



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Autor práce: **Bc. Robert Fiedler**

Vedoucí práce: **Ing. Václav Tajzich, CSc.**

L. P. 2019

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fiedler** Jméno: **Robert** Osobní číslo: **408878**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Název diplomové práce anglicky:

Bearing Unit of Car Wheel Assembly

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte rešerši provedení kolové jednotky v různých koncepcích osobních automobilů s důrazem na konstrukci ložiskového uložení kola. Specifikujte funkční a konstrukční požadavky na řešenou ložiskovou jednotku vzhledem k návaznosti na další prvky kolové jednotky. Věnujte pozornost míře integrace ložiskového provedení s navazujícími díly (diskem kola, brzdovým kotoučem, prvky zavěšení), eventuálně s hnacím hřídelem kola. Sledujte možnosti využití ložiskové jednotky pro umístění čidel ovládacích systémů vozu. Vypracujte rámcový postup návrhu kolové jednotky obsahující i potřebné výpočtové algoritmy pro určení dimenze ložisek. Navrhněte způsob hodnocení únosnosti navrhovaných valivých ložisek v uspořádání kolové jednotky. Uvažujte standardní režimy jízdy a zatěžovací stavy. Zvažte funkční a konstrukční návaznosti na podvozkové a přenosové jednotky vozu i související ovládací systémy. Obecný postup upřesněte při návrhu ložiskových komponent pro kolové jednotky představitel zadaného segmentu vozidel s uvážením možného stupně integrace. Respektujte zástavbové možnosti v prostoru jednotky kola. Provedte studii demontáže a montáže ložiskové jednotky. Popište zvolený způsob seřízení, mazání a utěsnění ložiskových komponent. Zvažte vliv přesnosti výroby ložiskových dílů na funkci jednotky uložení. Při stanovení výsledné varianty využijte poznatky z obdobných aplikací. Zpracujte potřebnou dokumentaci výsledného řešení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Václav Tajzich, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **18.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce:

Ing. Václav Tajzich, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30. 4. 2019
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Anotace

Tato diplomová práce se věnuje valivým ložiskům; automobilovým, ložiskovým jednotkám a uložení kola u osobních automobilů.

V první části jsou představeny ložiskové jednotky, jejich rozdělení, specifika, konstrukční uspořádání, stejně tak, jako jejich mazání, těsnění, poruchy či montáž.

Obdobně jsou v první části popsány typy uložení a zavěšení kol v různých koncepcích osobních automobilů.

Druhá část práce se týká návrhu inovace blíže specifikovaného, stávajícího, konstrukčního řešení uložení kol u vybraného modelu automobilu. Je představena metodika návrhového výpočtu pro stanovené jízdní stavy a vytvořen univerzální program pro výpočet trvanlivosti ložisek. Detailně jsou popsány principy, výhody a nevýhody jednotlivých řešení a nutná konstrukční opatření. Vše je podloženo výkresovou dokumentací.

V závěrečné části je uvažován vliv přesnosti výroby ložiskových komponent na funkci a životnost ložiska. V této části byla provedena série měření určitých parametrů vybraných ložisek s důrazem na přesnost jejich výroby a bylo provedeno jejich vzájemné porovnání.

Annotation

This dissertation is devoted to rolling bearings; cars bearing units and wheel mounts on cars

In the first part, different bearing elements are introduced, along with their distribution, specification, construction layout and related lubrication, seal, defects or assembly.

Additionally, methods of mounting wheels in different car concepts are described.

The second part is focused on creating an innovation of current design solution of wheel mounts on selected cars. Methodology of design calculation is introduced for states of ride and a unique universal program was created for calculating the durability of bearing units. Principles, advantages and disadvantages of all solutions and necessary design action are described in detail. All explanations are supported by drawing documentation.

In the final part, the influence of production accuracy on bearing units function and durability is considered. In this section, a series of various parameters measurement of preselected bearing units with focus on the production accuracy were done and compared to one another.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Klíčová slova

Ložiska, ložiskové jednotky, kolová jednotka, uložení kola, nápravy

Keywords

Bearings, bearings unit, wheel unit, wheel bearing, axles

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci: Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení vypracoval samostatně za použití citovaných zdrojů a pod vedením vedoucího práce a externího konzultanta.

V Praze, v srpnu 2019

.....

Bc. Robert Fiedler

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu ing. Václavovi Tajzichovi, Csc. za rady, trpělivost a pomoc k mému počínání.

Velký dík patří také panu ing. Františku Kopřivovi ze společnosti Škoda Auto a.s. za odbornou pomoc a spolupráci na půdě společnosti, které rovněž děkuji.

Dále bych rád poděkoval všem, kteří se radou, spoluprací či umožněním využít potřebná zařízení podíleli na vzniku této práce – za společnost Škoda Auto a.s.: panu Miloši Bišickému, panu Václavovi Šimonovi, panu ing. Tomáši Vránovi, Ph.d., panu Josefu Blechovi; dále pak panu Martinovi Chodounskému ze společnosti Schaffler - FAG, panu Janu Zavrtálkovi ze společnosti SKF, panu Petru Krausovi ze společnosti Carl Zeiss a panu Jiřímu Šebkovi, majiteli autoservisu Auto Šebek.

V neposlední řadě děkuji všem svým učitelům, rodičům a kamarádům, bez kterých bych to vzdal.

1 Obsah

2	Seznam veličin, zkratk a pojmů	11
3	Ložiska a ložiskové jednotky	13
3.1	Ložiska v automobilovém průmyslu	14
3.1.1	Ložiskové jednotky 1. generace.....	15
3.1.2	Ložiskové jednotky 2. generace.....	16
3.1.3	Ložiskové jednotky 3. generace.....	19
3.1.4	Speciální kolové jednotky	21
3.2	Montáž a seřízení ložiskových jednotek.....	23
3.3	Mazání valivých ložisek	23
3.3.1	Plastická maziva.....	24
3.3.2	Mazání olejem.....	24
3.4	Těsnění valivých ložisek.....	24
3.5	Poruchy a poškození ložisek	25
3.5.1	Pitting – odloupávání povrchu.....	25
3.5.2	Trhliny a lomy	27
3.5.3	Prohlubeniny a otlaky	27
3.5.4	Odírání.....	28
3.5.5	Koroze	28
3.5.6	Poškození klece.....	29
3.6	Přílehlé a integrované součásti ložiskových jednotek	29
3.6.1	Kolo a brzdový kotouč	29
3.6.2	Snímače otáček	30
3.7	Metodika obecných výpočtů ložisek	34
3.7.1	Obecný výpočet trvanlivosti ložiska dle metodiky SKF	35
3.7.2	Výpočet trvanlivosti ložiska při kombinovaném zatížení	36
4	Koncepce uložení kola v automobilech.....	37
4.1	Typy náprav a provedení uložení kola v automobilech.....	37
4.1.1	Závislé zavěšení kol	38
4.1.2	Nezávislé zavěšení kol	38
5	Návrh inovace uložení kola osobního automobilu (Škoda Octavia).....	65

5.1	Zadní kolo.....	65
5.1.1	Zadní kolo – popis principu inovace	65
5.1.2	Zadní nehnaná náprava – komplexní metodika výpočtu – obecné pro původní i nové řešení.....	68
5.1.3	Vyhodnocení výsledků inovace – zadní kolo	97
5.1.4	Porovnání ložiskové jednotky 2. a 3. generace	103
5.2	Přední kolo.....	110
5.2.1	Přední kolo – popis principu inovace	110
5.2.2	Přední hnaná náprava – komplexní metodika výpočtu – obecné pro původní i nové řešení	112
5.2.3	Vyhodnocení výsledků inovace – přední kolo	149
6	Srovnávací měření vybraných automobilových ložisek	155
6.1	Měření na počítačové tomografii (CT)	155
6.2	Měření drsnosti	157
6.3	Měření kruhovitosti.....	158
6.4	Měření harmonické analýzy	159
6.5	Vyhodnocení měření	161
7	Závěr	163
8	Seznamy	165
8.1	Seznam použité literatury.....	165
8.2	Seznam obrázků.....	169
8.3	Seznam příloh	174
9	Přílohy.....	175
9.1	Příloha 5 - Hodnoty výpočtů zadní nápravy – původního a nového řešení	175
9.1.1	Vstupní a vypočtené údaje – zadní kolo původní řešení	175
9.1.2	Vstupní a vypočtené údaje – zadní kolo - nové řešení	181
9.2	Příloha 6 - Hodnoty výpočtů přední nápravy – původního a nového řešení.....	187
9.2.1	Vstupní a vypočtené údaje – původní řešení	187
9.2.2	Vstupní a vypočtené údaje – nové řešení.....	197
9.3	Příloha 7 – protokoly měření drsnosti.....	205
9.3.1	A	205
9.3.2	B	206
9.3.3	C	207

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

9.3.4	D.....	208
9.3.5	E.....	209
9.4	Příloha 8 – protokoly měření kruhovitosti	210
9.4.1	A.....	210
9.4.2	B.....	211
9.4.3	C.....	212
9.4.4	D.....	213
9.4.5	E.....	214
9.5	Příloha 9 – protokoly měření harmonické analýzy	215
9.5.1	A.....	215
9.5.2	B.....	216
9.5.3	C.....	217
9.5.4	D.....	218
9.5.5	E.....	219
9.6	Příloha 10 - Obrázky CAD sestav	220
9.6.1	Celkové pohledy	220
9.6.2	Řez zadní, původní.....	222
9.6.3	Řez zadní návrh	223
9.6.4	Řez přední, původní	224
9.6.5	Řez pření návrh.....	225
9.7	Příloha 11 - Obrázky rozmontovaných ložisek pro měření	226
9.8	Příloha 12 – Parametry vozu Škoda Octavia	230
9.8.1	Škoda Octavia 3 – zážehové motory	230
9.8.2	Škoda Octavia 3 Combi – zážehové motory	231
9.8.3	Škoda Octavia 3 – vznětové motory	232
9.8.4	Škoda Octavia 3 Combi – vznětové motory	233
9.8.5	Poloha těžiště	234

2 Seznam veličin, zkratek a pojmů

Metodika značení:

1₂₃₄ např.: F_{api}

1 – Veličina: např. síla, moment, vzdálenost

2 – typ, respektive směr – osa x, y, z; a – axiální, r – radiální

3 – pozice: p – přední, z - zadní

4 – upřesněná pozice: e – vnější kroužek, i – vnitřní kroužek

<u>Značka</u>	<u>Popis</u>	<u>Jednotka</u>
F_z	Svislá celková síla od tíhy vozu, v ose z	[N]
F_{zz}	síla v ose z na zadní nápravu	[N]
F_{zp}	síla v ose z na přední nápravu	[N]
L_p	vzdálenost přední nápravy od těžiště	[m]
L_z	vzdálenost zadní nápravy od těžiště	[m]
F_o	Odstředivá síla celého vozu	[N]
F_{xp}	Tangenciální síla od pohonu na přední nápravu	[N]
F_r	Radiální síla na dané ložisko	[N]
kr	Dynamický součinitel v ose z	[-]
ka	Dynamický součinitel v ose y	[-]
kp	Dynamický součinitel od pohonu	[-]
o_f	součinitel valivého odporu	[-]
F_{ap}	Axiální síla na přední nápravu	[N]
F_{az}	Axiální síla na zadní nápravu	[N]
rd	dynamický poloměr pneumatiky	[m]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

R_a	Radiální reakční síla od klopného momentu na kolo od zatačení	[N]
ρ	hustota vzduchu	[kgm ⁻³]
c_x	součinitel odporu vzduchu	[-]
S_x	průřez vozidla kolmý na směr pohybu	[m ²]
v	rychlost vozidla	[ms ⁻¹]
h	výška těžiště vozidla	[m]
t	rozchod kol	[m]
g	tíhové zrychlení	[ms ⁻²]
R	poloměr zatáčky	[m]
O	Obvod kola automobilu	[m]
f_x	součinitel adheze ve směru x	[-]
v	Vzdálenost zatěžující síly a osy ložiska	[m]
a	vzdálenost mezi působišti ložisek kola	[m]
b	vzdálenost mezi zatěžující silou a působištem vnějšího ložiska	[m]
ε_i	součinitel zastoupení zátěžného cyklu z celkové životnosti (procentuální podíl kilometrového proběhu)	[-]
L_{10}	základní trvanlivost ložiska	[mil. otáček]
C	základní dynamická únosnost ložiska	[kN]
P	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[kN]
L_{10km}	Základní trvanlivost ložiska v přepočtu na ujeté kilometry	[km]
e	výpočtový součinitel ložiska	[-]
Y	součinitel axiálního zatížení ložiska	[-]
C'	dynamická únosnost ložiskové jednotky	[kN]
C_0'	statická únosnost ložiskové jednotky	[kN]
C_0	základní statická únosnost	[kN]
s_0	statická bezpečnost	[-]
P_0	ekvivalentní statické zatížení ložiska	[kN]
Y_0	součinitel axiálního zatížení ložiska	[-]
p	exponent rovnice trvanlivosti, pro kuličková ložiska	[-]

3 Ložiska a ložiskové jednotky

Ložiska mají v dnešní době nezastupitelný význam a jejich vývoj zaznamenal strmý růst. Rozlišujeme celou řadu typů a druhů ložisek, zde je jejich stručné rozdělení:

Podle způsobu kontaktu navzájem se pohybujících elementů:

- Kluzná
- Valivá

Podle tvaru styku:

- S bodovým stykem
- S čárovým stykem
- S plošným stykem
- S kosoúhlým stykem

Podle směru hlavního zachytávaného zatížení:

- radiální
- axiální
- kombinovaná
- momentová

Podle počtu řad valivých elementů:

- jednořadá
- dvouřadá
- víceřadá

Podle možnosti naklápění:

- pevná
- naklápěcí

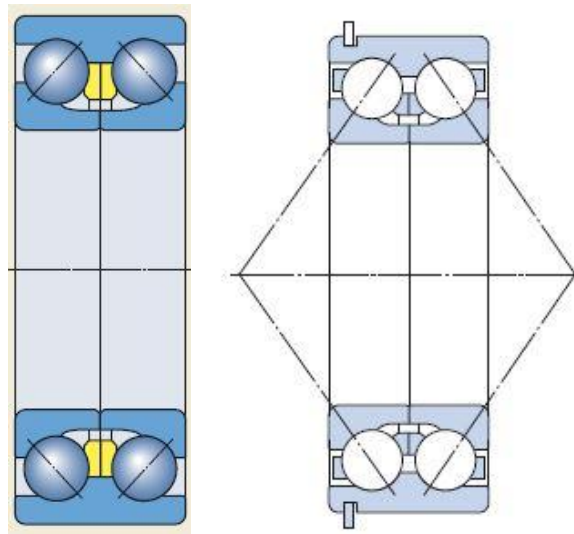
Podle tvaru valivých elementů:

- kuličková
- válečková
- jehlová

[2]

3.1 Ložiska v automobilovém průmyslu

V moderní éře automobilismu se používají téměř výhradně dvouřadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem, který umožňuje seřízení ložiska. Ložiska jsou s permanentním mazivem. Vývoj ložisek osobních automobilů se však od tohoto elementárního základu značně posunul a vznikl tak termín integrovaných ložiskových jednotek a jejich generace.



Obrázek 1 Dvouřadá kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem

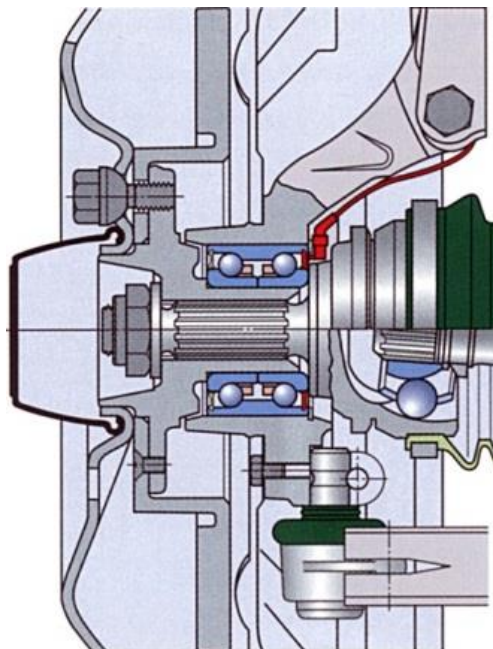
[3]



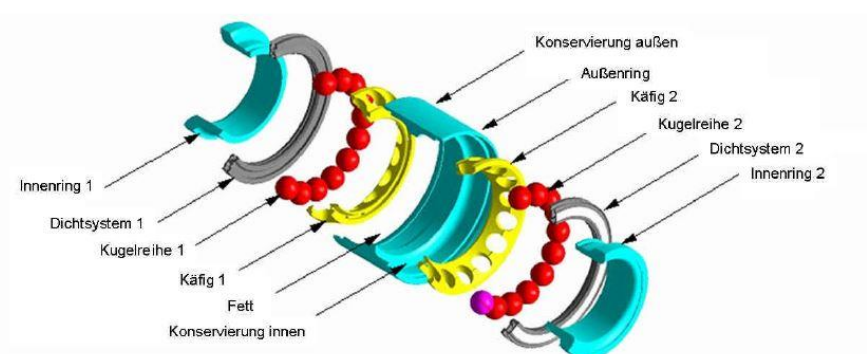
Obrázek 2 Dvouřadá kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem [11]

3.1.1 Ložiskové jednotky 1. generace

Ložisková jednotka první generace je více méně již zmíněné dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem. Implementuje těsnící kroužky tak, aby mazivo neunikalo ven a ložisko bylo bezúdržbové pro celou dobu životnosti. V provedeních první generace bývá obvykle integrován magnetický kroužek pro snímač ABS a měření otáček. Na obrázku 3 je schéma uložení kola s využitím ložiskové jednotky první generace. V případě uložení hnaného kola je na vnější kroužek ložiska nalisována těhlice nápravy a vnitřní kroužek je nasazen na náboj kola s vnitřním drážkováním. Náboj kola je axiálně zajištěn maticí s hnacím hřídelem. Magnetický kroužek upevněný na vnitřním kroužku ložiska je na schématu spolu se snímačem otáček zvýrazněn červenou barvou.



