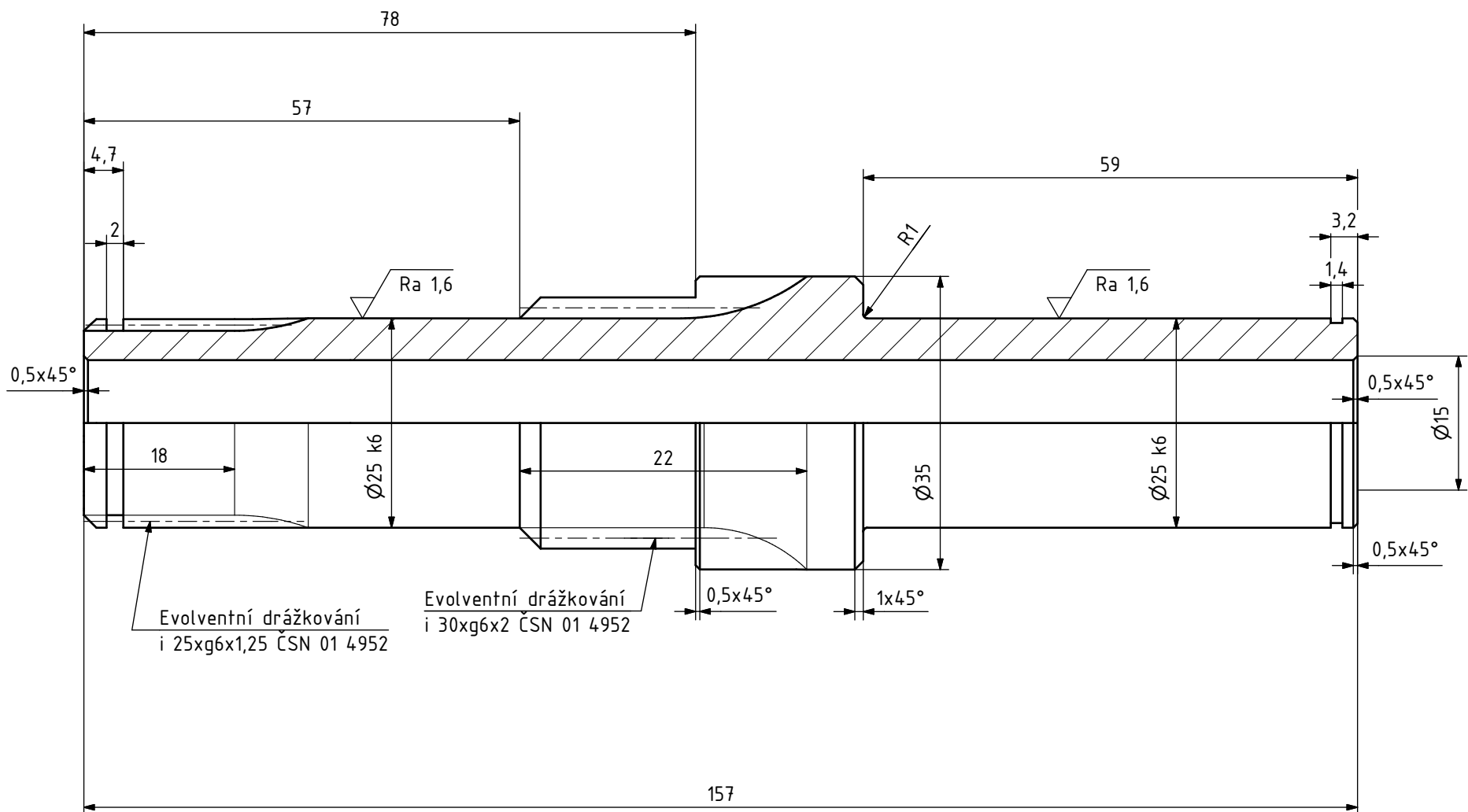
Příloha č. 3: Výkres nové vstupní hřídele s pastorkem

