



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní  
Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**

**Konstrukce připojovacích přírub pro zkušební stavy převodovek**

**Design of mounting flanges for gearbox test stands**

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: bez oboru

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

**David Brousek**

---

**Praha 2016**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brousek** Jméno: **David** Osobní číslo: **409589**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukce přípojovacích přírub pro zkušební stavy převodovek**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of mounting flanges for gearbox test stands**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte přípojovací přírubu pro upnutí různých typů převodovek koncernu VW do otevřeného zkušebního stavu ve VTP Roztoky. Návrh dovedte do výrobního výkresu. 2. Navrhněte přípravek(ky) pro upnutí dvou typů planetových reduktorů vysokozdvížných vozíků do otevřeného laboratorního stanoviště Ústavu 12120 na Julisce. Pro úsporu prostředků se pokuste, aby jeden přípravek byl využitelný pro oba typy reduktorů. Konstrukci dovedte do výrobního výkresu přípravku. 3. Vypočítejte na obou planetových reduktorech hlavní zubové frekvence a frekvence ložisek. Výpočet proveďte formou Excelovského formuláře, aby byl využitelný i pro modifikace převodovky.

Seznam doporučené literatury:

1. Tůma J.: Gearbox Noise and Vibration. Wiley. 2014. ISBN 978-1-118-35941-9. 2. Taylor J.I.: The Vibration Analysis Handbook. ISBN 978-0964051720.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová**

Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2016** Termín odevzdání bakalářské práce: **30.06.2016**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

**22.04.2016**  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Konstrukce připojovacích přírub pro zkušební stavy převodovek** zpracoval samostatně, dle pokynů vedoucího práce a s použitím uvedených zdrojů.

---

Datum

---

David Brousek

## Poděkování

Děkuji tímto paní doc. Dr. Ing. Gabriele Achtenové za cenné připomínky při konzultacích a rady při vypracování bakalářské práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem montážních přírub na zkušební stavy převodovek. První příruba je pro převodovky koncernu VW a druhá pro planetové převodky z vysokozdvížných vozíků od firmy Linde. Pro tyto planetové převodovky jsou také vypočteny hlavní zubové frekvence a frekvence ložisek.

### *Klíčová slova*

návrh, příruba, montáž, výpočet, frekvence, zkušební stav, převodovka

## Abstract

This bachelor's thesis deals with the design of mounting flanges for gearbox test stands. The first flange is for gearboxes from VW concern and the second is for planetary gearboxes from forklifts by the Linde company. Gearmesh frequencies and frequencies of bearings are calculated for these planetary gearboxes.

### *Key words*

design, flange, mount, calculation, frequency, test stand, gearbox

## Obsah

Úvod .....	5
1. Příruba MQ100/MQ200 .....	6
1.1 Návrh příruby .....	6
1.1.1 Popis součásti .....	6
1.1.2 Materiál .....	7
Polotovar .....	7
1.2 Výrobní postup .....	8
1.3 Montážní návod .....	10
1.3.1 Upevnění příruby MQ100/MQ200 .....	10
1.3.2 Upevnění setrvačnicku, lamely spojky a přítlačného kotouče .....	12
1.3.3 Upevnění převodovky MQ100 nebo MQ200 na zkušební stav .....	13
1.4 Výrobní výkres .....	13
2. Příruba planetových převodovky .....	14
2.1 Návrh příruby .....	14
2.2 Výrobní výkres .....	14
3. Výpočet frekvencí .....	15
3.1 Schéma převodovek .....	15
3.2 Výpočet hlavní zubové frekvence .....	15
3.2.1 Naměřené a zadané hodnoty .....	15
3.2.2 Vzorce .....	16
3.2.3 Výpočet .....	17
3.3 Výpočet frekvencí ložisek .....	21
3.3.1 Naměřené hodnoty .....	21
3.3.2 Vzorce .....	21
3.3.3 Výpočet .....	22
3.4 Excelovský formulář .....	22
Závěr .....	23
Seznam zdrojů .....	24
Knižní zdroje .....	24
Elektronické zdroje .....	24
Seznam obrázků .....	25
Seznam tabulek .....	26
Seznam příloh .....	27

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout montážní příruby pro zkušební stavy převodovek. Práce je rozdělena na tři dílčí části.

V první části se budu zabývat konstrukčním návrhem montážní příruby na zkušební stav pro převodovky MQ100 a MQ200 z koncernu VW a rovněž pro ni vytvořím výrobní výkres. V této části dále popíši postup výroby jedné součásti a správný postup jejího upevnění na stav.

V druhé části se budu zabývat návrhem příruby pro planetové převodky z vysokozdvížných vozíku od firmy Linde a tento návrh následně také dovedu k výrobnímu výkresu.

Ve třetí části vypočtu frekvence ložisek a hlavní zubové frekvence planetových převodovek z druhé části. Na základě těchto výpočtů vytvořím dokument v Excelu, který bude dále možné aplikovat na různé modifikace planetových převodovek.

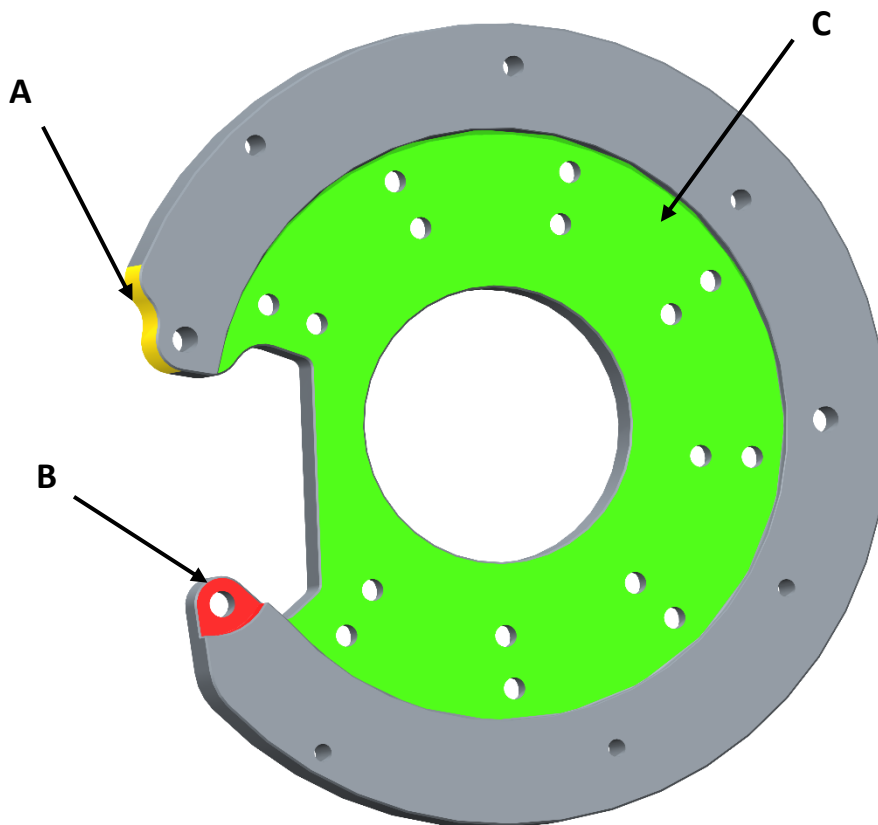
Hlavní přínos této bakalářské práce spočívá v budoucím praktickém využití přírub navržených v rámci této bakalářské práce na zkušebních stavech převodovek ve VTP Rožtoky.