Obrázek 3 Schéma uložení kola s jednotkou 1. generace [15]



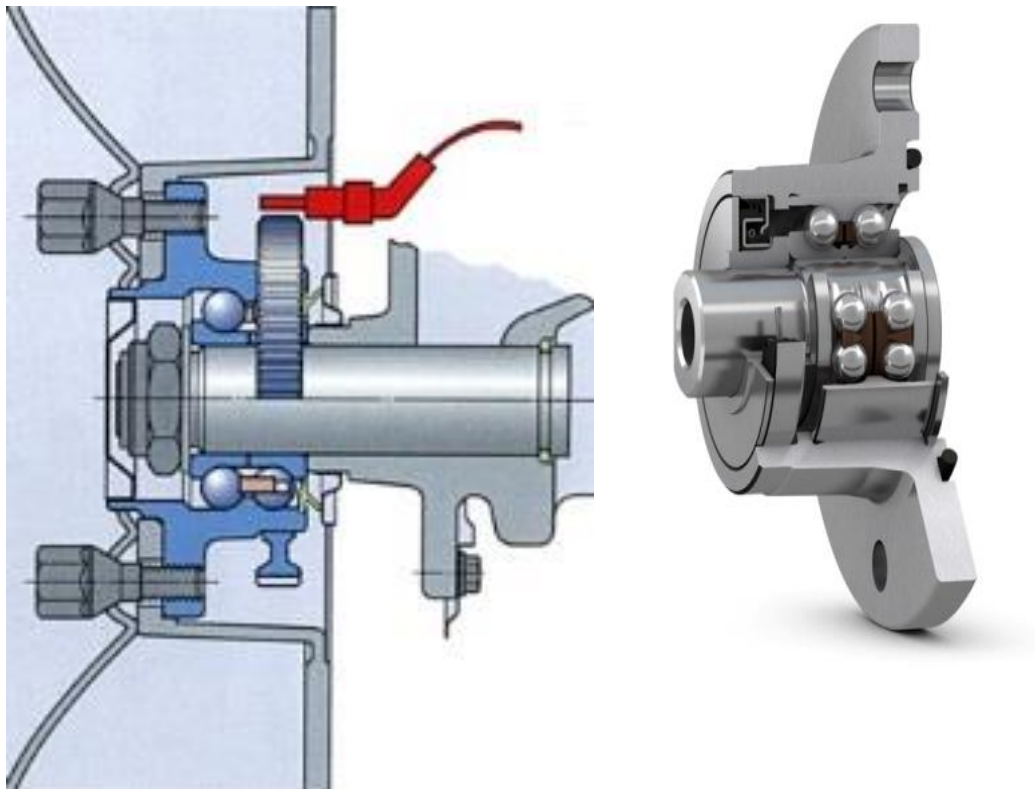
Obrázek 4 Schéma rozložené jednotky [16]

3.1.2 Ložiskové jednotky 2. generace

Toto konstrukční řešení ložiskové jednotky integruje přírubu pro upevnění brzdového kotouče a kola automobilu. Příruba může být jak na vnitřním, tak na vnějším kroužku a obsahuje díry se závity pro upevnění příslušných elementů.

Jednotka opět vychází z dvouřadého kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem, má tedy dvě řady kuliček pro kosoúhlý styk a dělený vnitřní kroužek, který bývá řešen různými konstrukčními provedeními - viz dále.

Pokud je příruba součástí vnějšího kroužku, jedná se o řešení pro nehnaná kola. Vnitřní kroužek je pak buď nalisován, nebo nasunut na čep těhlice nápravy a axiálně zajištěn. Kolo připevněné k přírubě vnějšího kroužku se tak volně otáčí vůči čepu těhlice.



Obrázek 5 Ložisková jednotka 2. Generace pro nehnanou nápravu

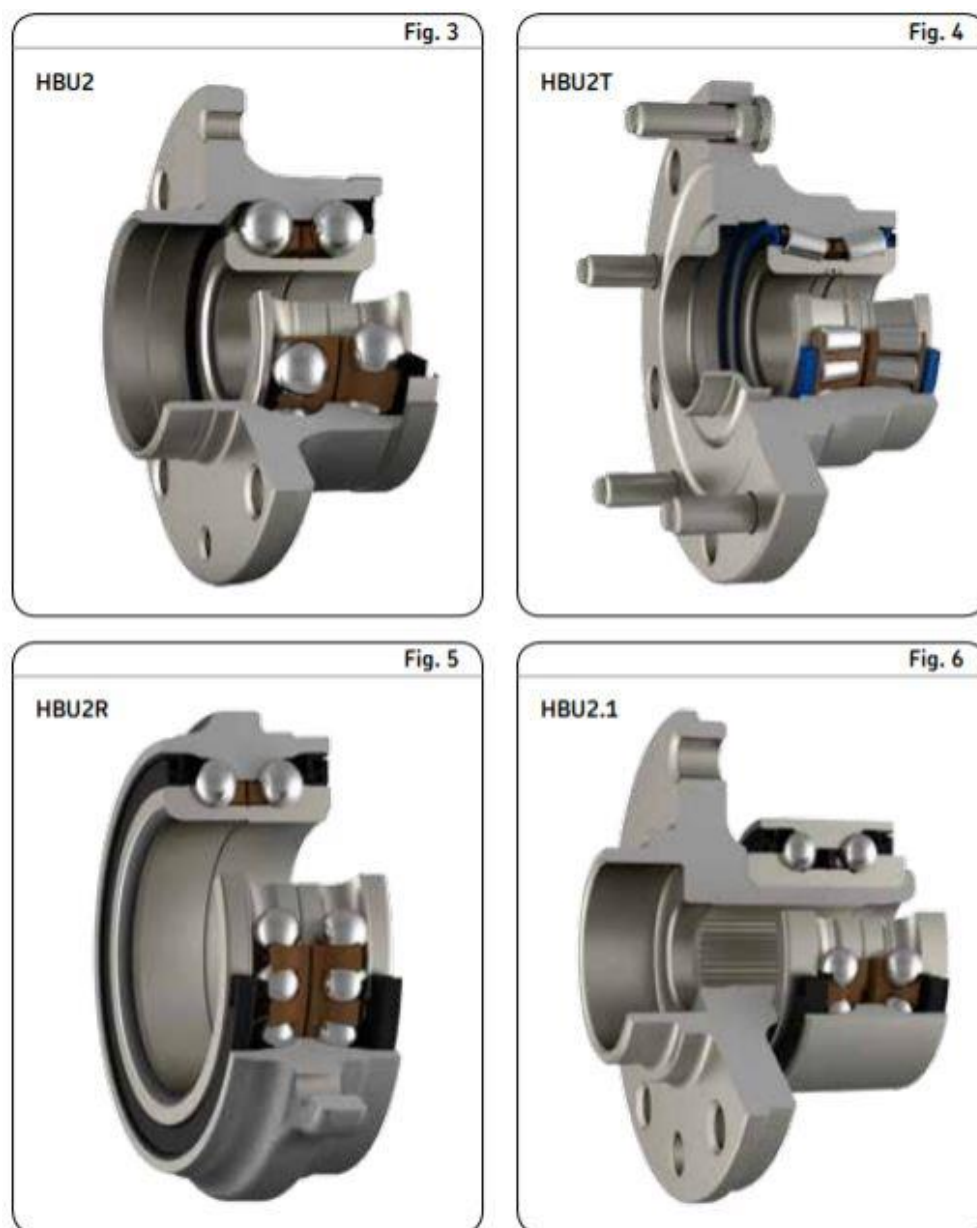
[15]

Je-li příruba integrovaná na vnitřní kroužek ložiska, slouží tím obvykle jako náboj kola pro hnané nápravy, který je vybaven vnitřním drážkováním pro přenos krouticího momentu od hnacího hřídele a pohání tak kolo, připevněné k přírubě náboje, alias vnitřního kroužku. Na kroužek vnější je potom nalisována těhlice nápravy.

Jednotky jsou dodávány seřízené, namazané mazivem a utěsněné tak, aby byly bezúdržbové po celou dobu životnosti

Tyto jednotky mohou mít opět integrovaný magnetický kroužek a snímač otáček, anebo jak je vidět na Obrázek 5 integrované ozubené kolečko, pro snímání otáček. Dnes však stále více převládají řešení s magnetickým kroužkem.

Výrobci vyvinuli, celou řadu modifikací tohoto provedení uložení kola, v následujících schématech je stručně představení konstrukčních řešení.



Obrázek 6 Typy jednotek druhé generace od společnosti SKF

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

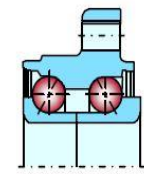
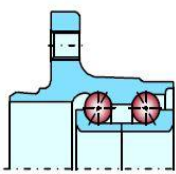
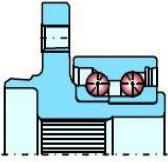
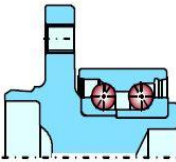
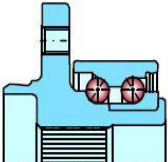
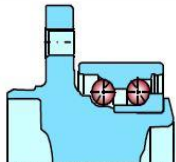
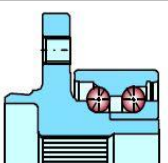
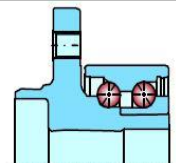
Společnost SKF vyvinula celou řadu těchto ložiskových jednotek druhé generace, označovaná HBU 2 v dalších modifikacích. Na Obrázek 6 jsou vidět 4 nejnázornější z nich.

HBU 2 a HBU 2T jsou klasické jednotky pro nepoháněná kola s přírubou na vnějším kroužku. HBU 2T má oproti HBU 2 kuželíkové valivé elementy. Toto provedení se dnes v odvětví osobních automobilů příliš nepoužívá, najdeme je spíše u nákladních vozů.

HBU 2R je zajímavá tím, že středová rovina příruby na vnějším kroužku leží přesně mezi jednotlivými řadami oběžných elementů.

HBU 2.1 je příklad jednotky pro poháněnou nápravu s vnitřním kroužkem, coby nábojem kola s přírubou a vnitřním drážkováním.

Obdobně najdeme celou škálu provedení a zajímavých řešení kolových jednotek druhé generace u společnosti FAG:

	GEN 2 I	GEN 2 A	
	GEN 2.1 WD	GEN 2.1 W	
	GEN 2 EWD	GEN 2 EW	
	GEN 2 ED	GEN 2 E	

Obrázek 7 Typy jednotek druhé generace od společnosti FAG

[16]

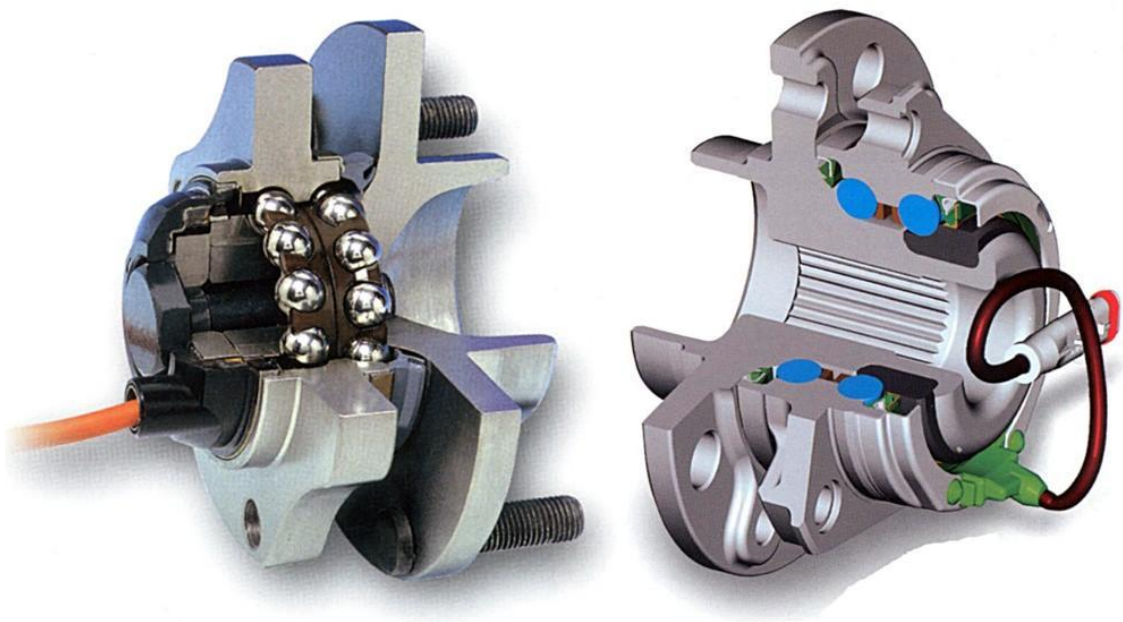
Tyto jednotky nabízejí různé modifikace pro hnaná i nehnaná kola. Liší se provedením dělených vnitřních kroužků. Zatímco řady 2 a 2.1 jsou založeny na bázi dvou vnitřních kroužků, u řad E tvoří náboj kola jednu z oběžných drah na vnitřním kroužku a druhý vnitřní kroužek je vložený. Tyto nuance mají vliv na seřízení ložiska a jeho aplikaci.

Zajímavým řešením jsou modely 2.1W, 2 EW a 2E, které nejsou průchozí středem a na vnitřní straně mají přírubu pro axiální zajištění vnitřního kroužku. Vnitřní kroužek má integrovanou přírubu pro uložení kola, což se běžně využívá pro hnané nápravy, zde se však o uložení pro hnanou nápravu nejedná, náboj kola je nehnaný a těhlice je nalisovaná na vnější kroužek ložiska.

Ložiskové jednotky 2. generace se dnes v největší míře u osobních automobilů používají pro nehnané nápravy. Vede k tomu nižší cena než cena 3. generací a přitom již dostatečná míra integrace.

3.1.3 Ložiskové jednotky 3. generace

Na rozdíl od předchozí generace má tato integrovanou jak přírubu pro připevnění kola a brzdného kotouče, tak i přírubu pro připevnění k těhlici nápravy. Vzhledem k tomu, že se jednotky 3. generace používají především u hnaných kol (není to však pravidlem), bývá nejčastěji vnitřní kroužek ložiska opatřen přírubou pro uchycení kola a brzdového disku a má vnitřní drážkování, zatímco vnější kroužek integruje přírubu pro přichycení na nápravu.



Obrázek 8 Ložiskové jednotky 3. generace – pro nehnané a hnané kolo

[15]

Tyto jednotky jsou již velmi komplexní. Mají zabudovaný magnetický kroužek pro měření otáček, jsou plně seřízené a umožňují snadné namontování i vymontování bez dalších montážních operací. Šetří montážní čas i zástavbový prostor. Obecně lze říci, že představují

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

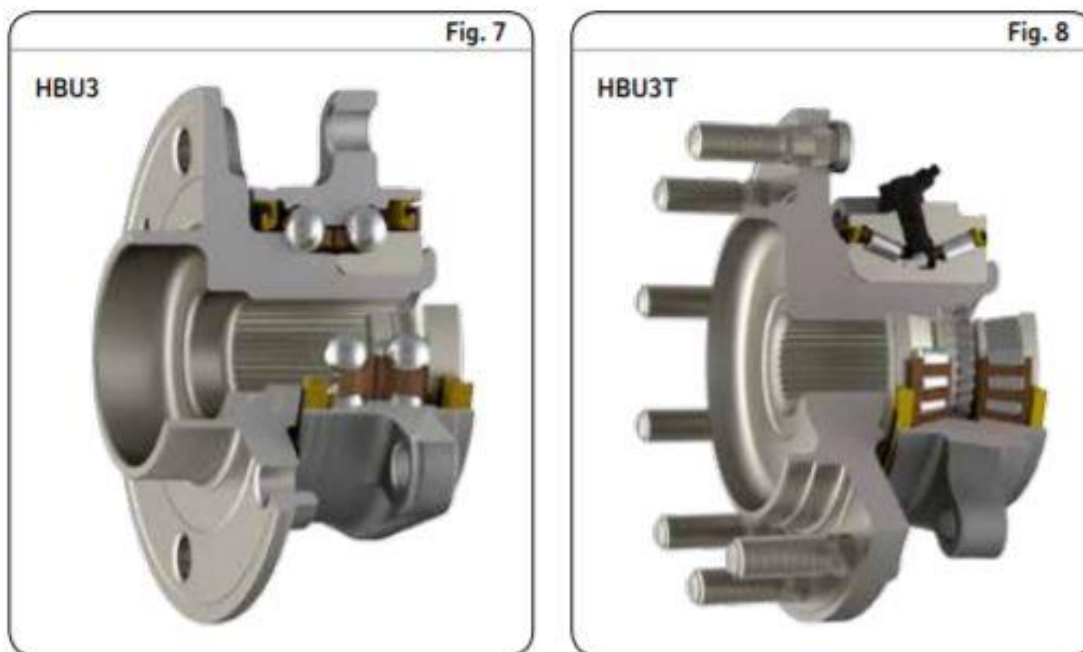
určité zjednodušení konstrukce kolové jednotky a často i její hmotnosti, což snižuje hmotnost neodpružených hmot.

S rostoucí mírou integrace však dochází i k nevýhodám. Čím vyšší generace jednotky, tím je vyšší i její cena. Zásadní nevýhodou pak je nutnost výměny celé jednotky v případě poruchy.

Na Obrázek 8 je znázorněno připojení snímače pro měření otáček, který snímá otáčky kola na základě otáček magnetického kroužku umístěného na vnitřním kroužku ložiskové jednotky.

I jednotky třetí generace mají variabilní konstrukční řešení, která výrobci vyvinuli.