Příloha č. 4: Výkres nové lisovaná vložky

Příloha č. 5: Výkres vnitřního vymežovacího kroužku

Příloha č. 1: Výkres motoru ENGIRO MS 1920





Evolventní drážkování
i 25xg6x1,25 ČSN 01 4952

Evolventní drážkování
i 30xg6x2 ČSN 01 4952

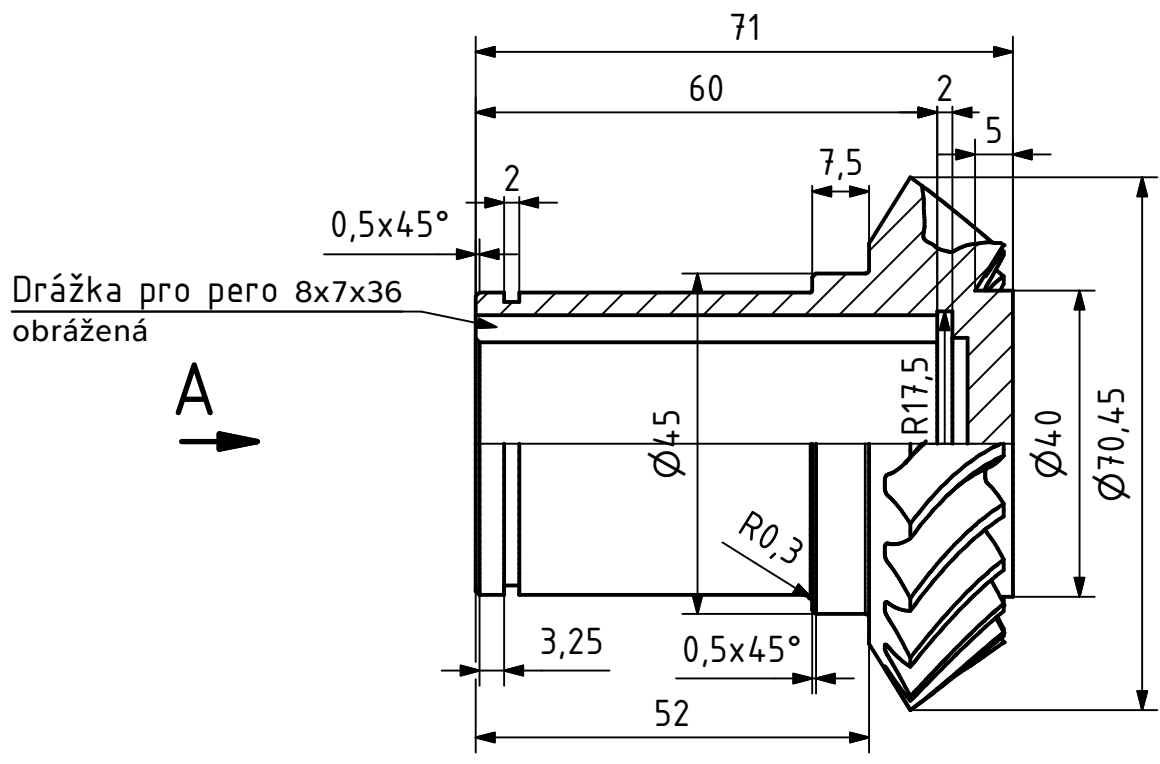
CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

| | | | | | | | |
|--|-------|------------|-----------------------------------|--------|-------|-------------------|-----------|
| NAVŘEL | Autor | Datum | SCHVÁLIL | Podpis | Datum | HMOTNOST 0,423 kg | MĚŘÍTKO |
| Tomáš Kotvald | | 08.08.2022 | | | | PROMÍTÁNÍ: | 1:1 |
| ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE | | | NAZEV Nová hnací hřídel | | | | TYP: |
| ČÍSLO VYKRESU 1 | | | v21.1 | | | | LIST: 1/1 |