# 1. Příruba MQ100/MQ200

## 1.1 Návrh příruby

### 1.1.1 Popis součásti

Součást slouží k upevnění převodovek koncernu Volkswagen na zkušební stav a je navržena tak, aby na ni bylo možno upevnit dva typy převodovek (MQ100 a MQ200). Kvůli krytu zkušebního stavu musí být příruba vybrána na místě (A) viz Obrázek 1. Aby nedošlo ke kontaktu s přírubou diferenciálu, příruba MQ100/MQ200 má vybrání (B). Pro lepší nasazování na pevnou přírubu je plocha (C) 5mm zapuštěna. Z důvodu dodržení správného naklonění skříně převodovky je nutno upravit pevnou přírubu na zkušebním stavu ve VTP Rožtoky, a to přidáním 8 děr na průměru 200 viz Příloha č. 5.



Obrázek 1 - Příruba MQ100/MQ200



### 1.1.2 Materiál

Volím konstrukční běžnou ocel jakosti 11 373 (S 235 JRG 1, Fe360B)

Charakteristika oceli a příklad použití

*„Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů menších tloušťek, i tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky. Vtokové objekty vodních turbín, výtoky, hradidlové tabule, stavidla, méně namáhaná svařovaná potrubí a odbočnice, jezové konstrukce. Dna plochá, klenutá a lemovaná, vysokotlaká. Vhodná ke svařování.“<sup>1</sup>*

Tabulka 1 - Složení v %

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,170			max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007	

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracováno	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu	min. 370	min. 350
Mez kluzu	min. 250	min. 220
Tažnost	min. 7	min. 20

### Polotovary

*„Polotovary je výchozí surovina, která je vhodně připravena pro výrobu dané součásti. Při výběru polotovaru hledíme především na ekonomické hledisko. Polotovary se má tvarem a rozměry co nejvíce přiblížit hotové součásti. Při hodnocení polotovaru musí jeho provedení splňovat následující podmínky:*

- Pridavky na obrábění musí být optimální.**
- Spotřeba materiálu má být minimální.**
- Vynaložená práce na výrobu má být minimální.“<sup>2</sup>**

Na základě těchto podmínek volím jako polotovar pro výrobu součásti čtvercový ocelový plech, válcovaný za tepla, P30-400x400 dle normy ČSN 42 5310.

<sup>1</sup> Jakosti ocelí. Feromat [online]. Brno: Feromat Brno, c2010 [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)

<sup>2</sup> ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění. In: Ústav strojírenské technologie: ODBOR TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ [online]. Brno: VUT Brno, c2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

## 1.2 Výrobní postup

Stručný soupis doporučených výrobních operací montážní příruby MQ100/MQ200:

### 1. Pálení laserem

Vypálení kontury a otvoru do polotovaru dle modelu, viz Příloha č. 6.

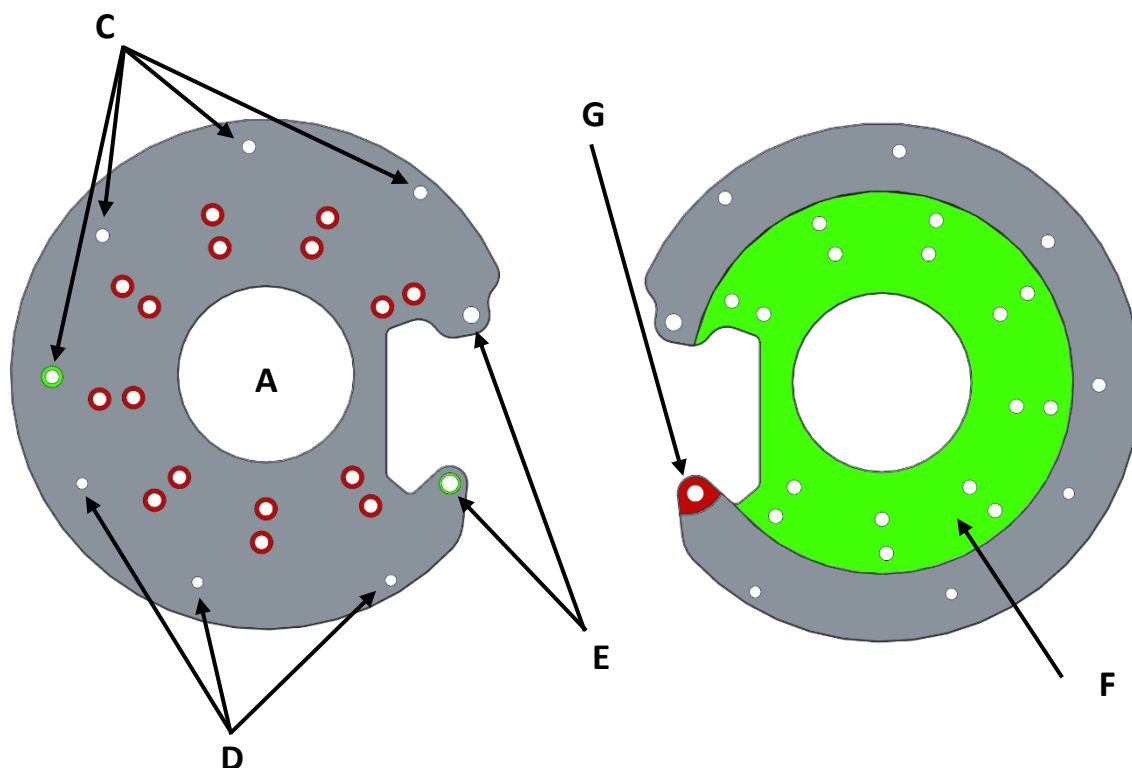
### 2. Frézování

Součást upnout na stůl pomocí univerzálního sklíčidla za otvor (A), viz Obrázek 3. Zarovnat levé čelo na rozměr 29mm. Vyvrtat otvory pro šrouby (B) a (E), vyfrézovat zahloubení pro hlavy šroubů a pro středící pouzdra, srazit hranu kontury a vyfrézovat závity M10(C) a M12(D). Následně součást upnout pomocí sklíčidla za vnější průměr a srazit hrany na otvorech a závitech. Poté součást otočit a upnout pomocí sklíčidla za vnější průměr a vyfrézovat plochu (E) do hloubky 5mm a plochu (F) do hloubky 10mm, srazit hrany otvorů a závitů na pravém čele. Poté upevnit součást za otvor (A) a srazit hranu kontury.



Obrázek 2 – Výpalek (Příloha č. 6)

Na levém čele jsou díry pro šrouby (B) i se zahloubením pro



Obrázek 3 - Popis frézování příruby MQ100/MQ200, pohled na levé čelo (vlevo) a pravé čelo (vpravo).

hlavy šroubů vyznačeny červenou barvou. Zelenou barvou je vyznačeno zahloubení pro středící pouzdra. Na pravém čele je plocha (F) vyznačená zeleně a plocha (G) červeně.

### 3. Černění

Součást je vhodné chemicky černit za účelem ochrany proti korozi.