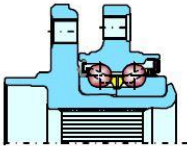
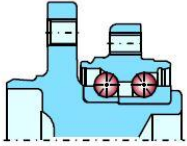
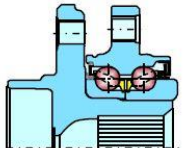
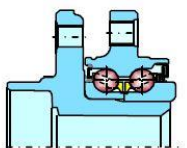
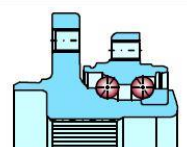
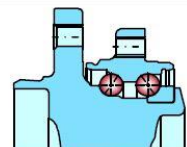
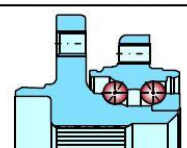
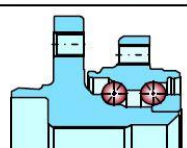
Většinou jsou zásadní rozdíly mezi uloženými hnanými a hnacími koly, jak je vidět na dvou provedeních od firmy SKF – viz Obrázek 8. Ta zároveň představila jednotky 3. generace v kuličkovém i kuželíkovém provedení - Obrázek 9.



Obrázek 9 Ložiskové jednotky 3. Generace od firmy SKF

[17]

Mnoho variabilit představila společnost FAG:

	GEN 3.2 WD	GEN 3.2 W	
	GEN 3.2 D	GEN 3.2	
	GEN 3 EWD	GEN 3 EW	
	GEN 3 ED	GEN 3 E	

Obrázek 10 Ložiskové jednotky 3. generace od firmy FAG [16]

Zjednodušeně lze říci, že jednotky 3. generace mají vždy přírubu pro uchycení kola na vnitřním kroužku, zatímco příruba na vnějším kroužku slouží pro připevnění k těhlici. Náboj kola může a nemusí mít drážkování. Další rozdíly pak spočívají v konstrukci dělení vnitřních kroužků.

3.1.4 Speciální kolové jednotky

V současnosti se začínají v automobilovém průmyslu objevovat i jednotky vyšších generací než jen třetí, i když jejich výskyt je spíše ojedinělý. Tyto jednotky integrují především elektronické snímače nejrůznějších funkcí.

Ložisková jednotka 4. generace integruje pro připojení hnacího hřídele stejnoběžný kloub. Ložisková jednotka 5. generace integruje brzdový buben a jednotka 6. generace brzdový kotouč. [38]

Moderní jednotky zároveň integrují různé elektronické snímače. [16]

Společnost FAG, také vyvinula speciální ložiskovou jednotku 3. Generace, která neobsahuje vnitřní drážkování, nýbrž drážkování čelní. Výhodou je vyšší únosnost a přenos krouticího momentu a výkonu, nižší hmotnost či zástavba a jednodušší montáž, což kladně přispívá ke snížení emisí. [39]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

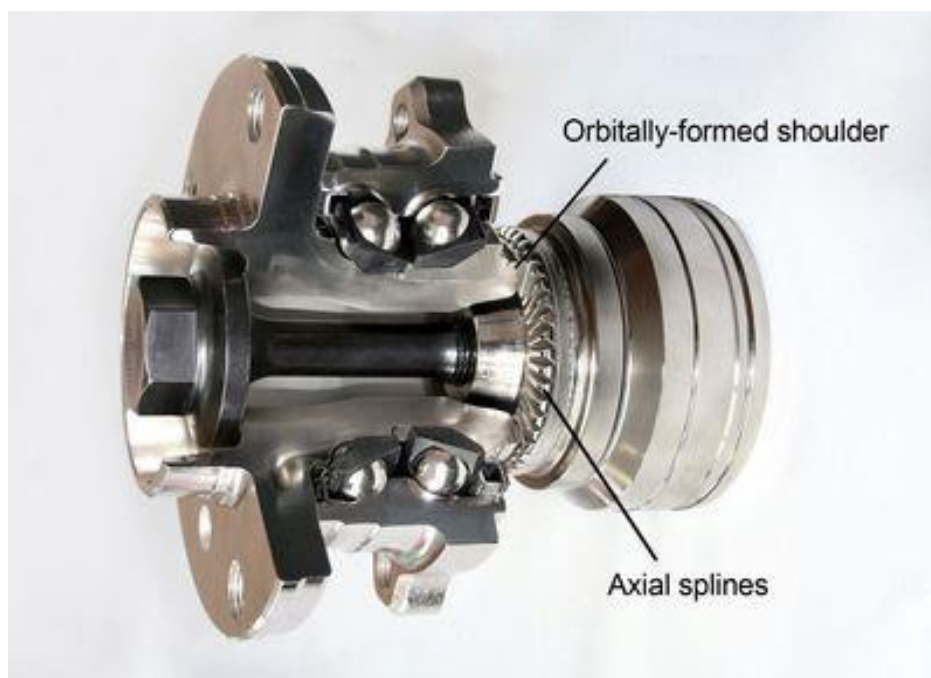
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 11 Ložisková jednotka FAG s čelním drážkováním

[39]



Obrázek 12 Ložisková jednotka FAG s čelním drážkováním a připojeným kloubovým hřídelem [39]

3.2 Montáž a seřízení ložiskových jednotek

Seřízení ložiska má vliv na velikost jeho vůle či předpětí. V automobilovém průmyslu se u kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem sleduje předpětí a vůle především v axiálním směru. Obecně se z hlediska provozu považuje za nejlepší, aby vůle i předpětí byly nulové, v praxi se však s ohledem na snížení hluku, zvýšení tuhosti či dosažení vyšší trvanlivosti používají ložiska předepjatá. [43]

S rostoucí vůlí klesá trvanlivost ložiska vlivem nerovnoměrného zatížení valivých elementů. Při určitém (malém) předpětí trvanlivost vzroste, s dále se zvětšujícím předpětím však začne znatelně klesat. Proto je ideální seřídit ložisko na konkrétní předpětí. [43]

V tomto ohledu mají svůj zásadní význam ložiskové jednotky, které jsou již výrobcem seřízené a navrženy tak, aby jejich seřízení bylo během provozu optimální. Na předpětí či vůli mají totiž vliv i teplota jednotlivých komponent a objemová roztažnost materiálů. [43]

Montáž samotných ložiskových jednotek patří mezi utajované know-how výrobců. Ti v praxi používají celou řadu metod, jakými kompletovat ložiskové jednotky. Používají se řešení na bázi teplotní roztažnosti prvků v závislosti na teplotě. Někteří výrobci využívají systém plnicích otvorů v tělech jednotek, kterými ložiska „naplní“ kuličkami a otvory poté uzavřou materiálem.

[4]

3.3 Mazání valivých ložisek

Mazání ložisek má zásadní význam pro jejich funkci i životnost. Bylo prokázáno, že trvanlivost ložiska je přímo úměrná tloušťce mazací vrstvy mezi valivým elementem a kroužky. [7]

Volba maziva závisí na velikosti ložiska, jeho otáčkách, zatížení, teplotě a také na požadované účinnosti, která hraje značný význam právě u ložisek v automobilovém průmyslu.

[7]

Mazací tuky rovněž slouží jako ochrana proti korozi a vnikání nečistot. [43]

3.3.1 Plastická maziva

Pokud to okolnosti dovolí, používá se především tento typ maziva. Plastické mazivo nevyžaduje takové nároky na těsnění a i konstrukce ložiska pro mazání plastickými mazivy je jednodušší.

Je třeba, aby maziva byla plasticky stálá, nehnětla se, nepodléhala změnám teploty a jejím účinkům a neměla by jim vadit příměs vody.

Spotřeba maziva u valivých ložisek je poměrně malá, jeho výměna proto nebývá častější než pravidelné revize stroje. Automobilové ložiskové jednotky pak obsahují mazací směs na celou dobu jejich životnosti.

[7]

3.3.2 Mazání olejem

Mazání oleji se používá, pokud z nějakého důvodu nevyhovuje mazání plastickými mazivy, například je příliš vysoká provozní teplota, otáčky jsou tak vysoké, že plastické mazivo nedokáže povrchy patřičně promazat nebo z ekonomických důvodů. [7]

Jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu olejů, které nesmí podléhat oksidaci, musí mít dostatečné protikorozní účinky a viskozita olejů musí odpovídat provozním parametrům. [7]

Je také možné mazat ložiska vstřikováním směsi oleje a vzduchu což má své výhody v regulaci míry mazání. [7]

V automobilovém průmyslu se u kolových ložiskových jednotek mazání oleji dnes již nepoužívá.

3.4 Těsnění valivých ložisek

Aby mazivo během provozu neunikalo z prostoru ložiska, je třeba jej zajistit těsněním, tak aby únikem maziva neklesala životnost ložiska zvýšeným třením, vstupem cizích částic či nedošlo k poškození vnějších součástí uniklým mazivem. V současnosti se u ložiskových jednotek nejčastěji používá těsnění třecí – pryž mezi ložiskovými kroužky.

Existují ale i další druhy těsnění, jako bezkontaktní, či kombinované.

[43]

3.5 Poruchy a poškození ložisek

Mezi hlavní typy poškození a poruch patří zejména:

- Odolávání povrchu
- Trhliny a lomy
- Prohloubeniny a otlaky
- Odírání
- Tvoření rýh a kráterů
- Opotřebení
- Koroze
- Poškození klece

[7]

3.5.1 Pitting – odloupávání povrchu

Jelikož jsou ložiska cyklicky namáhána, dochází u jejich komponent k únavě materiálu. Dochází k vydrolování materiálu či vzniku trhlinek v povrchové vrstvě.

Poškození se vlivem provozu šíří z lokální na globální poruchu a projevuje se zvýšenou hlučností.

Pitting vzniká v místech se sníženou homogenitou materiálu. Pokud zatížení ložiska nepřekročí dovolené hodnoty, trvalé změny se začínají objevovat okolo doby předpokládané trvanlivosti, nejdříve jako bodové poruchy, které ovšem rychle houstnou a přecházejí v porušení celých ploch.

Na vznik pittingu má vliv přesnost výroby: vliv odchylek úložných ploch v tělese a na hřídeli (uložení ložiska), nesouosost ložiskových kroužků, tolerance čepu a díry v tělese, montáž a konstrukce uložení.

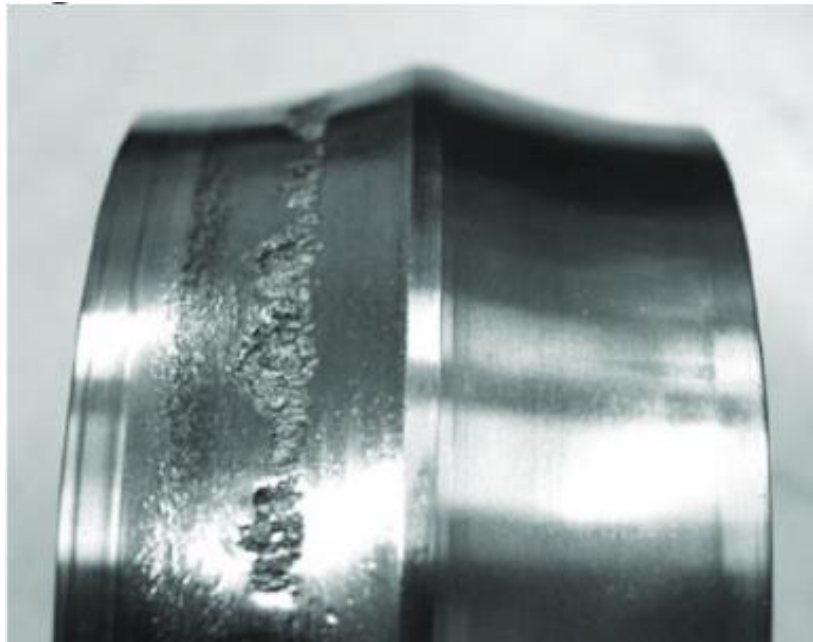
Při pittingu se vydrolené částičky ložiska pohybují mezi valivými elementy a jsou válčovány do oběžných drah, což umocňuje šíření poruchy.

[7]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 13 Pitting na vnitřním kroužku

[8]



Obrázek 14 Pitting na valivém elementu

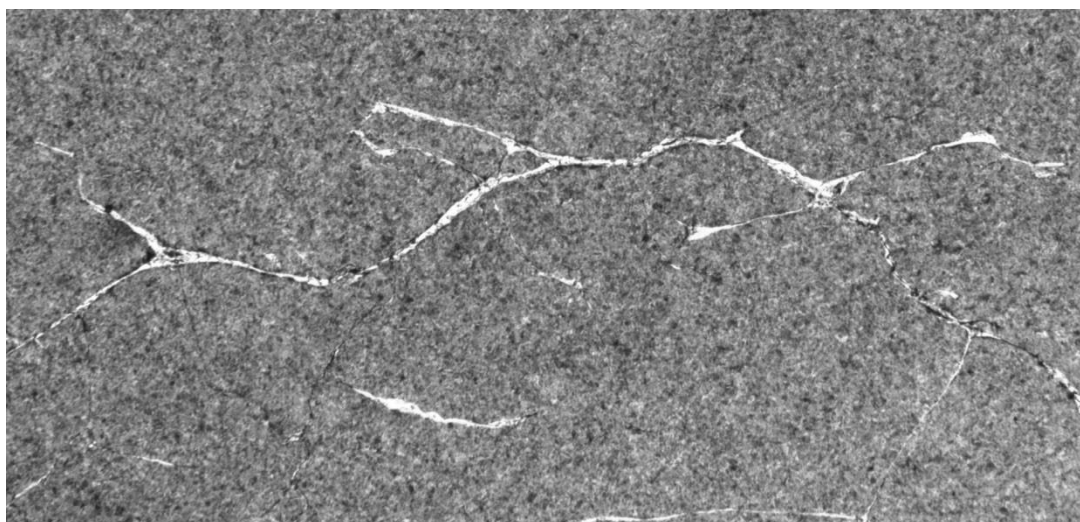
[9]

3.5.2 Trhliny a lomy

Mohou vznikat při přetížení ložiska, při výrobě nebo montáži. V extrémním přetížení může výjimečně nastat lom celého ložiska, další příčiny vzniku mohou být velké narážení vnitřního kroužku na kuželový čep, špatné - nedostatečné zajištění (podepření) jednoho z kroužků, broušení, nedokonalost materiálu, údery na ložisko při montáži.

Za provozu ložiska dochází k šíření trhlin a porušení roste.

[7]



Obrázek 15 Trhliny v ložisku

[12]

3.5.3 Prohlubeniny a otlaky

Mohou vzniknout převálcováním cizích elementů v ložisku nebo trvalými deformacemi způsobenými přetížením či údery při montáži. Otlaky mohou také vzniknout při nesprávné montáži, kdy jsou díly ložiska tvrdou silou vsunuty do sebe - poznají se podle pravidelné rozteče od valivých elementů.

Otlaky a prohlubeniny může také způsobovat chvění a vibrace a to jak za provozu, tak v klidu. Prohlubeniny a rýhy vznikají při transportech strojů s ložisky na vlacích, automobilech nebo lodích.

[7]

3.5.4 Odírání

Jedná se o počínající fázi zadření dvou navzájem po sobě klouzajících elementů. Může vzniknout prudkým zrychlením na provozní otáčky nebo nedostatečným zatížením při velmi vysokých otáčkách. Způsobit jej také může přibrždění valivého elementu tuhým mazivem.

[7]

3.5.5 Koroze

Způsobuje ji nejčastěji vlhkost, která vnikne do ložiska a způsobuje odloupávání funkčních ploch.

Další příčinou může být kondenzace vodních par na plochách ložiska, při jeho ochlazení.

Tento negativní vliv může působit i na ložiska uskladněná a rozebraná, na jejich zabezpečení proti korozi je tak třeba brát zřetel od započetí výroby až do jejich provozu.



Obrázek 16 Koroze na ložisku

[14]

3.5.6 Poškození klece

Klec není během provozu významně namáhána. Její poškození však může způsobit špatné namazání ložiska, v jehož důsledku dochází ke tření mezi valivým elementem a klecí, které způsobí oslabení klece a její případný lom.

[7]



Obrázek 17 Poškození klece ložiska

[42]

3.6 Přilehlé a integrované součásti ložiskových jednotek

3.6.1 Kolo a brzdový kotouč

U ložiskových jednotek 1. generace jsou kolo a brzdový kotouč uchyceny na náboji kola, což jsou samostatné součásti.

U vyšších generací s integrovanou přírubou pro uchycení kola či brzdového kotouče, může být disk kola přišroubován kolovými šrouby přímo na přírubu, jejíž díry jsou závitové.

Častěji však převládá řešení, kdy je na přírubu jednotky přišroubován brzdový kotouč a disk kola je kolovými šrouby přišroubován do samostatných děr k brzdovému kotouči, viz Obrázek 56 a Obrázek 60. Středění disku kola může být středovým otvorem na náboj kola nebo kolovými šrouby s kulovou dosedací plochou. [5]

3.6.2 Snímače otáček

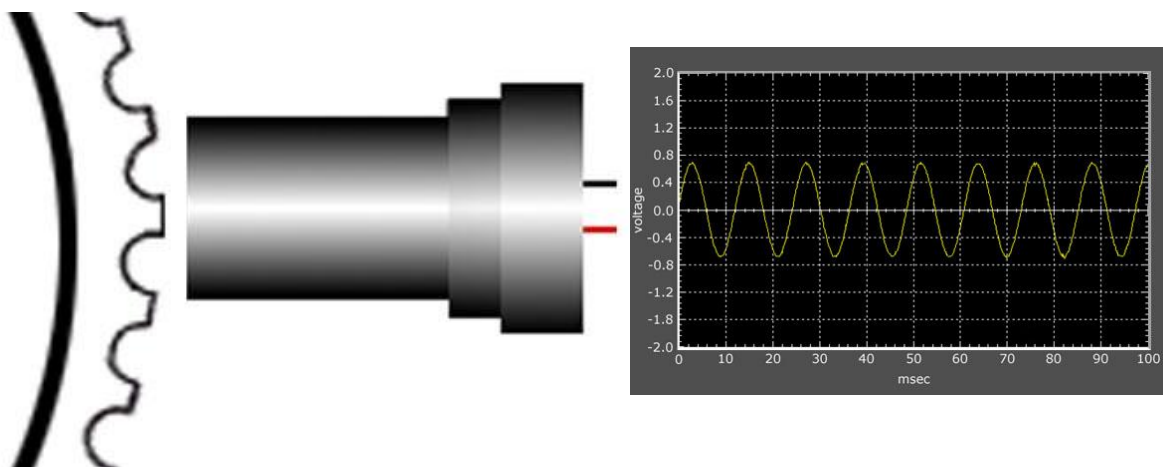
Dnešní automobily disponují celou řadou bezpečnostních a jiných systémů, které fungují v závislosti na znalosti rychlosti otáčení jednotlivých kol.