1 2 3 4

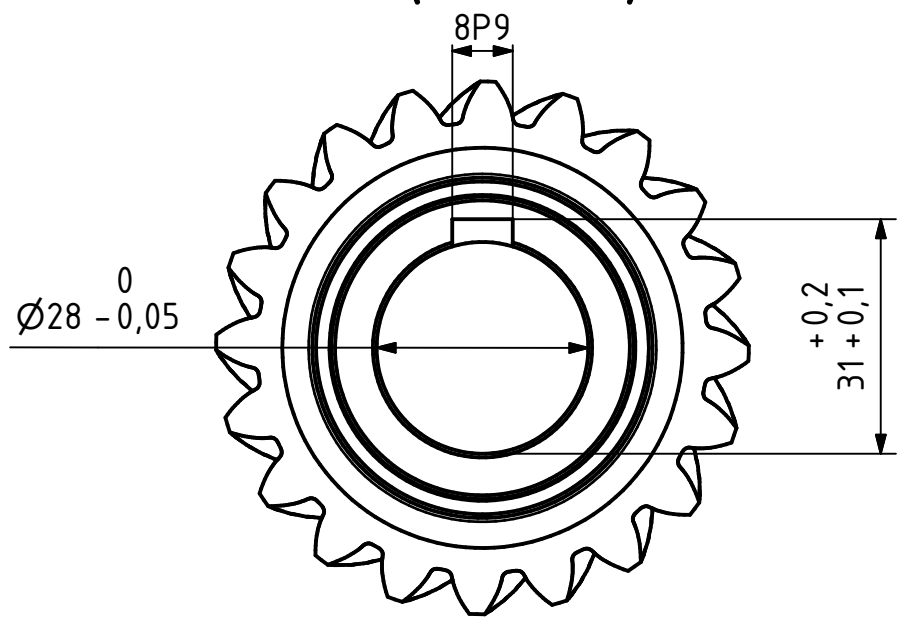
A

A



A
→

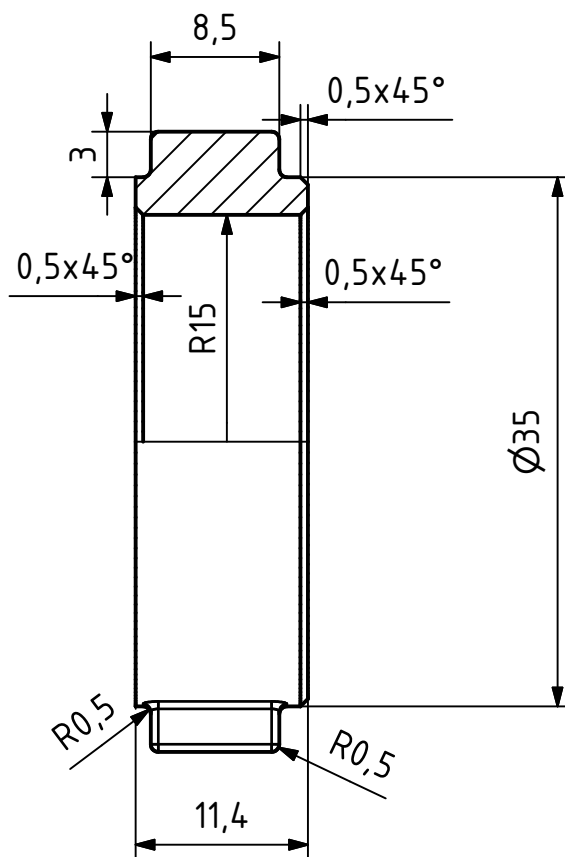
A (1 : 1)



CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------|--|---------------|--|-------|--|---------------------|--|------------------|--|---------|--|
| Autor | | Datum | | Podpis | | Datum | | HMOTNOST | | Není k dispozici | | MĚŘÍTKO | |
| NAVRHL Tomáš Kotvald | | 08.08.2022 | | SCHVÁLIL | | | | PROMÍTÁNÍ: | | (ISO E) | | 1:1 | |
| ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE v21.1 | | | | NAZEV | | | | TYP: | | | | | |
| | | | | ČÍSLO VÝKRESU | | | | Nová vstupní hřídel | | | | | |
| | | | | | | | | LIST: 1/1 | | | | | |

1 2 3 4



| | | | | | | | |
|--------|------------------------|---------------------|----------|--------|-------|------------------------------|----------------|
| NAVŘHL | Autor Tomáš Kotvald | Datum 08.08.2022 | SCHVÁLIL | Podpis | Datum | HMOTNOST Není k dispozici | MĚŘÍTKO 1:1 |
|--------|------------------------|---------------------|----------|--------|-------|------------------------------|----------------|

| | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|------|--|
| PROMÍTÁNÍ: (ISO E) | | | | | | TYP: | |
|---------------------|--|--|--|--|--|------|--|



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

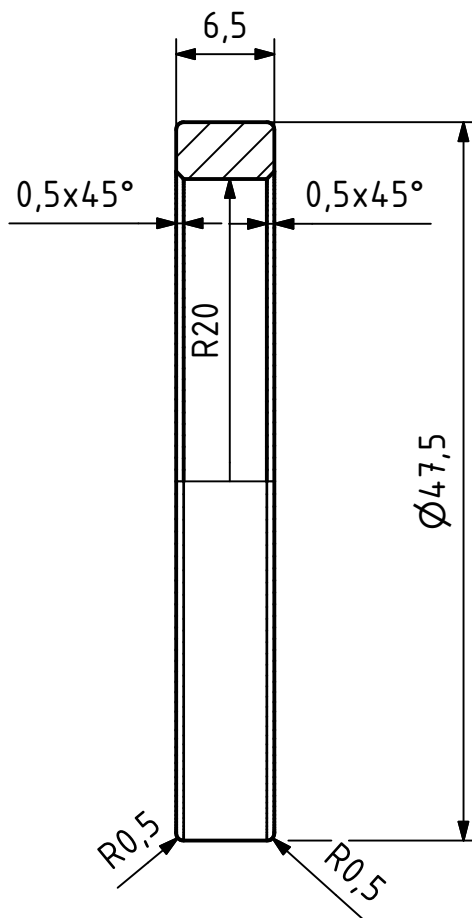
v21.1

NÁZEV

ČÍSLO VÝKRESU

Nová lisovaná vložka

LIST: 1/1



| | | | | | | | |
|--------|------------------------|---------------------|----------|--------|-------|------------------------------|----------------|
| NAVŘHL | Autor Tomáš Kotvald | Datum 08.08.2022 | SCHVÁLIL | Podpis | Datum | HMOTNOST Není k dispozici | MĚŘÍTKO 2:1 |
|--------|------------------------|---------------------|----------|--------|-------|------------------------------|----------------|

| | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|------|--|
| PROMÍTÁNÍ: (ISO E) | | | | | | TYP: | |
|---------------------|--|--|--|--|--|------|--|



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

v21.1

NÁZEV

ČÍSLO VÝKRESU

Vnitřní vymežovací kroužek

LIST: 1/1