Černění (brunýrování) je způsob barvení ocelových výrobků pro dekorativní a antikorozní účely. Na povrchu součásti se vytváří tenký oxidový povlak modročerné až černé barvy. Povlak je závislý na kvalitě mechanického opracování povrchu. Čím jemněji je povrch opracován, tím je výsledný efekt kvalitnější a lesklejší. Výrobky určené k černění musí mít kovově čistý povrch bez rzi, okují a mastnot. Rozměry součásti se téměř nemění.<sup>3</sup>

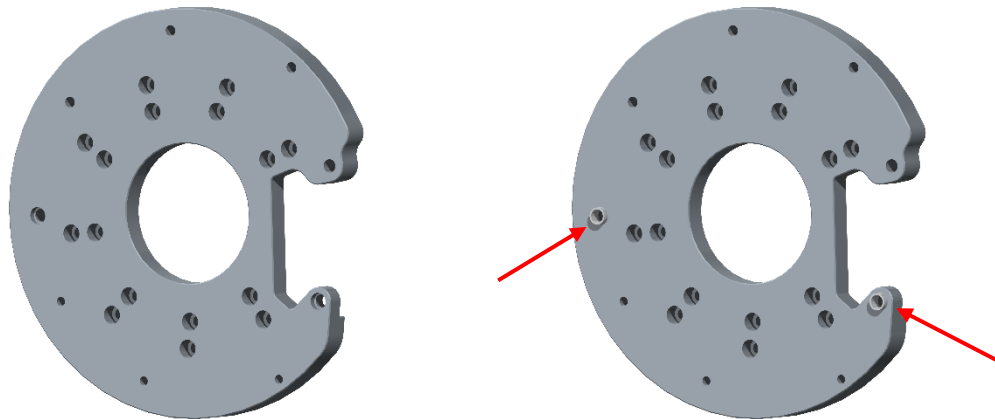
---

<sup>3</sup> Černění (brunýrování) železa. In: Galvanika Fiala [online]. Praha: Galvanika Fiala, c2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.galvanika.cz/cerneni-brynyrovani-oceli.html>

### 1.3 Montážní návod

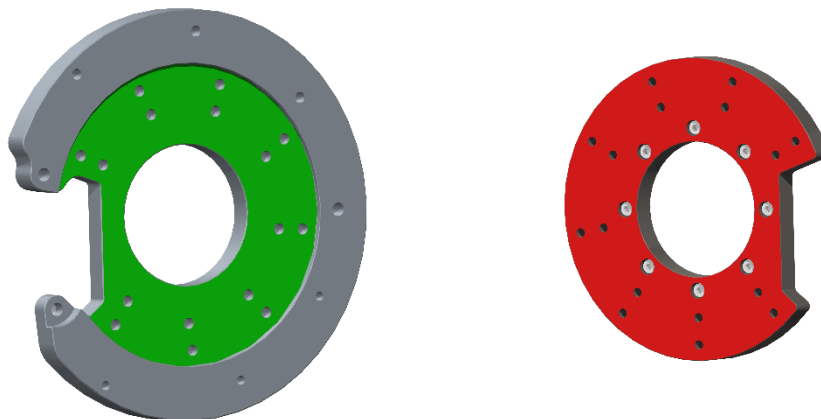
#### 1.3.1 Upevnění příruby MQ100/MQ200

1. Vložit středící pouzdra do příruby.



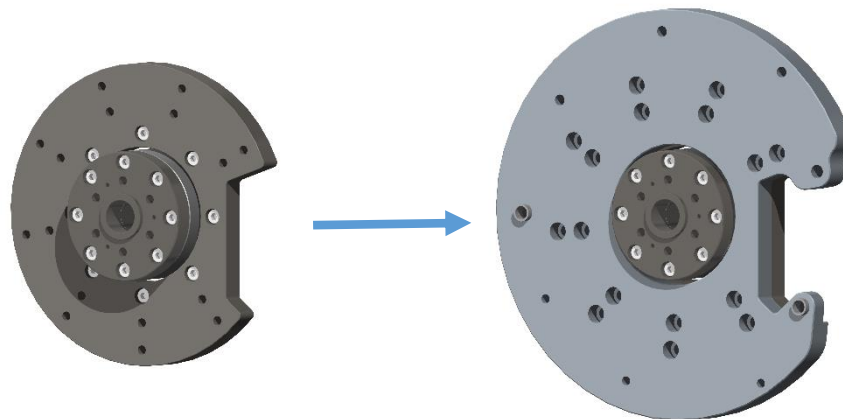
Obrázek 4 - Vložení středících pouzder

2. Očistit dosedací plochy (A) a (B) viz Obrázek 5 od všech cizích materiálů a odpadu.



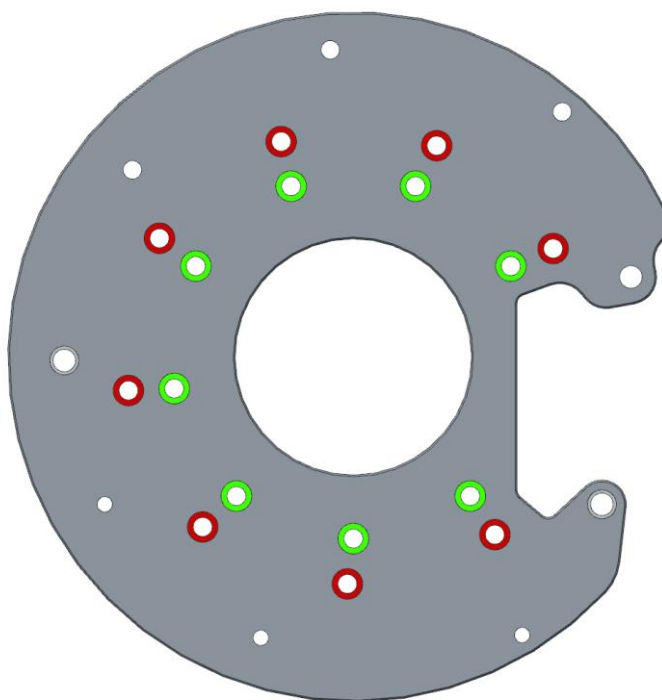
Obrázek 5 - Dosedací plocha (A) zvýrazněna zeleně a dosedací plocha (B) zvýrazněna červeně

3. Nasadit přírubu MQ100/MQ200 dosedací plochou (A) na dosedací plochu pevné příruby zkušebního stavu (B).



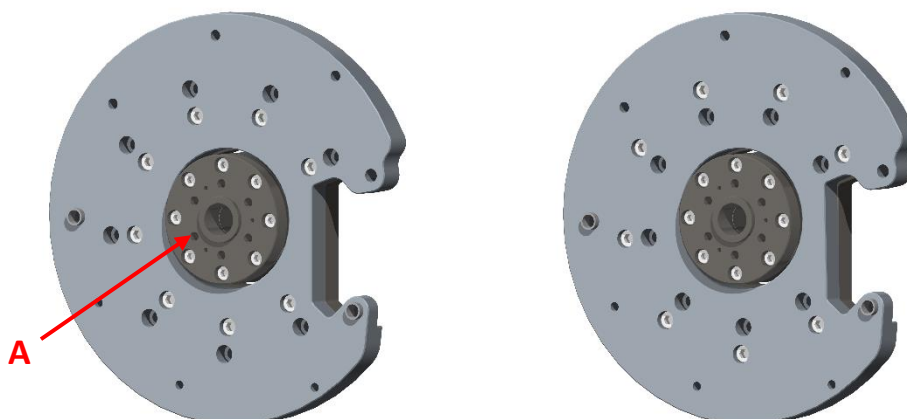
Obrázek 6 - Pevná příruba zkušebního stavu před nasazením příruby MQ100/MQ200 (vlevo) a po nasazení (vpravo)

4. Pro upevnění převodovky MQ100 zarovnat díry příruby MQ100/MQ200 (C) viz Obrázek 7 na průměru 200mm s dírami M10 na pevné přírubě zkušebního stavu. Pro upevnění převodovky MQ200 zarovnat díry příruby MQ100/MQ200 (D) viz Obrázek 7 na průměru 250mm s dírami M10 na pevné přírubě zkušebního stavu.