Pro snížení montážního času, hmotnosti, zástavbového prostoru a pro zvýšení spolehlivosti se snímače pro měření otáček integrují přímo do ložiskových jednotek. Ložisková jednotka je dodaná již s tímto systémem a není tak nutné seřizovat pozici snímače vůči magnetickému kroužku. [43]

Používá se několik typů snímačů otáček. Starší verze pracují s tzv. hřebínkovým kroužkem pro snímání otáček, viz Obrázek 5 a Obrázek 39. Modernější snímače pracují s kroužkem magnetickým, viz Obrázek 31.

3.6.2.1 Pasivní indukční senzor

Jednoduchý a levný. K základnímu určení otáček postačuje běžný voltmetr, pro přesnější určení se používá osciloskop. [44]

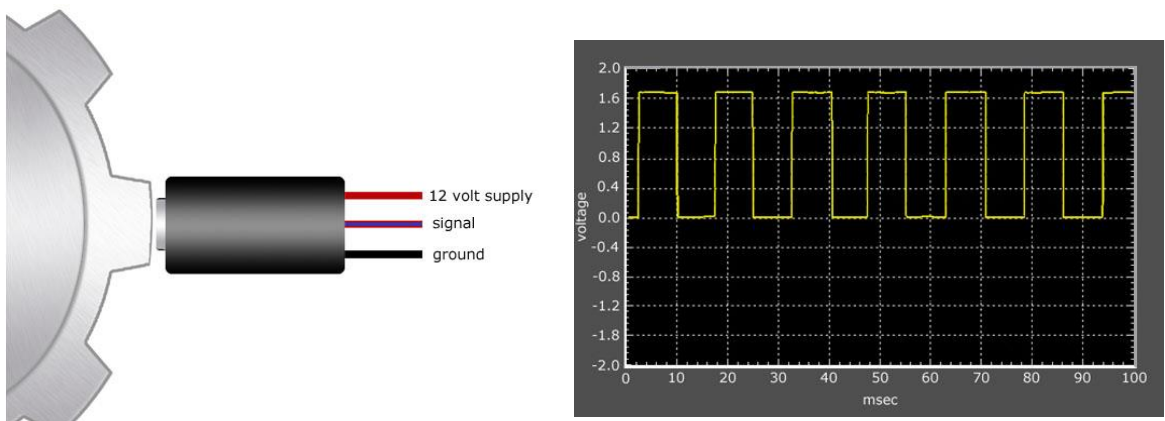


Obrázek 18 Pasivní indukční senzor a jeho průběh

[44]

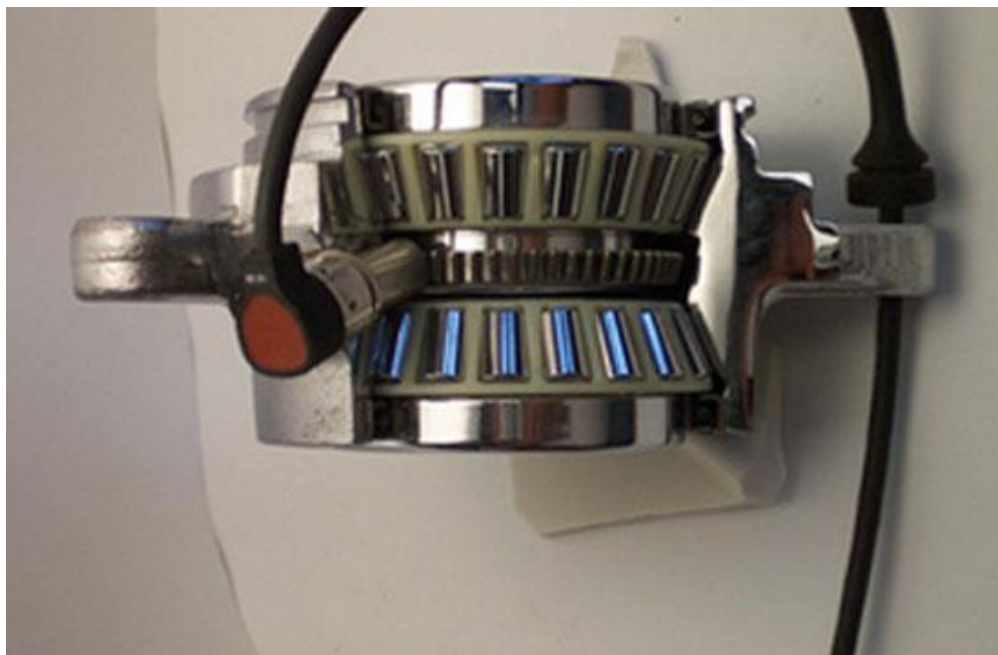
3.6.2.2 Aktivní senzor

Pracuje na bázi hallova efektu, kdy jeho diody fungují coby spínače a vydávají „hranatý“ signál.



Obrázek 19 Aktivní senzor a jeho průběh

[44]



Obrázek 20 Senzor a kroužek umístěné v ložisku

[44]



Obrázek 21 Senzor a kroužek umístěné na jednotce

[44]

3.6.2.3 Senzor s magnetickým kroužkem

Magnetický kroužek se lepí na těsnění ložiska směrem dovnitř vozu. Při montáži se magnetický kroužek snadno poškodí, přičemž jeho poškození nemusí být vizuálně patrné. Pro ujištění, že nedošlo k porušení magnetických siločar, se používají jednoduché testery. [44]



Obrázek 22 Test magnetického kroužku [44]

Ložisko s magnetickým kroužkem



Obrázek 23 Sensor s magnetickým kroužkem

[44]

3.7 Metodika obecných výpočtů ložisek

Základním parametrem, kterým poměříme životnost ložiska, je takzvaná **trvanlivost ložiska**. Ta je definovaná jako životnost ložiska než dojde k jeho poruše únavou materiálu.

Základní trvanlivost ložiska je veličina, která udává počet otáček do kdy ještě nedojde k poruše některého komponentu vlivem únavy materiálu u minimálně 90% vzorků. [41]

Ve většině případů známe právě vstupní parametry, jako zatížení – vnější síly a provozní otáčky, na základě kterých se provádí dimenzace či výběr ložiska. [40]

Vnější zatížení ložiska se skládá ze dvou druhů:

Statické zatížení – při kterém se vnější a vnitřní kroužek vůči sobě nepohybují nebo pohybují velice pomalu. Základní statická únosnost je únosnost – zatížení, které ložisko ve statické poloze unese v nejméně namáhaných bodech, vyšší zatížení by vedlo k trvalému poškození ložiska. Avšak je ještě nutné, uvažovat vliv krátkodobých silových účinků a rázů, které mohou ložisko ve svých špičkách rovněž poškodit a to i v dynamickém režimu. Ekvivalentní statické zatížení je přepočtené statické zatížení, pokud na ložisko působí radiální i axiální zatížení zároveň.

Dynamické zatížení – kdy se oba kroužky vůči sobě pohybují a zároveň působí zatížení. Základní dynamická únosnost je definovaná jako neměnné zatížení, které může ložisko přenášet při základní trvanlivosti – tedy milionu otáček. Ekvivalentní dynamické zatížení je přepočtené dynamické zatížení pokud na ložisko působí radiální i axiální zatížení zároveň.

[40]

Trvanlivost je limitovaná poruchou dílčích součástí jako valivých elementů, těsnících kroužků, oběžných drah či maziva, tak i deformací stykových ploch oběžných drah a valivých elementů. [40]

Základní dynamická únosnost – odpovídá zatížení, které může na ložisko působit, přičemž zůstane zachována základní trvanlivost ložiska jeden milion otáček.

[40]

Základní statická únosnost – je veličina, která odpovídá zatížení při statickém namáhání, které je vypočítaným stykovým napětím v nejméně zatíženém místě funkčních elementů. V případě, že je toto zatížení vyšší, již dochází k trvalé deformaci elementů.

[40]

Spolehlivost ložisek je procentuální vyjádření počtu stejných ložisek, pracujících za stejných provozních podmínek, které dosáhnou nebo překročí stanovenou trvanlivost.

Na trvanlivost celého ložiska má vliv trvanlivost nejslabšího elementu – klece, valivých elementů, těsnění či maziva.

V praxi však nejvíce záleží na kvalitě kovových částí, které trvanlivost celku ovlivňují nejvíce.

[40]

3.7.1 Obecný výpočet trvanlivosti ložiska dle metodiky SKF

Teoretická trvanlivost se může značně lišit od skutečné trvanlivosti, neboť nezávisí jen na zatížení ložiska, ale i na kvalitě montáže, vůli, mazací směsi či kvalitě těsnění.

[41]

Trvanlivost podle SKF při spolehlivosti 100-n %, v milionech otáček:

$$L_{nm} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (1)$$

$$\left(\frac{C}{P}\right)^p = L_{10} = \text{základní trvanlivost při spolehlivosti 90\%}$$

C – základní dynamická únosnost

P – ekvivalentní dynamické zatížení

p – exponent rovnice trvanlivosti, pro kuličková ložiska p = 3

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2)$$

Kde:

X – součinitel radiálního zatížení ložiska

Y- součinitel axiálního zatížení ložiska

F_r – skutečné radiální zatížení

F_a – skutečné axiální zatížení

[41]

3.7.2 Výpočet trvanlivosti ložiska při kombinovaném zatížení

V automobilovém provozu se jednotlivé složky během jízdy neustále mění. Radiální zatížení je proměnlivé v závislosti na akceleraci, brždění a průjezdu zatáčkou, axiální zatížení je odvislé od průjezdu zatáčkou nebo bočním náklonu.

Procentuálně poměrné zastoupení jednotlivých zatížení v kilometrovém proběhu je třeba zahrnout do výpočtu pro celkovou trvanlivost.

Je velmi důležité zahrnout do výpočtu, byť velmi krátce trvající, špičkové hodnoty zatížení, neboť právě ty mají na trvanlivost značný negativní vliv.

Trvanlivost ložiska dle SKF za proměnných provozních podmínek:

$$L_{10m} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1}{L_{10m1}} + \frac{\varepsilon_2}{L_{10m2}} + \frac{\varepsilon_3}{L_{10m3}} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{L_{10mn}}} \quad (3)$$

ε_{1-n} – dílčí, procentuální úseky zatížení, součet musí být roven 1

L_{10m1-n} - trvanlivosti za podmínek (režimu) 1,2,...n

[41]

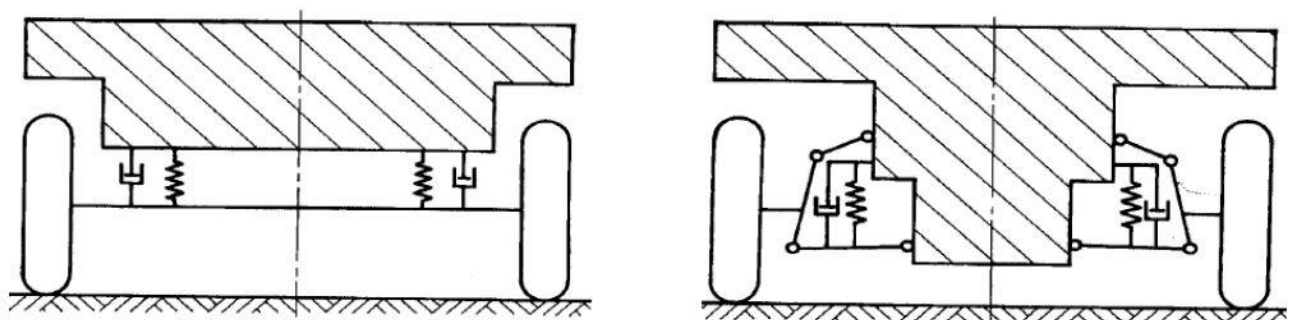
4 Koncepce uložení kola v automobilech

Uložení kol osobních automobilů skýtá celou řadu koncepčních řešení závislých na mnoha faktorech. Zdali se jedná o přední či zadní nápravu, nápravu poháněnou či nepoháněnou. Záleží rovněž na typu nápravy a typu ložiska, či ložiskové jednotce, její generaci a stupni integrace komponent jednotky ložiska.

V následující části dojde k rozdělení zavěšení kol z hlediska typů náprav a následně rešerši provedení konceptů uložení kol v jednotlivých segmentech osobních automobilů, zvláště pak s důrazem na provedení uložení kola modelu Škoda Octavia, coby výchozímu modelu vozu pro návrh inovace uložení kola v další části práce.

4.1 Typy náprav a provedení uložení kola v automobilech

Náprava slouží jako prvek k zavěšení kola. Rozlišujeme dva druhy zavěšení kol – závislé a nezávislé.



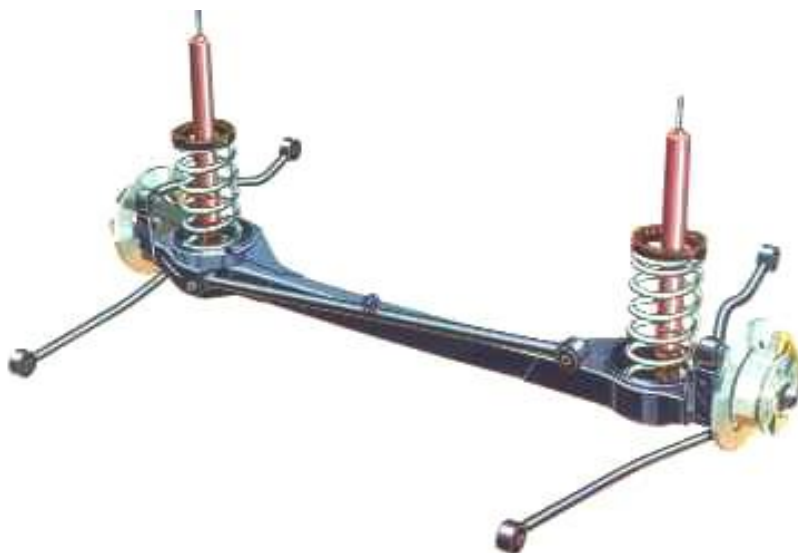
Obrázek 24 Schéma závislého (vlevo) a nezávislého (vpravo) zavěšení kola

[21]

4.1.1 Závislé zavěšení kol

Změna pohybu jednoho kola přímo ovlivňuje pohyb kola druhého, přičemž poloha obou kol vůči sobě zůstává při všech pohybech nápravy nezměněna. Obě kola jsou pevně spojena ramenem nápravy – mostem nápravy. Závislé zavěšení kol reprezentuje tuhá náprava. Toto řešení má velkou hmotnost neodpružených hmot; je navíc odpruženo jako celek. Výhodou je naopak velká pevnost nápravy, tuhá geometrie a vedení. Používá se tak především u užitkových vozů a offroad vozidel, zejména jako zadní náprava. Toto provedení je konstrukčně jednodušší a obecně levnější.

[19]



Obrázek 25 Tuhá náprava

[22]

Vzhledem k tomu, že v osobních automobilech současné doby se toto zavěšení kol nevyskytuje prakticky vůbec, nebude s tímto principem nadále pracováno.

4.1.2 Nezávislé zavěšení kol

Každé kolo je zavěšené zvlášť - přímo ke karoserii vozidla (kola jsou přes karoserii vázána nepřímě). Pohyb každého kola je tak nezávislý na pohybu ostatních kol. Tato koncepce je obecně složitější a dražší. Vyznačuje se však lepšími jízdními vlastnostmi, nižší hmotností neodpružených hmot (zvláště u poháněných náprav, kde jsou rozvodovka a diferenciál upevněny na karoserii) a vyšší komfortností.

Nezávislé zavěšení kol tvoří celá řada konstrukčních řešení. Mezi nejčastější přední nápravy patří nápravy typu McPherson a lichoběžníková náprava. Mezi typy zadních náprav patří kliková náprava, kyvadlová náprava nebo víceprvková náprava.

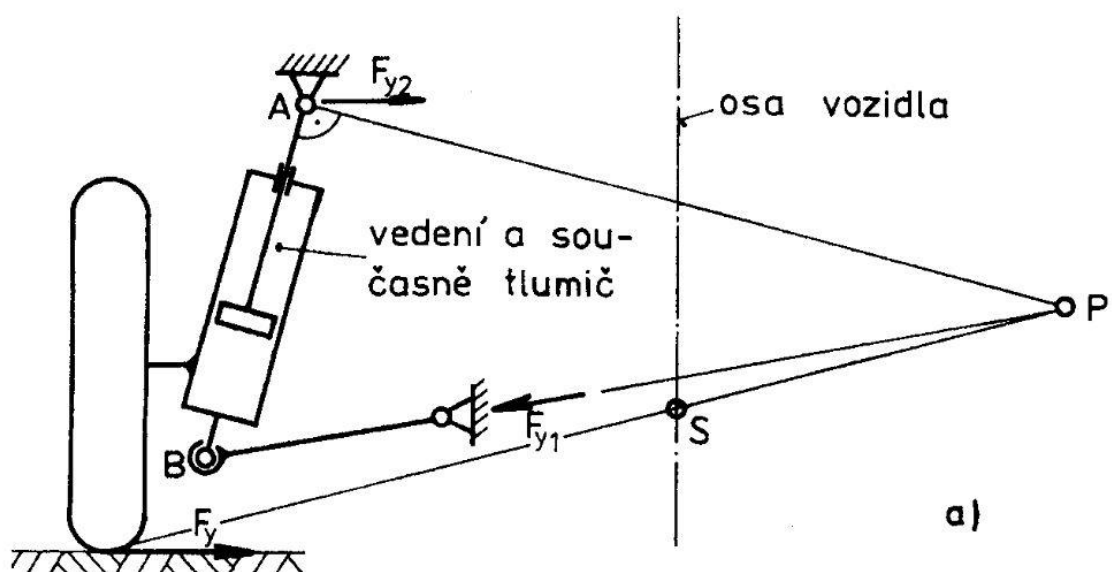
[19]

4.1.2.1 Náprava McPherson

Náprava typu McPherson se zakládá na bázi lichoběžníkové nápravy, jejíž horní rameno je nahrazeno tlumičem a odpružením, což nezanedbatelně šetří zástavbový prostor. Jedná se o nejrozšířenější typ nápravy v automobilovém průmyslu (včetně Škoda Octavia III). Náprava McPherson se používá u většiny poháněných předních náprav, může ale být v jistých provedeních použita i jako zadní hnaná náprava. Důležitou výhodou tohoto typu nápravy je její malý montážní prostor. [23][19]

U předních náprav typu McPherson slouží jednotka tlumiče jako teleskopická vzpěra vedení nápravy a kolo se otáčí kolem jejích ložisek. [19]

Síly a momenty na nápravu jsou přenášeny na karoserii, což zatěžuje ložiska vedení pohybu nápravy. Spodní ložisko je blíže působišti sil, a proto je namáháno více než horní. Vzhledem k působení podélné síly je stejně jako u lichoběžníkové nápravy nezbytné, aby její rameno bylo ke karoserii připevněno na dvou místech, což vede k obdobnému provedení profilu ramene v podobě trojúhelníku a nezděra bývá sestaveno z více částí. [19]

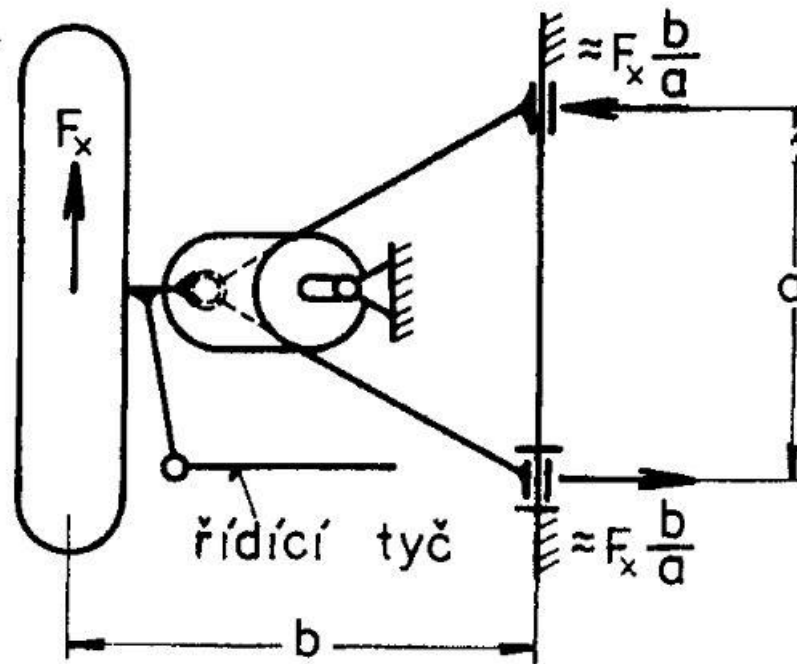


Obrázek 26 Schéma nápravy McPherson [19]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



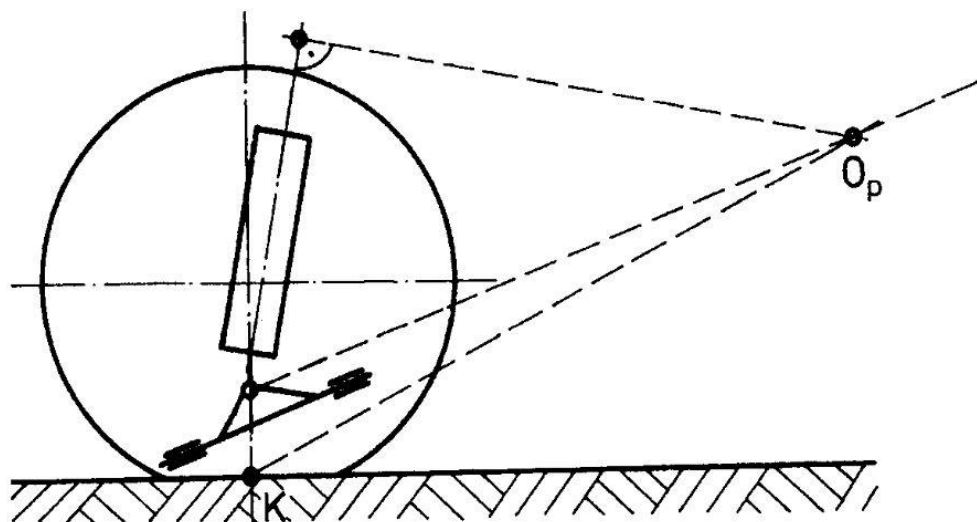
Obrázek 27 Schéma nápravy McPherson [19]

Vzpěra vedení nápravy je konstruována jako hydraulický tlumič, jehož pístnice je s ohledem na přidavné příčné zatížení robustnější, než by musela být u klasického tlumiče. Pružina bývá navinuta kolem tlumiče, čímž lze přenášet svislé zatížení kola přímo přes rejdový čep, tlumič a pružinu přímo do karoserie, aniž by bylo zatěžováno ložisko uložení spodního ramene. V ložisku tak dochází k menšímu tření. Momenty od brždění, akcelerace a zatáčení však vyvolávají zvýšené tření v tlumiči a vedení. Aby nedocházelo vlivem tohoto tření ke vzpříčení tlumiče, je vhodné uložit horní tlumičový kloub do pryžového pouzdra. [19]

Středy klopení kola P i karoserie S leží nad úrovní vozovky. Střed klopení karoserie S leží přibližně v polovině poloměru kola. Odklon kola se mění jak s propružením nápravy, tak s náklonem karoserie.

Jelikož tlumičový komplet vedení nápravy McPherson musí umožňovat řízení kola, není možné, aby byla pružina pevně vetknuta jak ke karoserii, tak k nápravě. Proto, aby se mohla volně otáčet kolem své osy, je nutné použít na jednom jejím uložení kuličkové nebo pryžové ložisko či kulový kloub. [19]

Aby nedocházelo k přílišnému klonění nápravy vlivem efektu *anti-dive* (předklánění karoserie při brždění či zaklánění karoserie při rozjezdu), je třeba konstrukčně zajistit, aby byla osa uložení spodního ramene v šikmé pozici. [19]

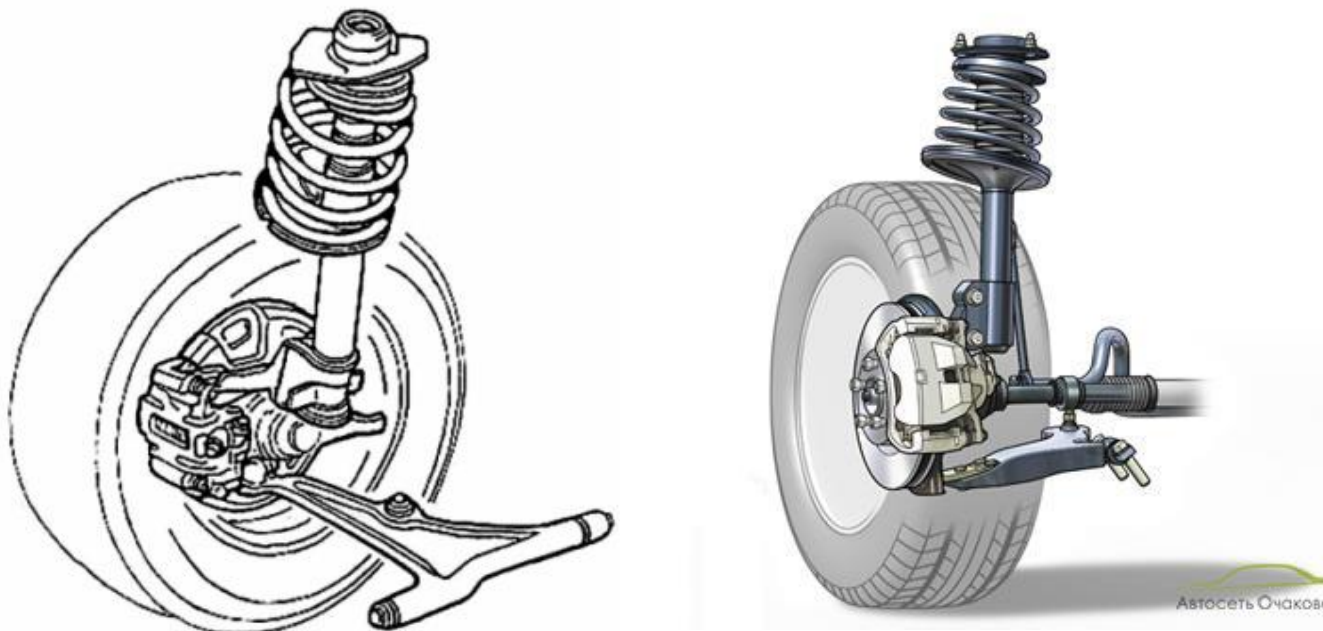


Obrázek 28 Schéma nápravy McPherson [19]

Náprava typu McPherson, může být použita i jako zadní nepoháněná náprava neřízených kol. Její výhody jsou především v úspoře místa pro zavazadlový prostor. Toto provedení rovněž umožňuje, aby byla příčná ramena velmi dlouhá, díky čemuž se zmenšuje sbíhavost kol a jejich odklon. Vzhledem k tomu, že tlumičový komplet nemusí konat otočný pohyb pro řízení kola, odpadá v takovémto případě mnoho konstrukčních požadavků na nápravu jako zajištění rotačního pohybu pružiny kolem její osy, ložiskové či kulové uložení vedení apod., což tvoří velmi jednoduché řešení zadní nápravy. [19]



Obrázek 29 Náprava McPherson



Obrázek 30 Náprava McPherson

[24] [25]

Ložiskové uložení kola v přední nápravě McPherson u modelu Škoda Octavia

Přední náprava vozu Škoda Octavia je založena na principu McPherson s příčnými, trojúhelníkovými rameny, doplněné o nápravnici s konzolou, která zajišťuje upevnění příčného ramena, stabilizátoru a převodky řízení a přispívá ke zpevnění karoserie. Skládá se z kyvných ramen, nápravnice s konzolami, příčného stabilizátoru, ložiska, čepu kola, tlumičové jednotky, řízení a brzdového systému. [34]

Odpružení přední nápravy slouží kombinace lineárních vinutých pružin a pružných progresivních elementů z polyuretanu. [34]

Nápravnice je odlitek hliníkové slitiny. Jsou na ni montovány vzpěry pro uložení motoru a kyvná ramena, která jsou vyráběna ve dvojím konstrukčním provedení (ocelový odlitek a výlisek) dle motorizace vozu. [34]

Model Škoda Octavia využívá nápravu typu McPherson jako přední poháněnou nápravu. Z tohoto důvodu konstruktéři zvolili ložiskové uložení kola pomocí ložiskové jednotky třetí generace. Tedy jednotku, u které je vnitřní kroužek vybaven vnitřním drážkováním pro přenos krouticího momentu od kloubového hřídele. Vnitřní kroužek zároveň obsahuje přírubu pro připojení brzdového kotouče a disku kola. Vnější kroužek je vybaven

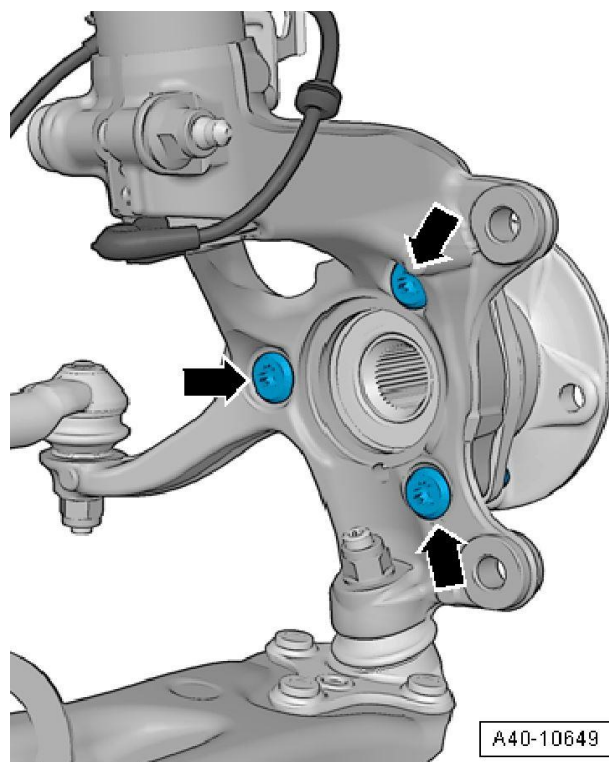
přírubou pro uchycení k těhlici nápravy. Různé výbavy tohoto vozu využívají tyto jednotky od různých výrobců, zde pro ilustraci ložisková jednotka od výrobce FAG.



Obrázek 31 Ložisková jednotka 3. generace od firmy FAG

[31]

V následujících schématech je znázorněna konstrukce přední nápravy a ložiskového uložení kola modelu Škoda Octavia 3.



Obrázek 32 Rameno nápravy McPherson u Škody Octavie

[29]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

- 1 - Krycí plech
- 2 - Šroub, 12 Nm
- 3 - Náboj kola s ložiskem kola
 - snímací kroužek ABSje