Obrázek 7 - Díry pro upevnění, pro použití s převodovkou MQ100 (C) zvýrazněny zeleně a pro použití s MQ200 (D) zvýrazněny červeně

5. Upevnit pomocí osmi šroubů M10x30 na průměr 200 mm pro MQ100 nebo na průměru 250 mm pro MQ200.



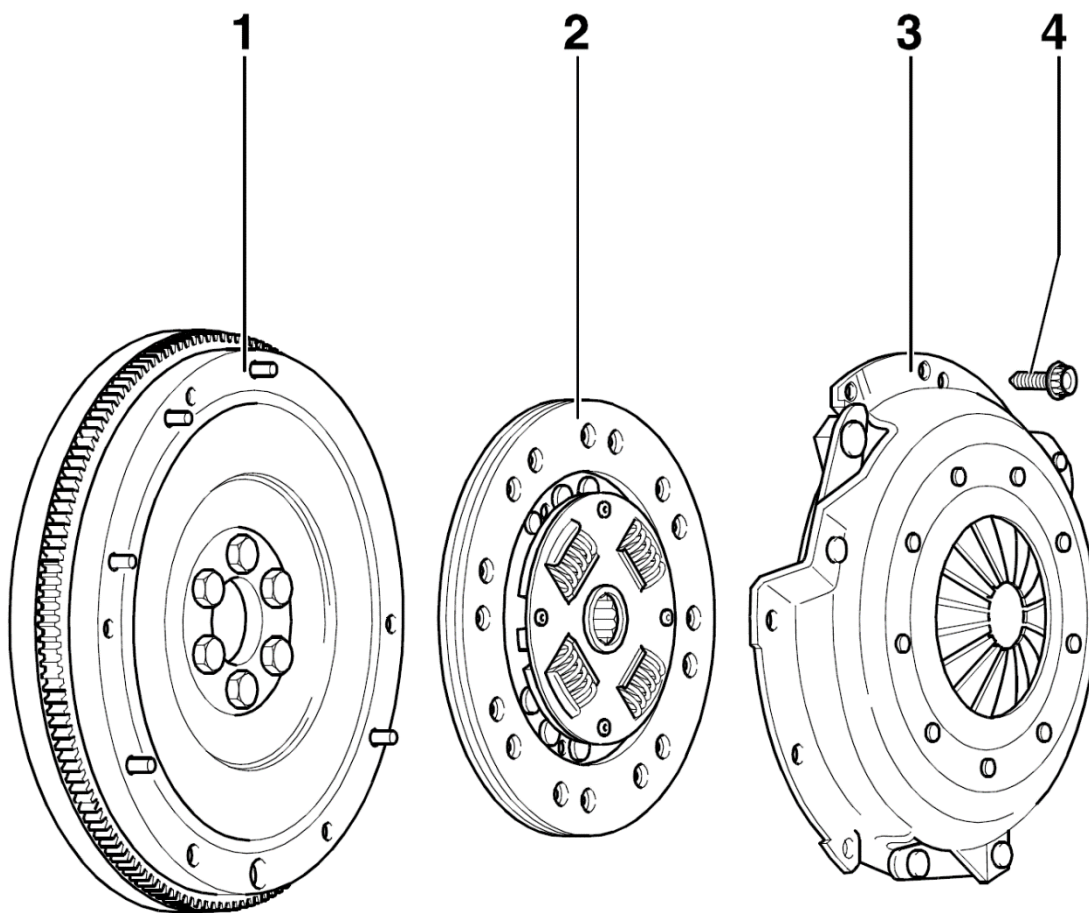
Obrázek 8 - Upevněná příruba MQ100/M200 na přírubě zkušebního stavu pro nasazení převodovky MQ100 (vlevo) a převodovky MQ200 (vpravo)

6. Šrouby utáhnout křížově momentem 48,4 Nm.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Utahovací kroutící momenty. Briol: Spojovací materiály [online]. Čistá: Briol, c2013 [cit. 2016-06-17]. Dostupné z: <http://www.briol.cz/utahovaci-kroutici-momenty>

### 1.3.2 Upevnění setrvačníku, lamely spojky a přitlačného kotouče

1. Očistit dosedací plochy náboje (A) viz Obrázek 8 a příslušného setrvačníku (1) viz Obrázek 9.
2. Upevnit setrvačnick (1) pomocí šesti šroubů M10x25 na náboj (A) a dotáhnout křížově předepsaným momentem výrobce.
3. Vložit kolíky do setrvačníku. (1)
4. Očistit dosedací plochu pro lamelu spojky (2), viz Obrázek 9 na setrvačníku (1) od nečistot a mastnot.
5. Vložit lamelu spojky (2) do setrvačníku. (1)
6. Nasadit přitlačný kotouč (3) viz Obrázek 9 na kolíky a za upevňovací šrouby přitlačného kotouče spojky (4) viz Obrázek 9, utahujeme postupně do kříže tak, aby byl kotouč pevně usazen. Při utahování šroubů přitlačného kotouče dbáme na to, abychom vyrovnali kotouč do setrvačníku ve správné poloze.



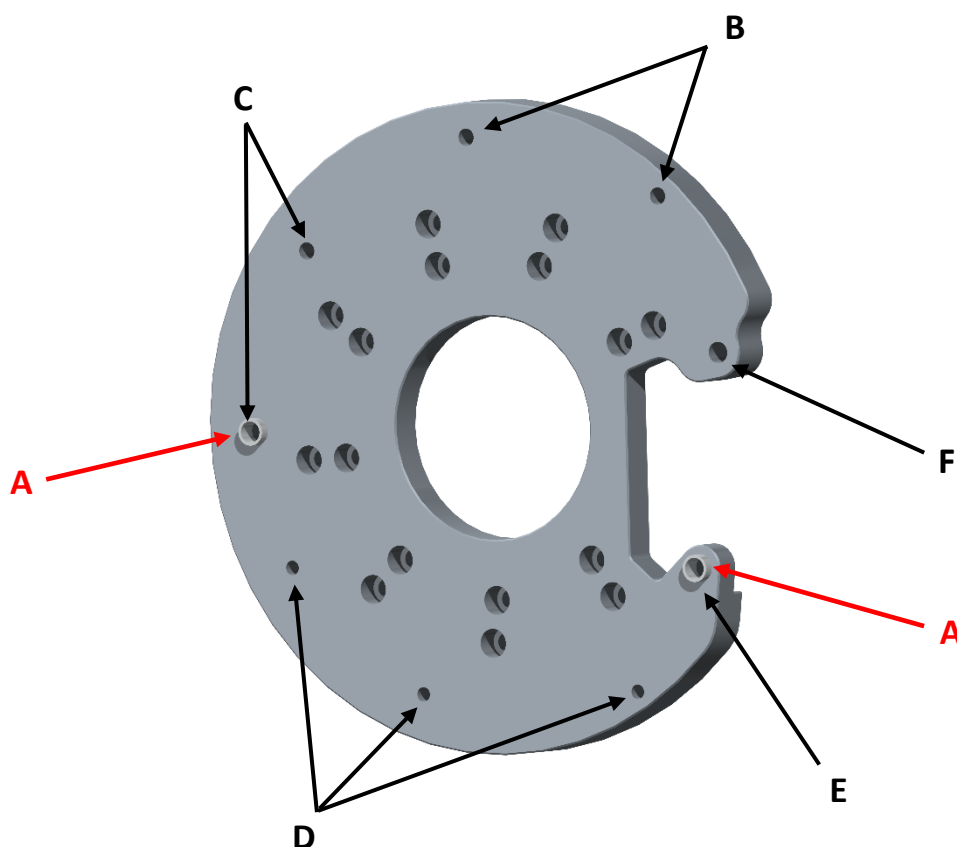
Obrázek 9 - Sestava setrvačníku, lamely spojky a přitlačného kotouče

### 1.3.3 Upevnění převodovky MQ100 nebo MQ200 na zkušební stav

1. Očistit dosedací plochy převodovky a příruby od všech cizích materiálů a odpadu.
2. Nasadit převodovku na středící pouzdra (A) viz Obrázek 10
3. MQ100: upevnit pomocí čtyř šroubů M12x55 (B, C), tří M10x55 (D) a jednoho M12x65 (E) viz Obrázek 10. U převodovky MQ100 je díra (F) viz Obrázek 10 nevyužita.