zabudovaný v náboji kola

- 4 - Šroub, 200 Nm + 180°

při povolování a dotahování nesmí stát vozidlo na kolech

- 5 - Šroub, 8 Nm

- 6 - Snímač otáček vpředu

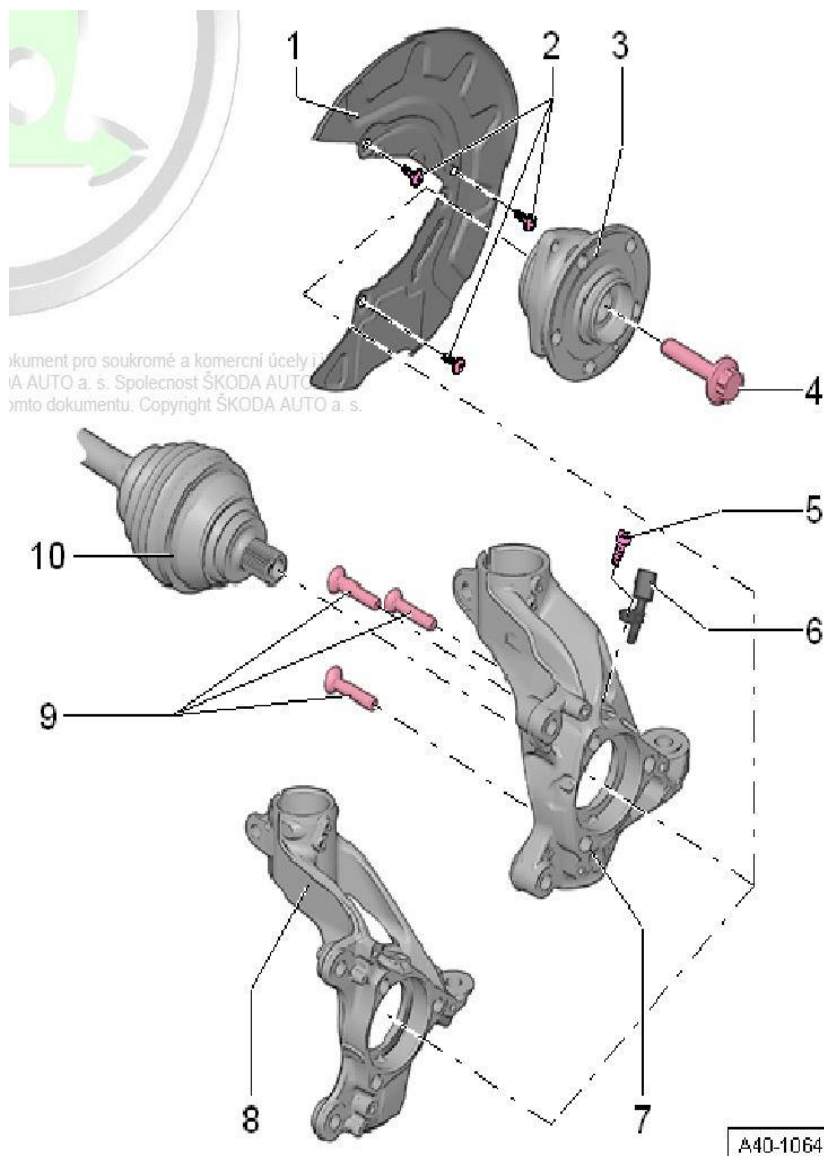
- 7 - Hlava ložiska čepu kola

- 8 - Hlava ložiska čepu kola

- 9 - Šroub, 70 Nm +90°

- 10 - Kloubový hřídel

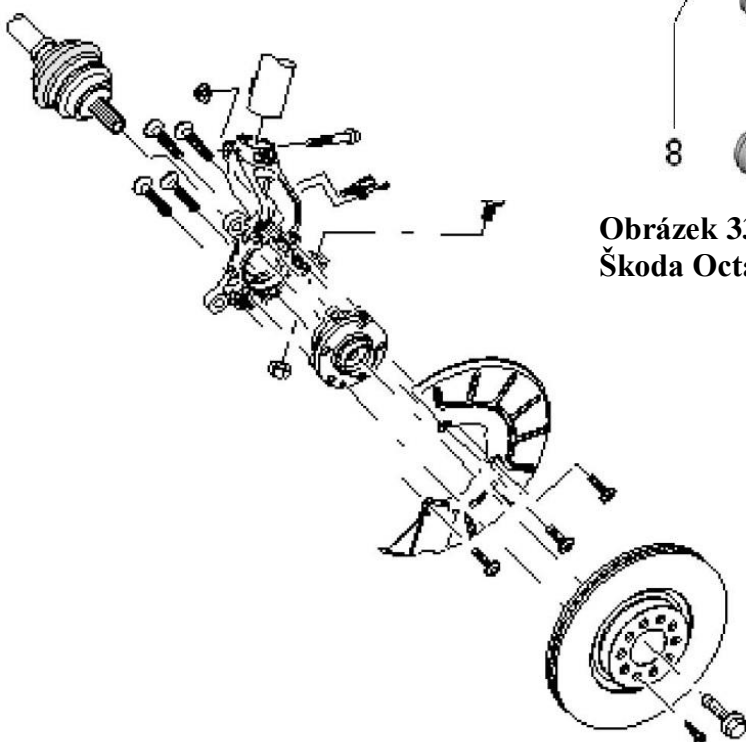
[29] s. 37



Obrázek 33 Schéma uložení předního kola Škoda Octavia

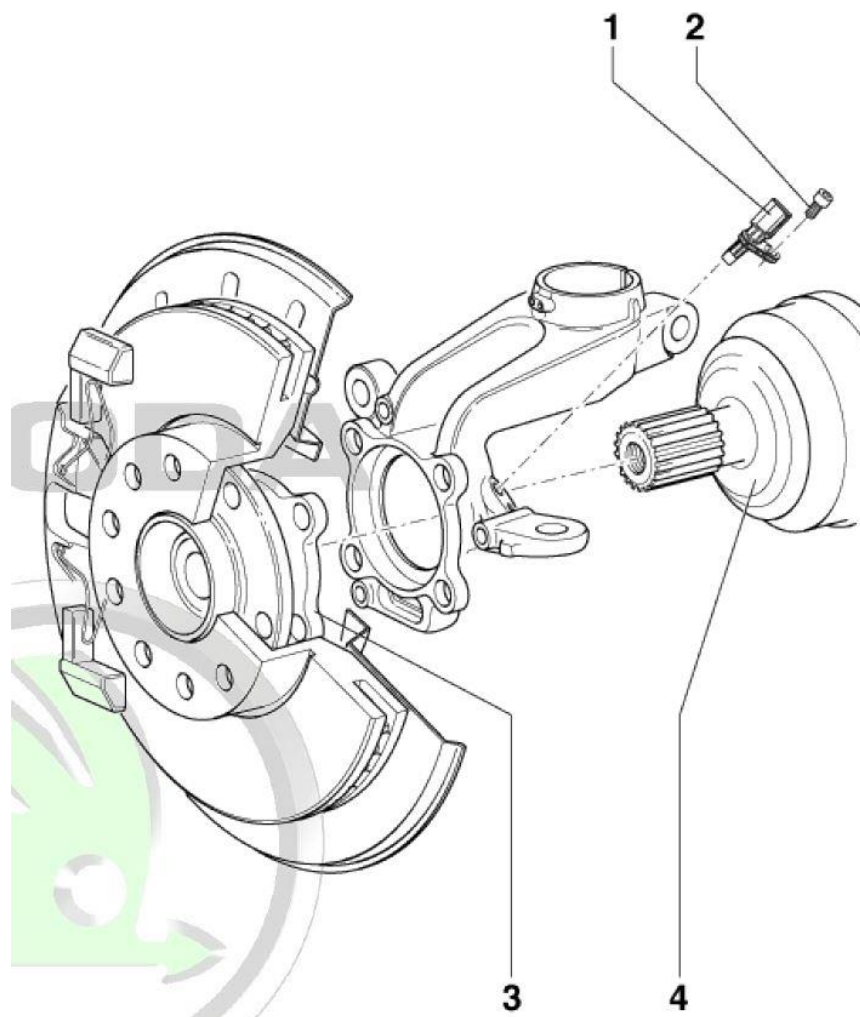
A40-10646

[29]



Obrázek 34 Schéma uložení předního kola Škoda Octavia

[29]



Obrázek 35 Schéma uložení předního kola Škoda Octavia

[30]

1 - Snímač otáček ABS

2 - Šroub, 8 Nm

3 - Náboj kola s ložiskem kola

- snímací kroužek ABS je zabudovaný v uložení kola

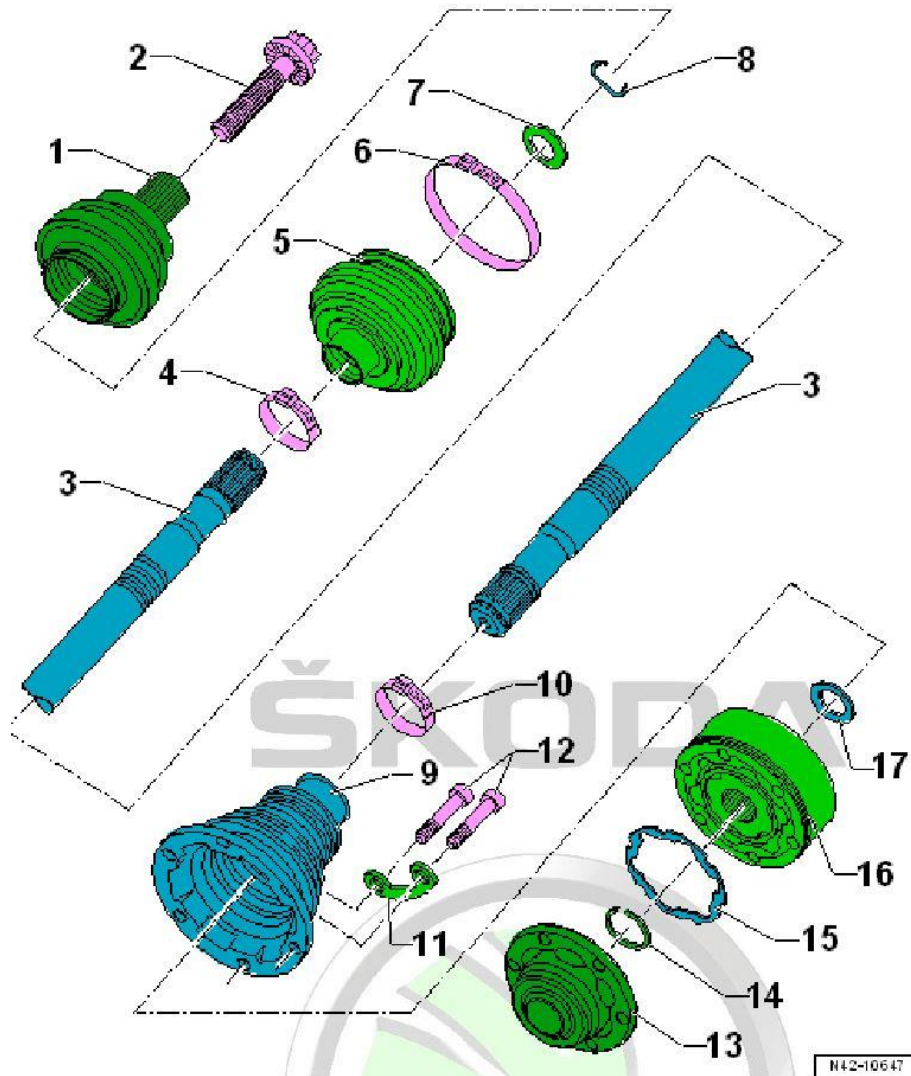
4 - Kloubový hřídel

[30]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 36 Ukázka hnacího hřídele, připojeného na vnitřní kroužek ložiskové jednotky

[29]

Ložiskové uložení kola pomocí ložiskové jednotky první generace

Toto provedení se skládá z ložiskové jednotky první generace, tedy dvouřadého kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem a obvykle děleným vnitřním kroužkem. Na vnější kroužek je nalisována těhlice nápravy, vnitřní kroužek je nalisován na náboj kola.

Jelikož se náprava McPherson používá převážně na přední nápravy a jelikož přední nápravy jsou v naprosté většině poháněny, náboj kola musí mít vnitřní drážkování pro připojení hnacího hřídele a přenos krouticího momentu.



Obrázek 37 1. generace ložiskové jednotky a náboj kola s vnitřním drážkováním

[1]

Tento princip uložení poháněného předního kola využíval například Ford Focus 2000 – 2011.



BEARING INSTALLATION:

Obrázek 38 Ložiskové uložení Ford Focus 2000-2011 [1]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Uložení kola pomocí ložiskové jednotky druhé generace u nepoháněné nápravy McPherson

Málo používaná kombinace. Nalézt ji lze u vozů BMW 3 Series, s nepoháněnou přední nápravou.



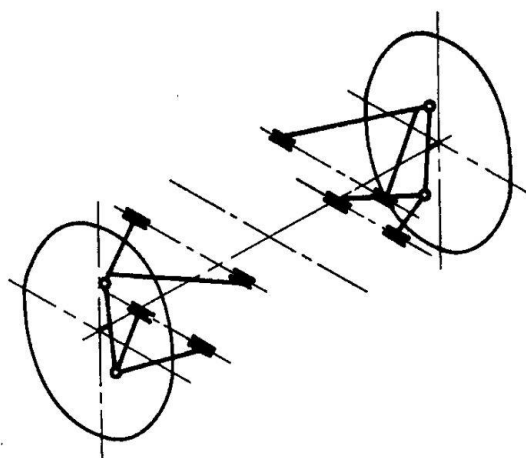
Obrázek 39 Ložisková jednotka z BMW 3 Series

[18]

4.1.2.2 Lichoběžníková náprava

Jedná se o zavěšení se dvěma příčnými rameny, která jsou uložena nad sebou. Obvykle se jedná o ramena tvaru trojúhelníku s tím, že horní rameno je kratší než spodní, čímž lze ovlivnit odklon kola při propružení. [33]

Výhodné na tomto konstrukčním řešení nápravy je nízká hmotnost neodpružených hmot. Toto řešení je rovněž výhodné z hlediska svislého rozměru, náprava může být relativně „nízká“. Obecně však zabírá více zástavbového prostoru než náprava typu McPherson. [33]



Obrázek 40 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]

Lichoběžníková náprava umožňuje pomocí polohy a rozměrů ramen ovlivnit výšku středu klonění kola a výšku středu klonění nápravy a karoserie. [19]



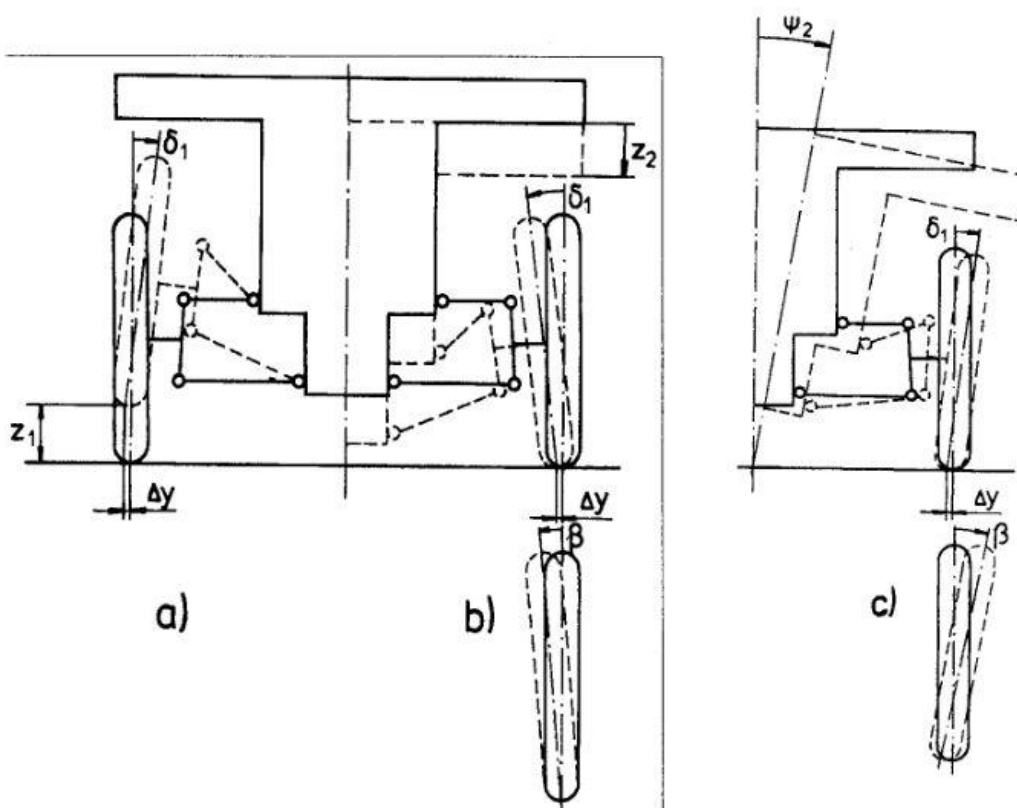
Obrázek 41 Lichoběžníková náprava

[35]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

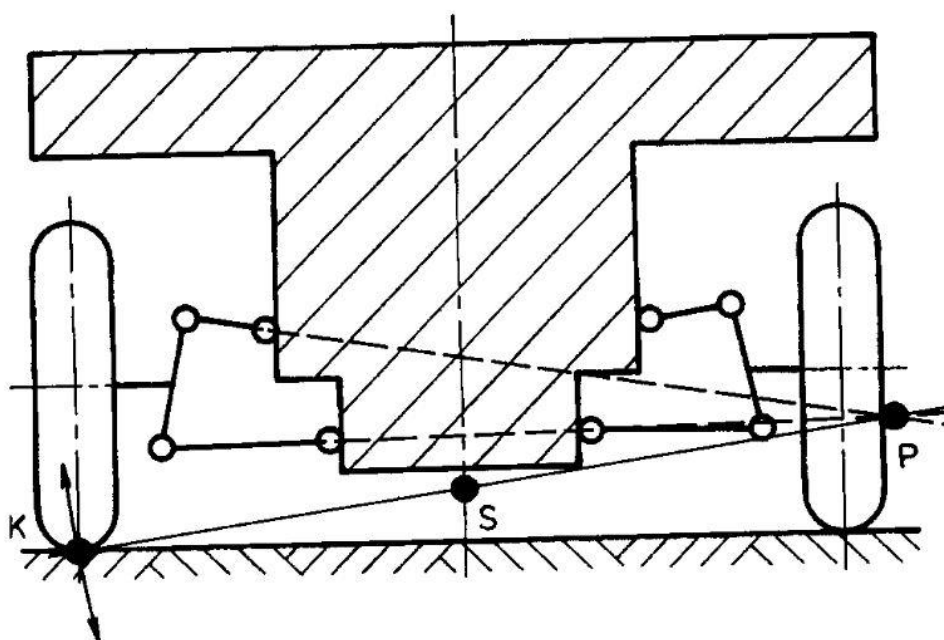
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

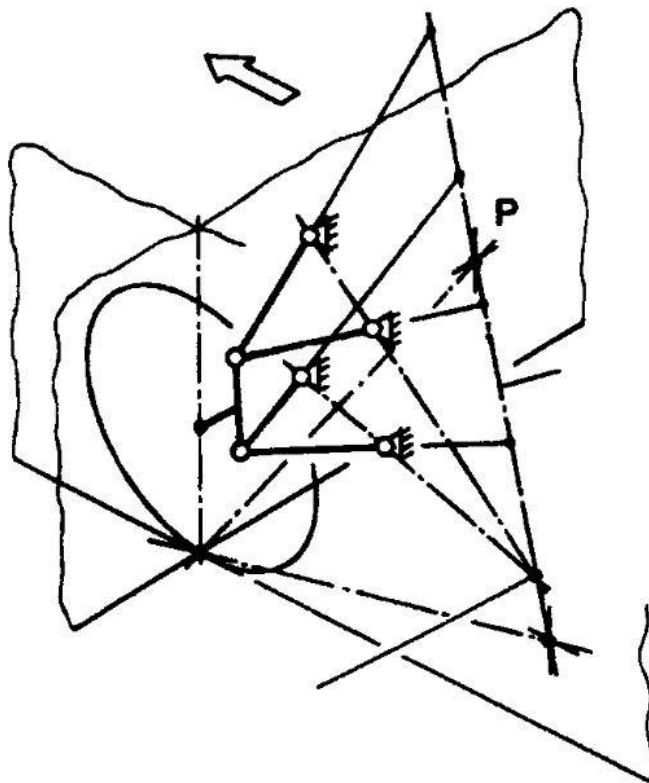


Obrázek 42 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]

Střed klonění kola je pomyslný bod, kolem kterého se kolo při propružení otáčí v podélné rovině. Poloha středu klonění nápravy závisí na zavěšení kol. [19]

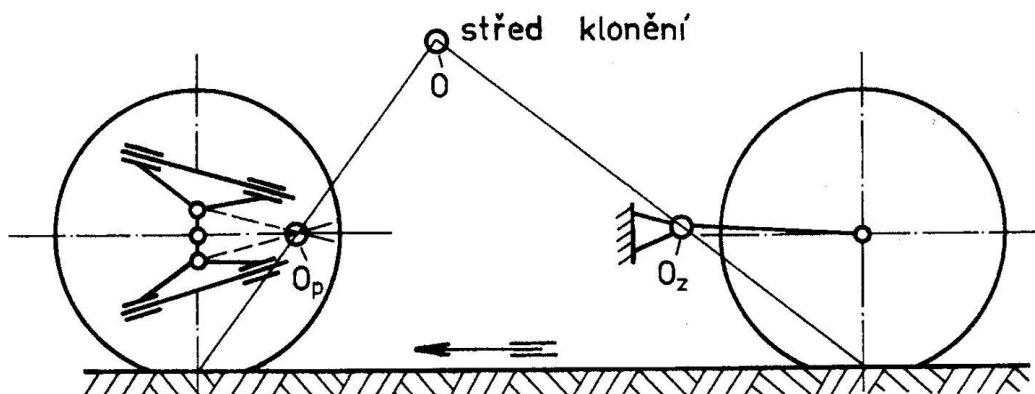


Obrázek 43 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]

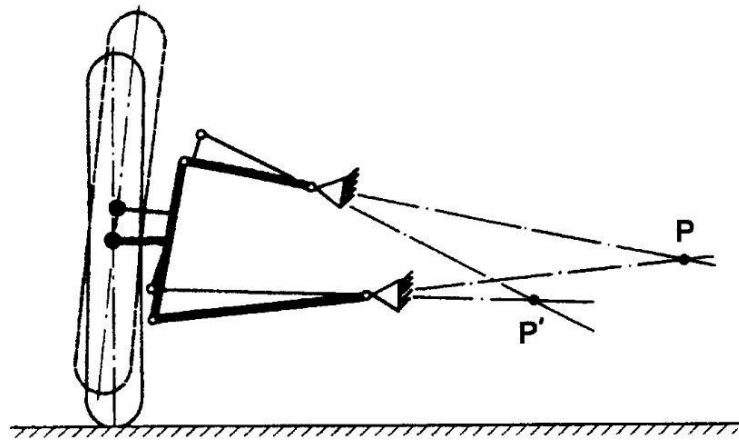


Obrázek 44 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]

Pro předcházení předklánění a zaklánění karoserie při brždění a akceleraci je potřeba, aby střed klonění karoserie ležel ve výšce těžiště vozidla, kdy setrvačná síla vozidla nevytváří žádný moment. Pro docílení tohoto stavu je třeba, aby podélné osy uložení trojúhelníkových ramen byly uloženy šikmo. [19]



Obrázek 45 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]

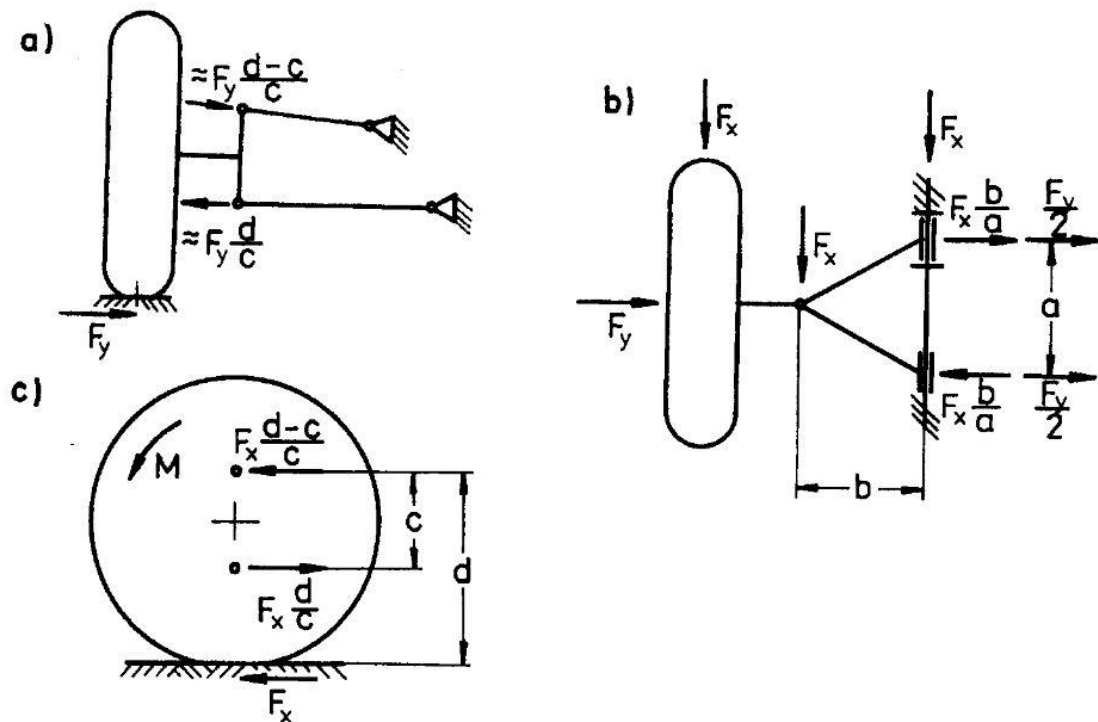


Obrázek 46 Schéma lichoběžníkové nápravy

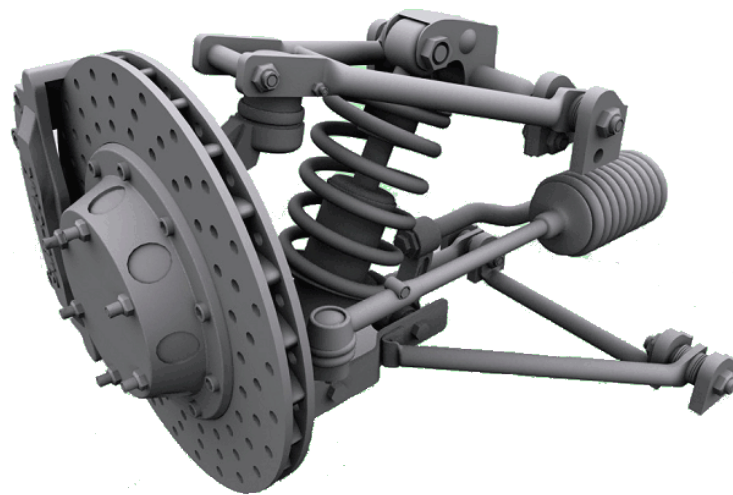
[19]

Ramena lichoběžníkové nápravy musí zachycovat síly a dvojice sil působících na karoserii. Vzhledem k působení dvojic sil musí být každé z ramen zachyceno ve dvou uloženích, což je důvod, proč se převážně užívá trojúhelníkových ramen. Jelikož leží spodní rameno blíže působení sil, je více namáháno a je tudíž žádoucí, aby vzdálenost míst uložení na rameni byla co největší, což obvykle vyžaduje, aby z hlediska konstrukce bylo spodní rameno složeno z více kusů. [19]

Na spodní rameno bývá uložena pružina nápravy, kterou lze díky délce spodního ramene vetknout pevně, protože spodní rameno koná jen nepatrné úhlové pohyby. [19]



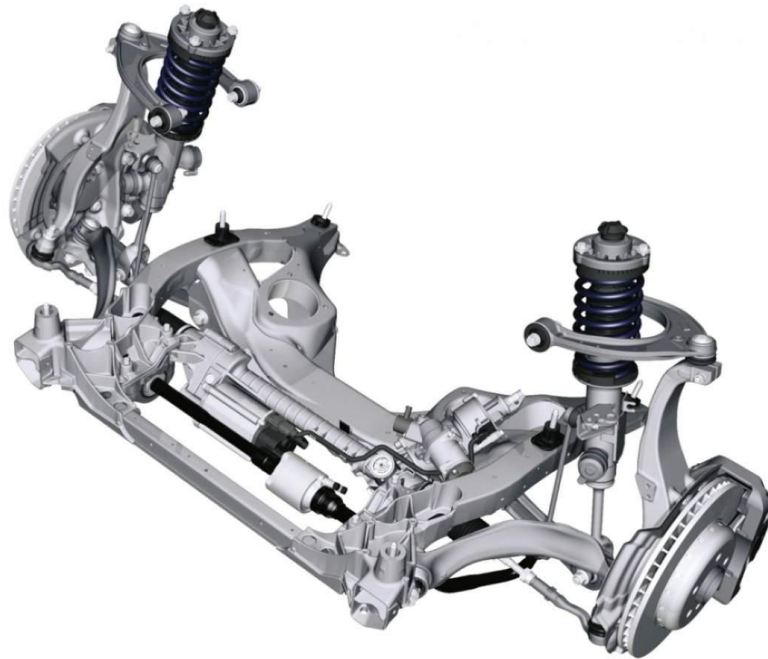
Obrázek 47 Schéma lichoběžníkové nápravy [19]



Obrázek 48 Lichoběžníková náprava

[34]

Tato náprava se používá většinou u luxusních či sportovních vozů a bývá poháněná. Ve většině případů se proto používá v kombinaci s ložiskovou jednotkou třetí generace. Jako například u nápravy Mercedes Benz řady C.



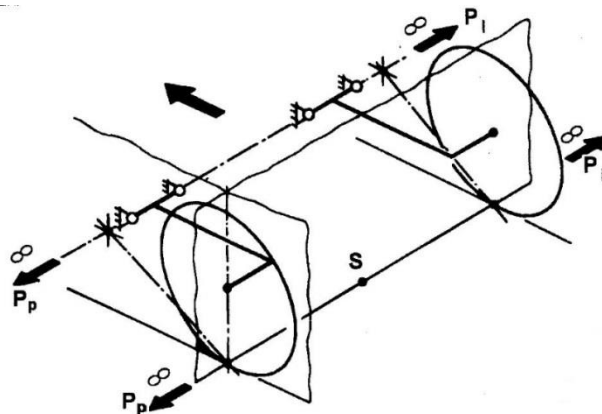
Obrázek 49 Lichoběžníková náprava Mercedes Benz řady C

[20]

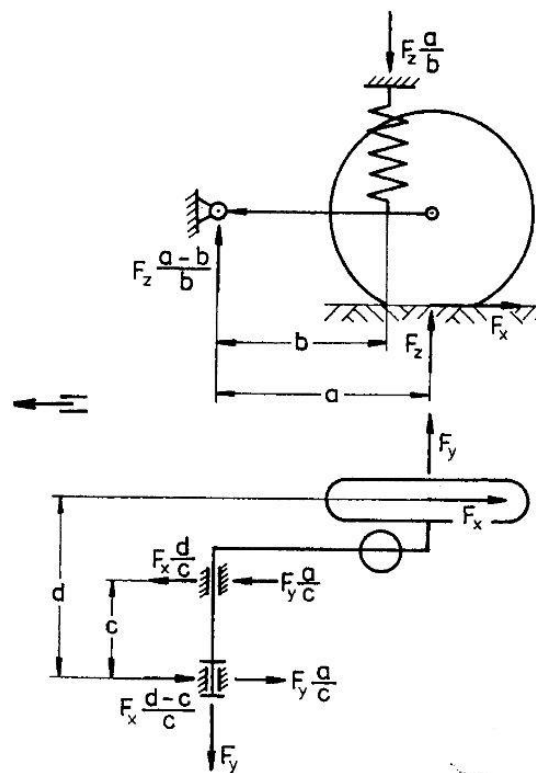
4.1.2.3 Kliková náprava

Neboli vlečená náprava či kyvadlová náprava.

Kliková náprava se používá především u osobních automobilů jako zadní nepoháněná a neřízená náprava. Nezaujímá příliš mnoho místa ze zavazadlového prostoru, nesnižuje šíři podlahy vozidla a je tak ideální především pro vozidla, u kterých je výhodná nízko položená podlaha (např. pro možnost sklápění zadních sedaček). [19]



Obrázek 50 Schéma klikové nápravy [19]



Obrázek 51 Schéma klikové nápravy

[19]

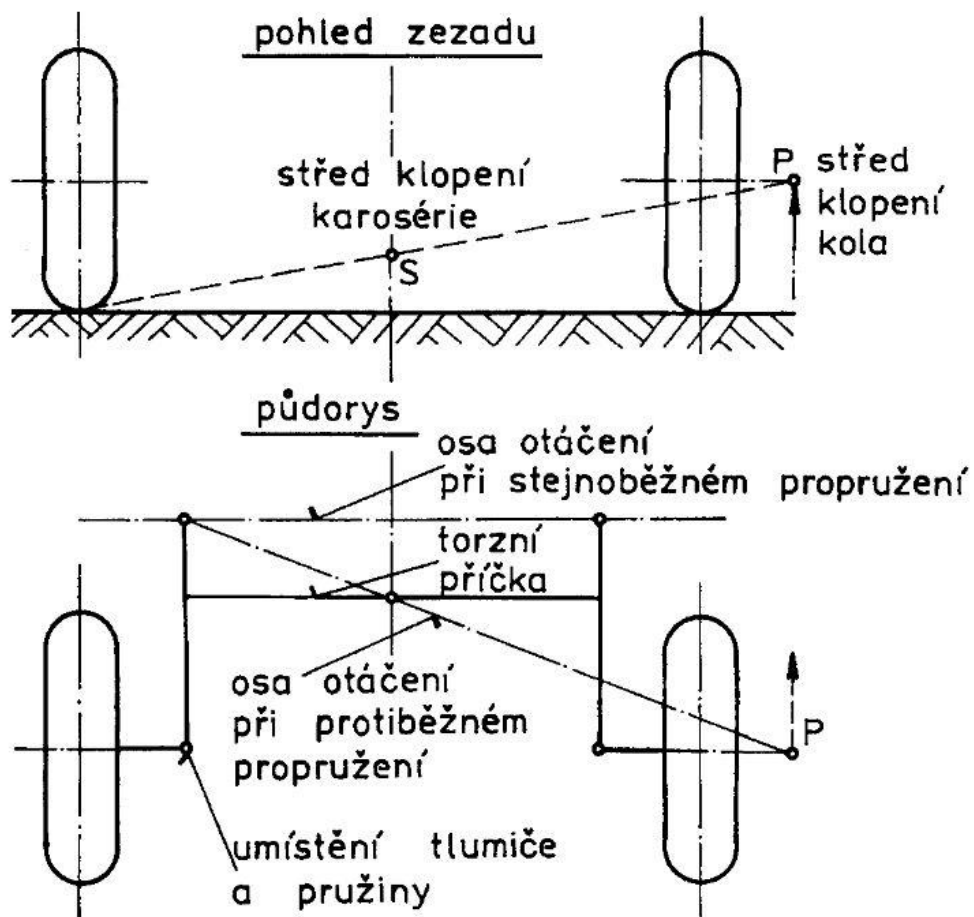
Kliková náprava je založena na principu podélných ramen, jejichž osa otáčení je kolmá k podélné ose vozu. Rameno je na jedné straně ukotveno ke karoserii pryžovými ložisky, na druhé straně k uložení kola - na této straně je obvykle upevněna i pružina a tlumič - jejich uložení by ideálně mělo být co nejbližší ose kola, aby síly působící na uložení ramene ke karoserii byly co nejmenší a nedocházelo tak k samořízení nápravy či bylo možné lépe izolovat hluk. Kliková náprava může být také odpružena pomocí torzní tyče, respektive tyčí. [19]

„Střed klopení kola P leží u klikové nápravy v nekonečnu, a proto střed klopení karoserie S leží v rovině vozovky.“ [19]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

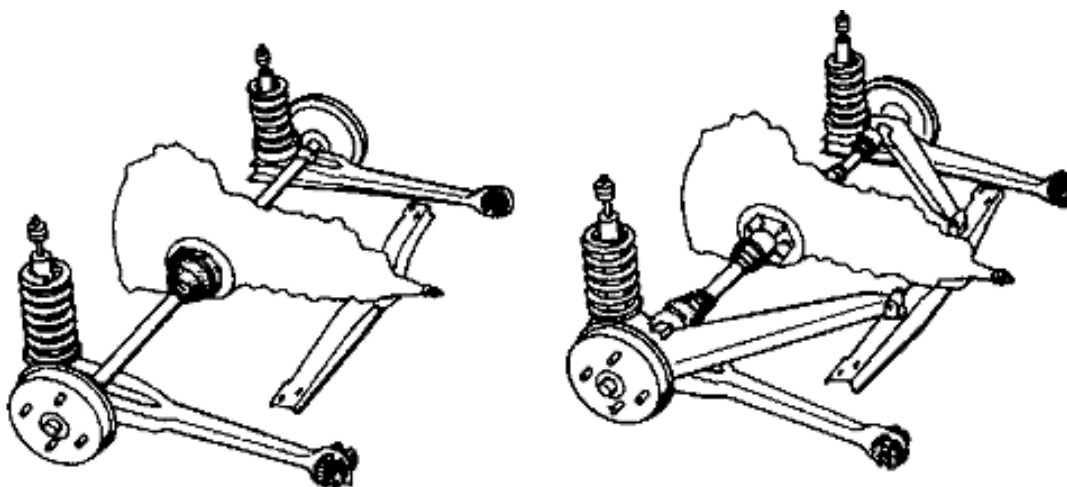
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 52 Schéma klikové nápravy [19]

Kliková náprava dovoluje vyšší klopení karosérie v zatáčke, na druhou stranu však ke změně odklonu kola dochází právě pouze klopením celé karosérie. Při propružení samotného kola nedochází ke změně jeho odklonu.[19]



Obrázek 53 Schéma klikové nápravy

4.1.2.4 Kliková náprava s propojenými rameny (spřažená náprava)

Jedná se o klikovou nápravu, jejíž ramena propojuje příčka, která je pevná na ohyb, ale poddajná na krut a plní funkci příčného stabilizátoru. [19]

Kliková náprava s příčně propojenými podélnými rameny je do určité míry kombinací klikové nápravy coby nezávislého zavěšení kol a tuhé nápravy coby závislého zavěšení kol. [19]

Odklon kol je nepatrný, pokud obě kola propuží naráz a stejně, při propužení pouze jednoho kola je však značný. Osy otáčení ramen jsou pro oba případy různé. [19]

Spojovací příčka je obvykle otevřený profil nejčastěji podobný profilu typu U. Pokud dochází k stejnoběžnému propužení obou kol, příčka se nikterak nedeformuje, k deformaci krutem dochází při rozdílném propužení kol. [19]

Mezi výhody spřažené klikové nápravy patří: „snadná montáž a demontáž celé nápravy; malý potřebný prostor; jednoduché upevnění pružících a tlumících teleskopických vzpěr, příp. tlumičů pružin, velmi málo konstrukčních dílů a tím také malá hmotnost neodpružených částí, příčný nosník působí jako stabilizátor; malá změna sbíhavosti, rozchodu a odklonu kol, nedotáčivé samořízení nápravy závislé na zatížení; vhodná poloha středu klonění, která zmenšuje zvedání zádě při brzdění. Naproti tomu má tato náprava jen málo nevýhod: v sériovém provedení prakticky nemožné použití pro poháněnou nápravu; tendence přetáčivosti vlivem bočních sil; torzní a smykové napětí v příčném nosníku; vysoké namáhání svarových švů a tím omezené přípustné zatížení zadní nápravy.“ [19]



Obrázek 54 Kliková náprava

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ložiskové uložení kola v zadní spřažené nápravě modelu Škoda Octavia

Nižší motorizace vozu Octavia 3 používají jako zadní nápravu kyvadlovou nápravu se spřaženými rameny. Vzhledem k tomu, že se jedná o nepoháněnou nápravu, ložiskové uložení kola je řešeno ložiskovou jednotkou druhé generace.

Kolo je na nápravu připevněno skrze samostatný čep, který je k ramenu nápravy přišroubován. Na čep je nasunuta ložisková jednotka, která je na pevně zafixována za vnitřní kroužek šroubem (v obdobných aplikacích může být na čep ložisková jednotka nalisována, Škoda Auto, volí zajištění šroubem, viz Obrázek 56).