MQ200: upevnit pomocí dvou šroubů M12x55 (B), dvou M12x125 (C), tří M10x55 (D), jednoho M12x65 (E) a jednoho M12x75 (F) viz Obrázek 10.

4. Šrouby utáhnout dle momentů předepsaných výrobcem převodovky.



Obrázek 10 - Popsání pozic šroubů pro upevnění převodovek

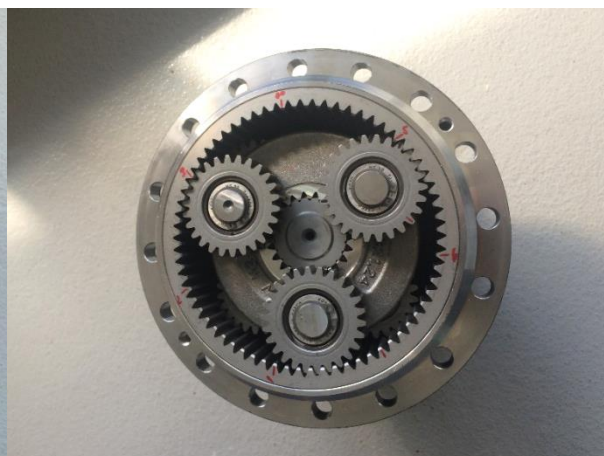
### 1.4 Výrobní výkres

Na základě návrhového modelu jsem vytvořil výrobní výkres, viz Příloha č. 1.

## 2. Příruba planetových převodovky



Obrázek 11 - Planetová převodovka A



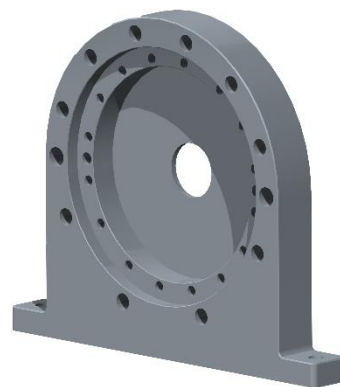
Obrázek 12 - Planetová převodovka B

### 2.1 Návrh příruby

Na převodkách jsem naměřil potřebné hodnoty (rozměry osazení, velikosti a pozice děr) a na základě těchto hodnot jsem navrhnul model montážní příruby, viz Obrázek 13.

Příruba je navržena tak, aby na ni bylo možné upevnit oba typy planetových převodovek, viz Obrázek 11 a Obrázek 12. Pomocí dvou děr pro šrouby lze přírubu připevnit ke zkušebnímu stavu.

Pro spojení hřídele centrálního kola s hnací kloubovou hřídelí je navržena příruba, viz Obrázek 14, která se nasadí evolventním drážkováním (DIN 5480) na hřídel centrálního kola, a pomocí 6 děr se k ní připevní kloubová hřídel.



Obrázek 13 - Příruba pro planetové převodovky



Obrázek 14- Příruba pro kloubový hřídel

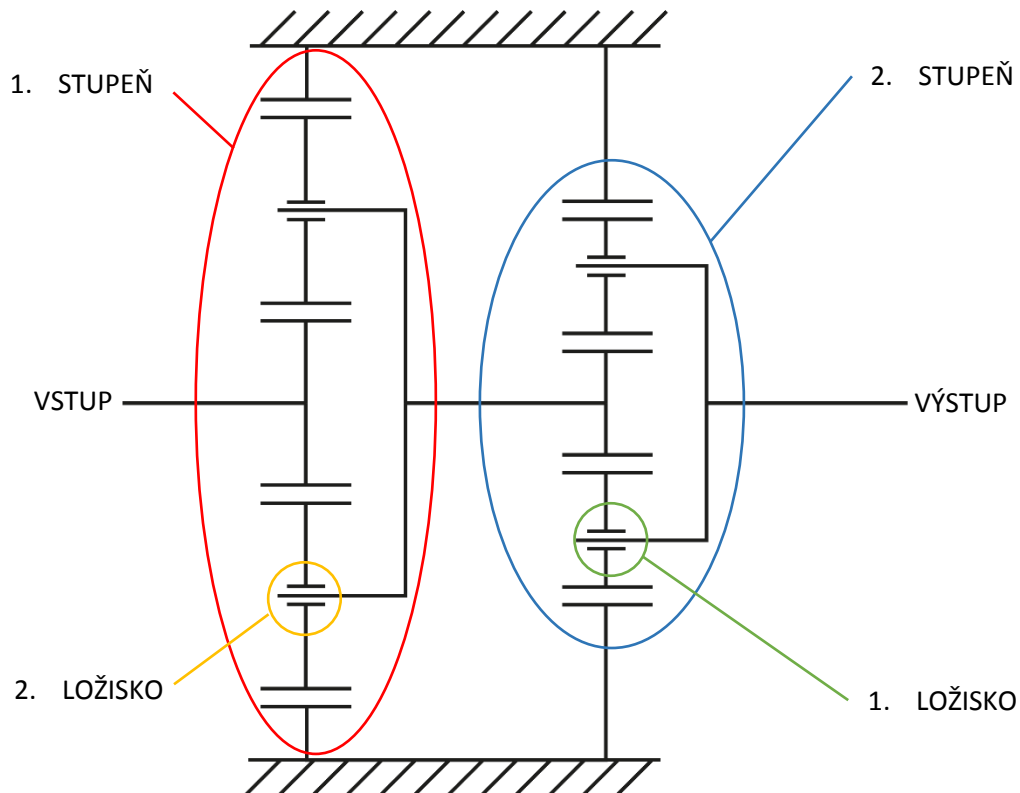
### 2.2 Výrobní výkres

Na základě návrhových modelů jsem vytvořil výrobní výkresy, viz Příloha č. 2 a č. 3.



### 3. Výpočet frekvencí

#### 3.1 Schéma převodovek



Obrázek 15 - Schéma převodovek

V převodovce bude pravděpodobně nějaké ložisko na výstupu, ale vzhledem k tomu, že jsem ji bohužel natolik rozloženou neviděl, jsem provedl výpočty pouze pro dva znázorněné typy ložisek, viz Obrázek 15.

#### 3.2 Výpočet hlavní zubové frekvence

##### 3.2.1 Naměřené a zadané hodnoty

Tabulka 3 - Počty zubů

Převodovka A			
1. stupeň	Počet zubů	2. stupeň	Počet zubů
Korunové kolo $N_{r1}$	94	Korunové kolo $N_{r2}$	68
Satelity $N_{p1}$	39	Satelity $N_{p2}$	24
Centrální kolo $N_{s1}$	17	Centrální kolo $N_{s2}$	19
Převodovka B			
1. stupeň	Počet zubů	2. stupeň	Počet zubů
Korunové kolo $N_{r1}$	68	Korunové kolo $N_{r2}$	68
Satelity $N_{p1}$	26	Satelity $N_{p2}$	23
Centrální kolo $N_{s1}$	17	Centrální kolo $N_{s2}$	22

Pro obě převodovky platí, že otáčky vstupní hřídele jsou rovny 1000 tedy  $n=1000$  (1/min).

### 3.2.2 Vzorce

Frekvence otáčení centrálního kola

$$S_s = \left(1 + \frac{N_r}{N_s}\right) \times S_c - \left(1 - \frac{N_r}{N_s}\right) \times S_r \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_r \quad (1)$$

$$S_s = \frac{\left(1 + \frac{N_s}{N_p}\right) \times S_c - S_p}{\frac{N_s}{N_p}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_p \quad (2)$$

Frekvence otáčení satelitů

$$S_p = \left(1 - \frac{N_r}{N_p}\right) \times S_c + \left(\frac{N_r}{N_p}\right) \times S_r \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_r \quad (3)$$

$$S_p = \left(1 + \frac{N_s}{N_p}\right) \times S_c - \left(\frac{N_s}{N_p}\right) \times S_s \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_s \quad (4)$$

Frekvence otáčení korunového kola

$$S_r = \frac{\left(1 + \frac{N_r}{N_s}\right) \times S_c - S_s}{\frac{N_r}{N_s}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_s \quad (5)$$

$$S_r = \frac{S_p - \left(1 - \frac{N_r}{N_p}\right) \times S_c}{\frac{N_r}{N_p}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_c \text{ a } S_p \quad (6)$$

Frekvence otáčení unašeče

$$S_c = \frac{S_s + \left(\frac{N_r}{N_s}\right) \times S_r}{1 + \frac{N_r}{N_s}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_s \text{ a } S_r \quad (7)$$

$$S_c = \frac{S_p + \left(\frac{N_s}{N_p}\right) \times S_s}{1 + \frac{N_s}{N_p}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_p \text{ a } S_s \quad (8)$$

$$S_c = \frac{S_p - \left(\frac{N_r}{N_p}\right) \times S_r}{1 - \frac{N_r}{N_p}} \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_r \text{ a } S_p \quad (9)$$

Hlavní zubová frekvence

$$GF = |(S_c - S_s)| \times N_s \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_s \text{ a } S_c \quad (10)$$

$$GF = |(S_p - S_c)| \times N_p \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_p \text{ a } S_c \quad (11)$$

$$GF = |(S_r - S_c)| \times N_r \quad \text{když, jsou známy hodnoty } S_r \text{ a } S_c \quad (12)^5$$

<sup>5</sup> The Gear Analysis Handbook. TAYLOR, James I. The Gear Analysis Handbook: A Practical Guide for Solving Vibration Problems in Gears. Tampa, FL: VCI, c2000, s. 113-114. ISBN 0964051710.

### 3.2.3 Výpočet

#### Převodovka A

##### 1. stupeň

Korunové kolo je nepohyblivé, z čehož plyne, že jeho frekvence otáčení je rovna 0. ( $S_{r1} = 0 \text{ Hz}$ )

Centrální kolo se nachází na vstupní hřídeli a jeho frekvence otáčení lze spočítat ze vstupních otáček. ( $S_{s1} = n/60 = 1000/60 = 16,67$ )

Pro výpočet zbylých dvou frekvencí otáčení použijí rovnice (7) a (3).

Rovnice (7) po dosazení hodnot  $S_{r1}, S_{s1}, N_{r1}, N_{s1}$ .

$$S_{c1} = \frac{16,67 + \left(\frac{94}{17}\right) \times 0}{1 + \frac{94}{17}} = 2,55 \text{ Hz}$$

Rovnice (3) po dosazení hodnot  $S_{c1}, S_{r1}, N_{r1}, N_{p1}$ .

$$S_{p1} = \left(1 - \frac{94}{39}\right) \times 2,55 + \left(\frac{94}{39}\right) \times 0 = -3,60 \text{ Hz}$$

##### Hlavní zubová frekvence 1. stupně

Pro výpočet hlavní zubové frekvence stačí dosadit nezaokrouhlené hodnoty  $S_{c1}, S_{r1}, S_{s1}, S_{p1}$  do jedné z rovnic (10), (11) nebo (12).

$$GF = |(S_{c1} - S_{s1})| \times 17 = 239,94 \text{ Hz}$$

$$GF = |(S_{p1} - S_{c1})| \times 39 = 239,94 \text{ Hz}$$

$$GF = |(S_{r1} - S_{c1})| \times 94 = 239,94 \text{ Hz}$$

Pro ověření výsledků výpočtů jsem dosadil do všech zmíněných rovnic a zjistil jsem, že zubová frekvence 1. stupně převodky A je 239,94 Hz.

## 2. stupeň

Korunové kolo je nepohyblivé, z čehož plyne, že jeho frekvence otáčení je rovna 0. ( $S_{r2} = 0 \text{ Hz}$ )

Centrální kolo má stejnou frekvenci otáčení jako unašeč 1. stupně. ( $S_{s2} = S_{c1} = 2,55$ )

Pro výpočet zbylých dvou frekvencí otáčení použijí rovnice (7) a (3).

Rovnice (7) po dosazení hodnot  $S_{r2}, S_{s2}, N_{r2}, N_{s2}$ .

$$S_{c2} = \frac{2,55 + \left(\frac{68}{19}\right) \times 0}{1 + \frac{68}{19}} = \mathbf{0,557 \text{ Hz}}$$

Rovnice (3) po dosazení hodnot  $S_{c2}, S_{r2}, N_{r2}, N_{p2}$ .

$$S_{p2} = \left(1 - \frac{68}{24}\right) \times 0,557 + \left(\frac{68}{24}\right) \times 0 = \mathbf{-1,02 \text{ Hz}}$$

## Hlavní zubová frekvence 2. stupně

Pro výpočet hlavní zubové frekvence stačí dosadit nezaokrouhlené hodnoty  $S_{c2}, S_{r2}, S_{s2}, S_{p2}$  do jedné z rovnic (10), (11) nebo (12).

$$GF = |(S_{c2} - S_{s2})| \times 19 = \mathbf{37,91 \text{ Hz}}$$

$$GF = |(S_{p2} - S_{c2})| \times 24 = \mathbf{37,91 \text{ Hz}}$$

$$GF = |(S_{r2} - S_{c2})| \times 68 = \mathbf{37,91 \text{ Hz}}$$

Pro ověření výsledků výpočtů jsem dosadil do všech zmíněných rovnic a zjistil jsem, že zubová frekvence 2. stupně převodky A je 37,91 Hz.

### 1. stupeň

Korunové kolo je nepohyblivé, z čehož plyne, že jeho frekvence otáčení je rovna 0. ( $S_{r1} = 0 \text{ Hz}$ )

Centrální kolo se nachází na vstupní hřídeli a jeho frekvence otáčení lze spočítat ze vstupních otáček.

$$(S_{s1} = n/60 = 1000/60 = 16,67)$$

Pro výpočet zbylých dvou frekvencí otáčení použijí rovnice (7) a (3).

Rovnice (7) po dosazení hodnot  $S_{r1}, S_{s1}, N_{r1}, N_{s1}$ .

$$S_{c1} = \frac{16,67 + \left(\frac{68}{17}\right) \times 0}{1 + \frac{68}{17}} = 3,33 \text{ Hz}$$

Rovnice (3) po dosazení hodnot  $S_{c1}, S_{r1}, N_{r1}, N_{p1}$ .

$$S_{p1} = \left(1 - \frac{68}{26}\right) \times 3,33 + \left(\frac{68}{26}\right) \times 0 = -5,38 \text{ Hz}$$

### Hlavní zubová frekvence 1. stupně

Pro výpočet hlavní zubové frekvence stačí dosadit nezaokrouhlené hodnoty  $S_{c1}, S_{r1}, S_{s1}, S_{p1}$  do jedné z rovnic (10), (11) nebo (12).

$$GF = |(S_{c1} - S_{s1})| \times 17 = 226,67 \text{ Hz}$$

$$GF = |(S_{p1} - S_{c1})| \times 26 = 226,67 \text{ Hz}$$

$$GF = |(S_{r1} - S_{c1})| \times 68 = 226,67 \text{ Hz}$$

Pro ověření výsledků výpočtů jsem dosadil do všech zmíněných rovnic a zjistil jsem, že zubová frekvence 1. stupně převodky B je 226,67 Hz.

## 2. stupeň

Korunové kolo je nepohyblivé, z čehož plyne, že jeho frekvence otáčení je rovna 0. ( $S_{r2} = 0 \text{ Hz}$ )

Centrální kolo má stejnou frekvenci otáčení jako unašeč 1. stupně. ( $S_{s2} = S_{c1} = 3,33$ )

Pro výpočet zbylých dvou frekvencí otáčení použijí rovnice (7) a (3).

Rovnice (7) po dosazení hodnot  $S_{r2}, S_{s2}, N_{r2}, N_{s2}$ .

$$S_{c2} = \frac{3,33 + \left(\frac{68}{22}\right) \times 0}{1 + \frac{68}{22}} = \mathbf{0,814 \text{ Hz}}$$

Rovnice (3) po dosazení hodnot  $S_{c2}, S_{r2}, N_{r2}, N_{p2}$ .

$$S_{p2} = \left(1 - \frac{68}{23}\right) \times 0,814 + \left(\frac{68}{23}\right) \times 0 = \mathbf{-1,59 \text{ Hz}}$$

## Hlavní zubová frekvence 2. stupně

Pro výpočet hlavní zubové frekvence stačí dosadit nezaokrouhlené hodnoty  $S_{c2}, S_{r2}, S_{s2}, S_{p2}$  do jedné z rovnic (10), (11) nebo (12).

$$GF = |(S_{c1} - S_{s1})| \times 22 = \mathbf{55,41 \text{ Hz}}$$

$$GF = |(S_{p1} - S_{c1})| \times 23 = \mathbf{55,41 \text{ Hz}}$$

$$GF = |(S_{r1} - S_{c1})| \times 68 = \mathbf{55,41 \text{ Hz}}$$

Pro ověření výsledků výpočtů jsem dosadil do všech zmíněných rovnic a zjistil jsem, že zubová frekvence 2. stupně převodky B je 55,41 Hz.

### 3.3 Výpočet frekvencí ložisek

#### 3.3.1 Naměřené hodnoty

Tabulka 4 - Rozměry ložisek

Převodovka A			
1. ložisko	SKL L070-14 F-238258.01	2. ložisko	INA 95 L06 F-217843.03
Typ tělíška	kulička	Typ tělíška	váleček
Počet tělísek (n)	8	Počet tělísek (n)	18
Průměr tělísek (DV)	8 mm	Průměr tělísek (DV)	5 mm
Rozteč tělísek (PD)	37 mm	Rozteč tělísek (PD)	28 mm
Převodovka B			
1. ložisko	KOYO HG.50 TJ-600-099-1	2. ložisko	KOYO HF.50 TJ-600-099-1
Typ tělíška	váleček	Typ tělíška	váleček
Počet tělísek (n)	22	Počet tělísek (n)	21
Průměr tělísek (DV)	3 mm	Průměr tělísek (DV)	3 mm
Rozteč tělísek (PD)	28 mm	Rozteč tělísek (PD)	26 mm

Tabulka 5 - Frekvence otáčení (hodnoty získané při výpočtu hlavních zubových frekvencí)

Převodovka A			
1. ložisko	SKL L070-14 F-238258.01	2. ložisko	INA 95 L06 F-217843.03
Frekvence otáčení ( $S_{p1}$ )	-3,60 Hz	Frekvence otáčení ( $S_{p2}$ )	-1,02 Hz
Převodovka B			
1. ložisko	KOYO HG.50 TJ-600-099-1	2. ložisko	KOYO HF.50 TJ-600-099-1
Frekvence otáčení ( $S_{p1}$ )	-5,38 Hz	Frekvence otáčení ( $S_{p2}$ )	-1,59 Hz

#### 3.3.2 Vzorce

Frekvence při závadě na vnějším kroužku (BPFO)

$$BPFO = n/2 \times (f_i - f_o) \times (1 - DV/PD \times \cos \beta) \quad (13)$$

Frekvence při závadě na vnitřním kroužku (BPFI)

$$BPFI = n/2 \times (f_i - f_o) \times (1 + DV/PD \times \cos \beta) \quad (14)$$

Frekvence při závadě na kuličce či válečku (BSF)

$$BSF = (f_i - f_o)/2 \times PD/DV \times (1 - (DV/PD \times \cos \beta)^2) \quad (15)$$

Frekvence při závadě na kleci (FTF)

$$FTF = (f_i - f_o)/2 - (f_i - f_o)/2 \times (DV/PD \times \cos \beta) \quad (16)^6$$

<sup>6</sup> Vehicle gearbox noise and vibration: measurement, signal analysis, signal processing and noise reduction measures. 1. Chichester, England: Wiley, 2014, s. 81. Automotive series (Wiley). ISBN 978-1-118-79761-7.

### 3.3.3 Výpočet

Pro ložiska s kuličkou ( $DV/PD \times \cos \beta$ )  $\approx 0,2$ , pro ložiska s válečkem  $\beta = 0$ .<sup>7</sup>

Všechna ložiska mají pevný vnitřní kroužek a otáčí se vnější kroužek, proto frekvence otáčení vnitřního kroužku  $f_i$  je rovna nule a frekvence otáčení satelitu je rovna frekvenci otáčení vnějšího kroužku  $f_o$ . ( $f_i = 0$ ) a ( $f_o = S_p$ )

#### Převodovka A

##### 1. ložisko - SKL L070-14 F-238258.01

$$BPFO = 8/2 \times 3,6 \times (1 - 0,2) = \mathbf{11,52 \text{ Hz}}$$

$$BPFI = 8/2 \times 3,6 \times (1 + 0,2) = \mathbf{17,28 \text{ Hz}}$$

$$BSF = 3,6/2 \times 37/8 \times (1 - (0,2)^2) = \mathbf{7,99 \text{ Hz}}$$

$$FTF = 3,6/2 - 3,6/2 \times (0,2) = \mathbf{1,44 \text{ Hz}}$$

##### 2. ložisko - INA 95 L06 F-217843.03

$$BPFO = 18/2 \times 1,02 \times (1 - 5/28 \times \cos 0) = \mathbf{7,54 \text{ Hz}}$$

$$BPFI = 18/2 \times 1,02 \times (1 + 5/28 \times \cos 0) = \mathbf{10,82 \text{ Hz}}$$

$$BSF = 1,02/2 \times 28/5 \times (1 - (5/28 \times \cos 0)^2) = \mathbf{2,76 \text{ Hz}}$$

$$FTF = 1,02/2 - 1,02/2 \times (5/28 \times \cos 0) = \mathbf{0,42 \text{ Hz}}$$

#### Převodovka B

##### 1. ložisko - KOYO HG.50 TJ-600-099-1

$$BPFO = 22/2 \times 5,38 \times (1 - 3/28 \times \cos 0) = \mathbf{52,84 \text{ Hz}}$$

$$BPFI = 22/2 \times 5,38 \times (1 + 3/28 \times \cos 0) = \mathbf{65,52 \text{ Hz}}$$

$$BSF = 5,38/2 \times 28/3 \times (1 - (3/28 \times \cos 0)^2) = \mathbf{24,82 \text{ Hz}}$$

$$FTF = 5,38/2 - 5,38/2 \times (3/28 \times \cos 0) = \mathbf{2,40 \text{ Hz}}$$

##### 2. ložisko - KOYO HF.50 TJ-600-099-1

$$BPFO = 21/2 \times 1,59 \times (1 - 3/26 \times \cos 0) = \mathbf{14,77 \text{ Hz}}$$

$$BPFI = 21/2 \times 1,59 \times (1 + 3/26 \times \cos 0) = \mathbf{18,62 \text{ Hz}}$$

$$BSF = 1,59/2 \times 26/3 \times (1 - (3/26 \times \cos 0)^2) = \mathbf{6,80 \text{ Hz}}$$

$$FTF = 1,59/2 - 1,59/2 \times (3/26 \times \cos 0) = \mathbf{0,70 \text{ Hz}}$$

### 3.4 Excelovský formulář

Na základě těchto výpočtů jsem vytvořil excelovský formulář pro výpočet frekvencí ložisek a hlavních zubových frekvencí planetových převodovek, viz Příloha č. 4.

---

<sup>7</sup> Vehicle gearbox noise and vibration: measurement, signal analysis, signal processing and noise reduction measures. 1. Chichester, England: Wiley, 2014, s. 81. Automotive series (Wiley). ISBN 978-1-118-79761-7.



## Závěr

V první části této bakalářské práce jsem navrhl montážní přírubu pro převodovky koncernu VW, pro tuto přírubu jsem také stručně popsal technologický postup její výroby. Sepsal jsem montážní návod pro upevnění této příruby na zkušební stav a následné uchycení převodovky na tuto přírubu.

V druhé části jsem navrhl přírubu pro uchycení planetových převodovek a přírubu pro spojení vstupní hřídele převodovky s hnací kloubovou hřídelí.

Ve třetí části jsem pro tyto planetové převodovky vypočetl hlavní zubové frekvence a frekvence ložisek.

V příloze jsou k dispozici výrobní výkresy pro navržené součásti a pro úpravu stávající pevné příruby zkušebního stavu, model ve formátu IGES pro vypálení laserem a excelovský formulář pro výpočet frekvencí ložisek a hlavních zubových frekvencí planetových převodovek, který je použitelný i pro modifikace převodovek.

## Seznam zdrojů

### Knižní zdroje

[1] The Gear Analysis Handbook. TAYLOR, James I. The Gear Analysis Handbook: A Practical Guide for Solving Vibration Problems in Gears. Tampa, FL: VCI, c2000, s. 113-114. ISBN 0964051710.

[2] Vehicle gearbox noise and vibration: measurement, signal analysis, signal processing and noise reduction measures. 1. Chichester, England: Wiley, 2014, s. 81. Automotive series (Wiley). ISBN 978-1-118-79761-7.

### Elektronické zdroje

[3] Jakosti ocelí. Feromat [online]. Brno: Feromat Brno, c2010 [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)

[4] ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění. In: Ústav strojírenské technologie: ODBOR TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ [online]. Brno: VUT Brno, c2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

[5] Černění (brynýrování) železa. In: Galvanika Fiala [online]. Praha: Galvanika Fiala, c2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.galvanika.cz/cerneni-brynyrovani-oceli.html>

[6] Utahovací kroutící momenty. Briol: Spojovací materiály [online]. Čistá: Briol, c2013 [cit. 2016-06-17]. Dostupné z: <http://www.briol.cz/utahovaci-kroutici-momenty>

[7] ČSN 11373: nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce. CZ Ferro - Steel [online]. Napajedla: CZ Ferro - Steel [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/profil1-11373.pdf>

[8] Obrázek setrvačnicku [online]. 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://forum.skodahome.cz/topic/136218-obr%C3%A1zek-setrva%C4%8Dn%C3%ADku/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Příruba MQ100/MQ200.....	6
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 2 – Výpalek (Příloha č. 6).....	8
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 3 - Popis frézování příruby MQ100/MQ200, pohled na levé čelo (vlevo) a pravé čelo (vpravo). ....	8
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 4 - Vložení středících pouzder.....	10
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 5 - Dosedací plocha (A) zvýrazněna zeleně a dosedací plocha (B) zvýrazněna červeně.....	10
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 6 - Pevná příruba zkušebního stavu před nasazením příruby MQ100/MQ200 (vlevo) a po nasazení (vpravo) .....	10
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 7 - Díry pro upevnění, pro použití s převodovkou MQ100 (C) zvýrazněny zeleně a pro použití s MQ200 (D) zvýrazněny červeně.....	11
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 8 - Upevněná příruba MQ100/M200 na přírubě zkušebního stavu pro nasazení převodovky MQ100 (vlevo) a převodovky MQ200 (vpravo) .....	11
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 9 - Sestava setrvačnicku, spojky a přítlačného kotouče .....	12
Zdroj: Obrázek setrvačnicku [online]. 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <a href="http://forum.skodahome.cz/topic/136218-obr%C3%A1zek-setrva%C4%8Dn%C3%ADku/">http://forum.skodahome.cz/topic/136218-obr%C3%A1zek-setrva%C4%8Dn%C3%ADku/</a>	
Obrázek 10 - Popsání pozic šroubů pro upevnění převodovek.....	13
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 11 - Planetová převodovka A .....	14
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 12 - Planetová převodovka B .....	14
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 13 - Příruba pro planetové převodovky .....	14
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 14- Příruba pro kloubový hřídel .....	14
Zdroj: Vlastní obrázek	
Obrázek 15 - Schéma převodovek.....	15
Zdroj: Vlastní obrázek	

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Složení v % .....	7
Zdroj: ČSN 11373: nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce. CZ Ferro - Steel [online]. Napajedla: CZ Ferro - Steel [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: <a href="http://www.czferrosteel.cz/pdf/profily1-11373.pdf">http://www.czferrosteel.cz/pdf/profily1-11373.pdf</a>	
Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti .....	7
Zdroj: ČSN 11373: nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce. CZ Ferro - Steel [online]. Napajedla: CZ Ferro - Steel [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: <a href="http://www.czferrosteel.cz/pdf/profily1-11373.pdf">http://www.czferrosteel.cz/pdf/profily1-11373.pdf</a>	
Tabulka 3 - Počty zubů .....	15
Zdroj: Vlastní tabulka	
Tabulka 4 - Rozměry ložisek .....	21
Zdroj: Vlastní tabulka	
Tabulka 5 - Frekvence otáčení (hodnoty získané při výpočtu hlavních zubových frekvencí) .....	21
Zdroj: Vlastní tabulka	

## Seznam příloh

Příloha 1 – Výrobní výkres příruby MQ100/MQ200

Příloha 2 – Výrobní výkres příruby pro planetové převodovky

Příloha 3 – Výrobní výkres příruby pro kloubový hřídel

Příloha 4 – Excelovský formulář pro výpočet frekvencí ložisek a hlavních zubových frekvencí planetových převodovek

Příloha 5 – Výrobní výkres pevné příruby zkušebního stavu

Příloha 6 – Model výpalku ve formátech dxf a dwg