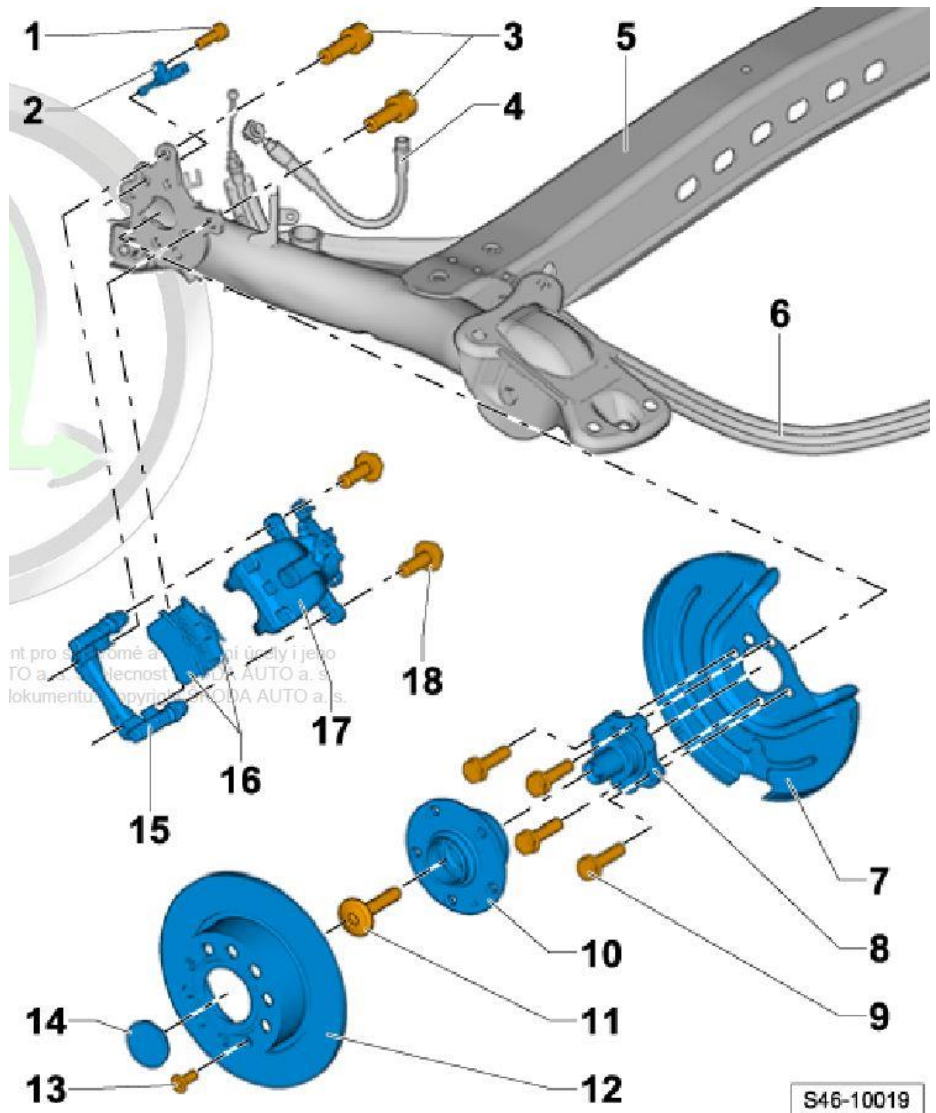


Obrázek 55 Ložisková jednotka druhé generace, použitá u zadní vlečené nápravy Škoda Octavia

[32]

V následujících schématech je zobrazena konstrukce zadní spřažené nápravy a ložiskového uložení kola vozu Škoda Octavia 3, nižších motorizací.

- 1 - Šroub, 8 Nm
- 2 - Snímač otáček ABS
- 3 - Šroub, 90 Nm + 90°
- 4 - Brzdová hadička
- 5 - Nápravnice
- 6 - Lanko ruční brzd
- 7 - Krycí plech
- 8 - Čep nápravy
- 9 - Šroub, 30 Nm + 90°
- 10 - Náboj kola s ložiskem kola
- 11 - Šroub, 200 Nm + 180°
- 12 - Brzdový kotouč
- 13 - Šroub, 8 Nm
- 14 - Krytka
- 15 - Držák třmenu s vodícími čepy a manžetami
- 16 - Třecí segmenty
- 17 - Třmen brzd
- 18 - Šroub, samo jisticí, 35 Nm



Obrázek 56 Schéma uložení zadního nepoháněného kola Škoda Octavia s vlečenou nápravou

[30]

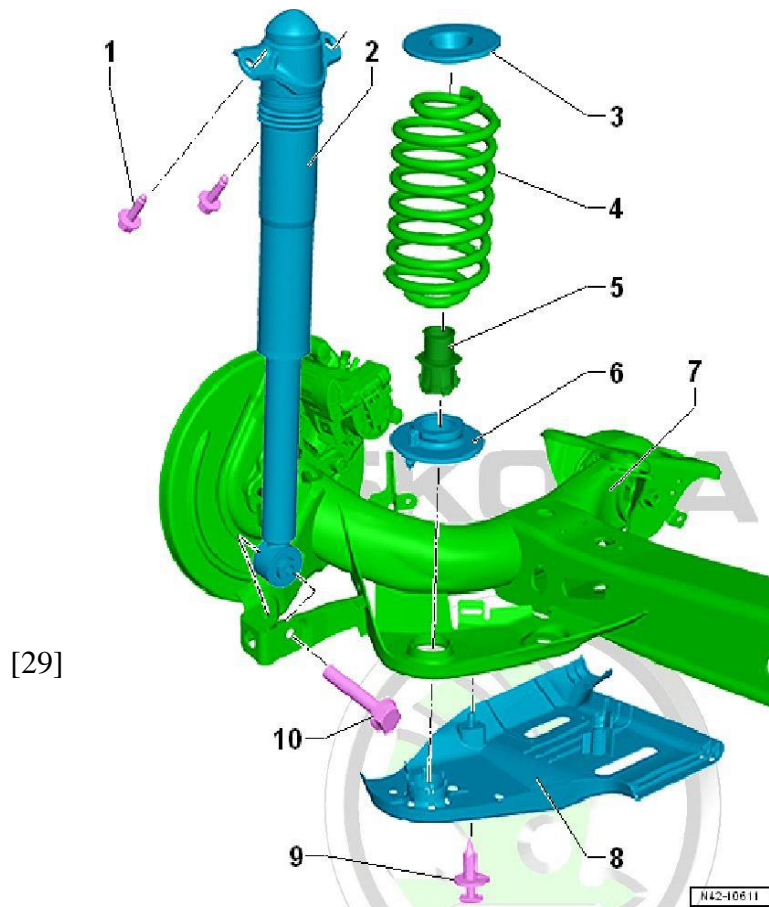
[30]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

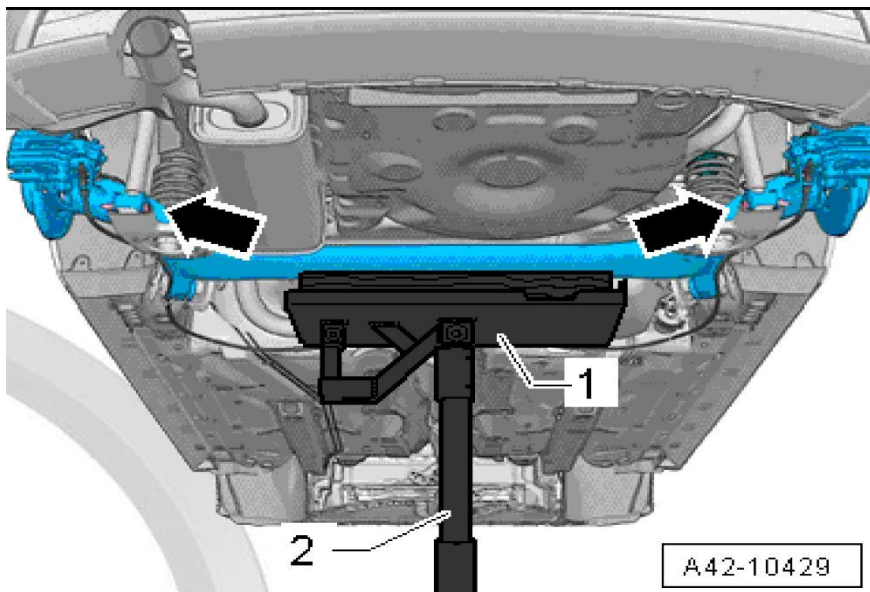
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

- 1 - Šroub, 50 Nm +45°
- 2 - Tlumič
- 3 - Podložka horní
- 4 - Vinutá pružina
- 5 - Svěrný kroužek
- 6 - Podložka spodní
- 7 - Náprava svařená
- 8 - Ochrana proti kamenům
- 9 - Rozpěrný nýt
- 10 - Šroub, 70 Nm +180°



Obrázek 57 Schéma zadní vlečené nápravy Škoda Octavia [29]



Obrázek 58 Schéma zadní vlečené nápravy Škoda Octavia

[29]

4.1.2.5 Zadní víceprvková náprava Škoda Octavia - vyšší motorizace

Zadní víceprvkovou nápravu Škoda Octavia tvoří jedno podélné a tři příčná ramena. Toto řešení vyniká možností řešit působení podélných a bočních sil nezávisle na sobě. Boční síly působí na příčná ramena, která zajišťují, aby kolo i při působení bočních sil zůstalo v optimální poloze. Podélná síla působí na vlečené rameno. Náprava má příčný zkrutný stabilizátor, vinuté pružiny a tlumiče, které jsou pro dosažení co největšího úložného prostoru umístěny šikmo, vně pružin. [34]

Příčná ramena i vlečené rameno musí zajišťovat tuhost nápravy, z tohoto důvodu musí být jejich uložení tuhá a velmi přesně vyrobená. Lůžko podélného, vlečeného ramene je umístěno co nejvýše, aby bránilo předklápění vozu při brždění. Díky uložení podélného ramene je náprava v podélném směru optimálně poddajná a utlumuje i velké podélné síly. [34]

Uložení kola zaručuje dobrou směrovou stabilitu kola po všech druzích povrchu vozovky, přičemž kolo zůstává vůči vozovce neutrální při jakémkoli propružení. Náprava je jako celek navržena s mírnou nedotáčivostí, která navíc roste s mírou zatížení vozu, což zlepšuje směrovou stabilitu vozidla. Při brždění naopak náprava kola staví do mírné sbíhavé polohy, která zlepšuje stabilitu vozidla i při brždění v zatáčce. [34]

Jelikož zadní náprava tohoto vozu může být poháněná i nepoháněná, jsou drobné rozdíly v konstrukci ložiskového uložení kola.

Nepoháněná náprava využívá stejného konceptu jako zadní spřažená náprava - tedy ložiskové jednotky druhé generace. Rozdíl je ovšem v tom, že na rozdíl od vlečené nápravy, která má čep pro uložení ložiska k rameni přišroubovaný, má její víceprvková náprava již integrovaný; tedy čep je součástí ramena nápravy. Ložisko je opět zafixováno šroubem.

Naopak poháněná náprava využívá stejně jako přední náprava ložiskové jednotky třetí generace tak, aby mohl být připojen hnací hřídel. Vnější kroužek jednotky má integrovanou přírubu pro uchycení ložiska k rameni nápravy.

V následujících schématech je zobrazena konstrukce zadní víceprvkové nápravy a ložiskového uložení kola vozu Škoda Octavia 3 v provedeních pro poháněná i nepoháněná kola.

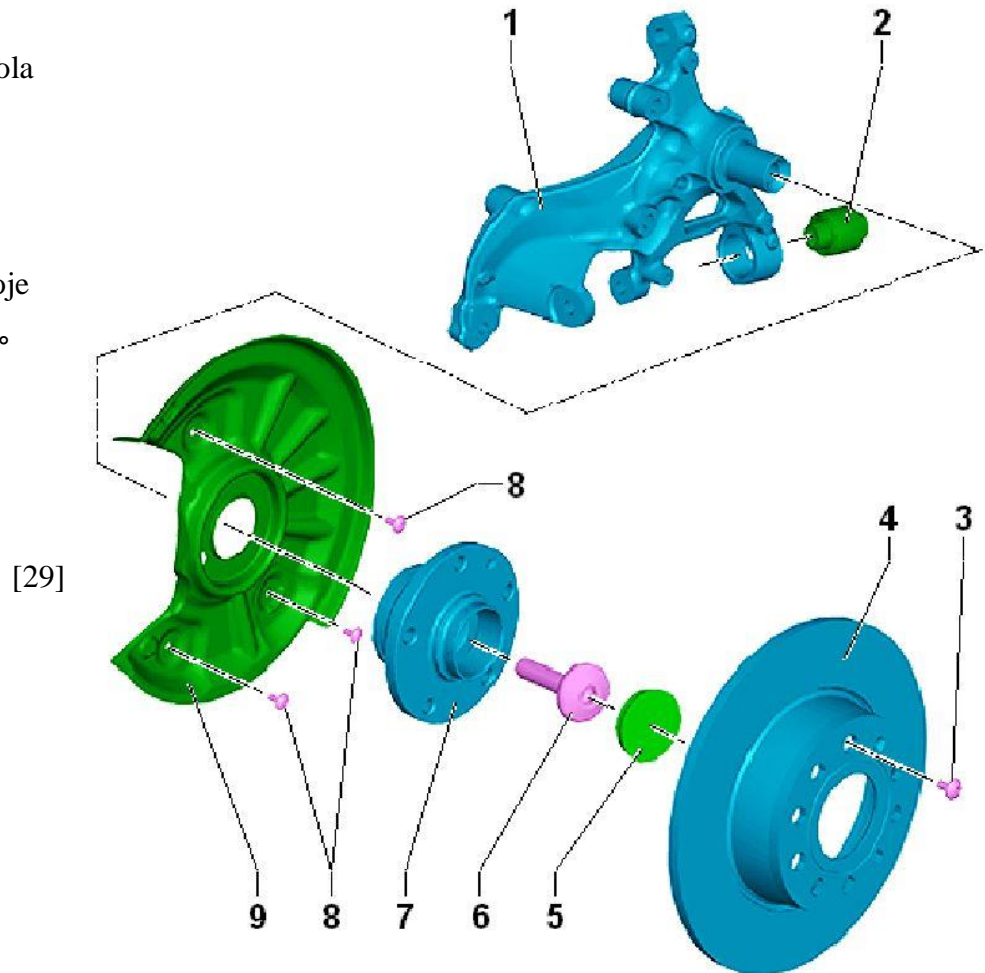
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Řešení nepoháněné nápravy

- 1 - Hlava ložiska čepu kola
- 2 - Pryžkovové lůžko
- 3 - Šroub
- 4 - Brzdový kotouč
- 5 - Prachová krytka náboje
- 6 - Šroub, 200 Nm +180°
- 7 - Náboj kola
- 8 - Šroub
- 9 - Krycí plech



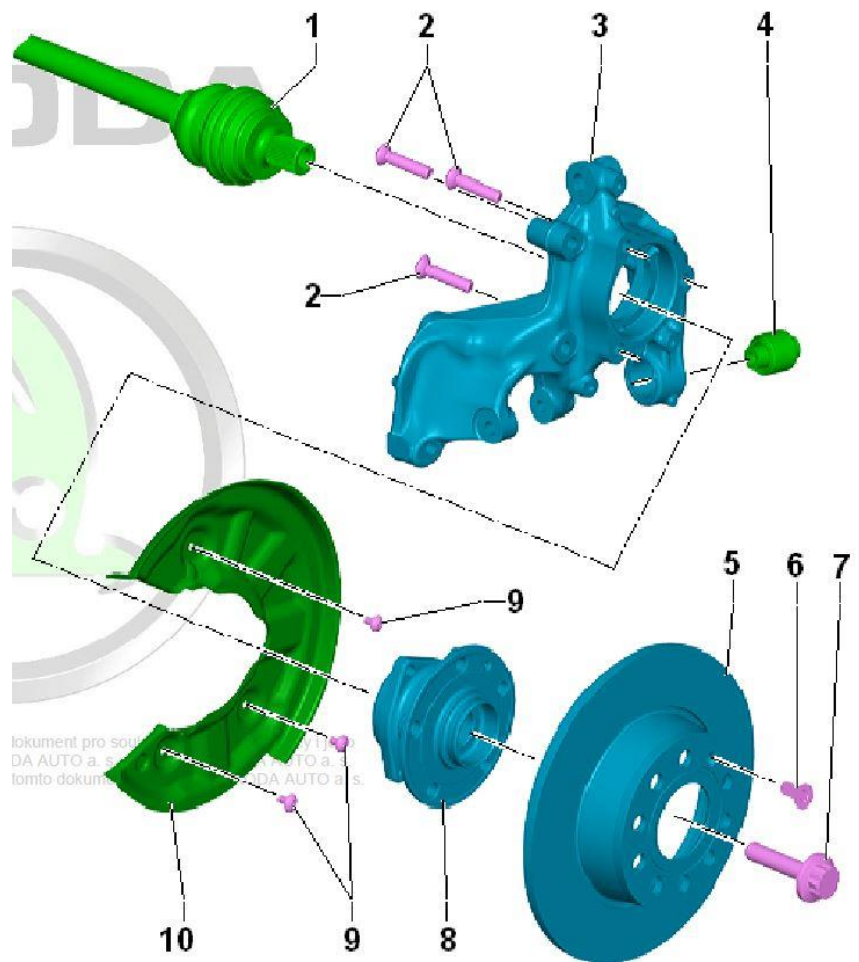
Obrázek 59 Schéma uložení zadního nepoháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia

[29]

Řešení poháněné nápravy

- 1 - Hnací hřídel
- 2 - Šroub, 70 Nm + 90°
- 3 - Hlava ložiska čepu kola
- 4 - Pryžkovové lůžko
- 5 - Brzdový kotouč
- 6 - Šroub, 4,5 Nm
- 7 - Šroub, 200 Nm + 180°
- 8 - Náboj kola s ložiskem kola
 - snímací kroužek ABS je zabudovaný v náboji kola
- 9 - Šroub, 12 Nm
- 10 - Krycí plech

[29]



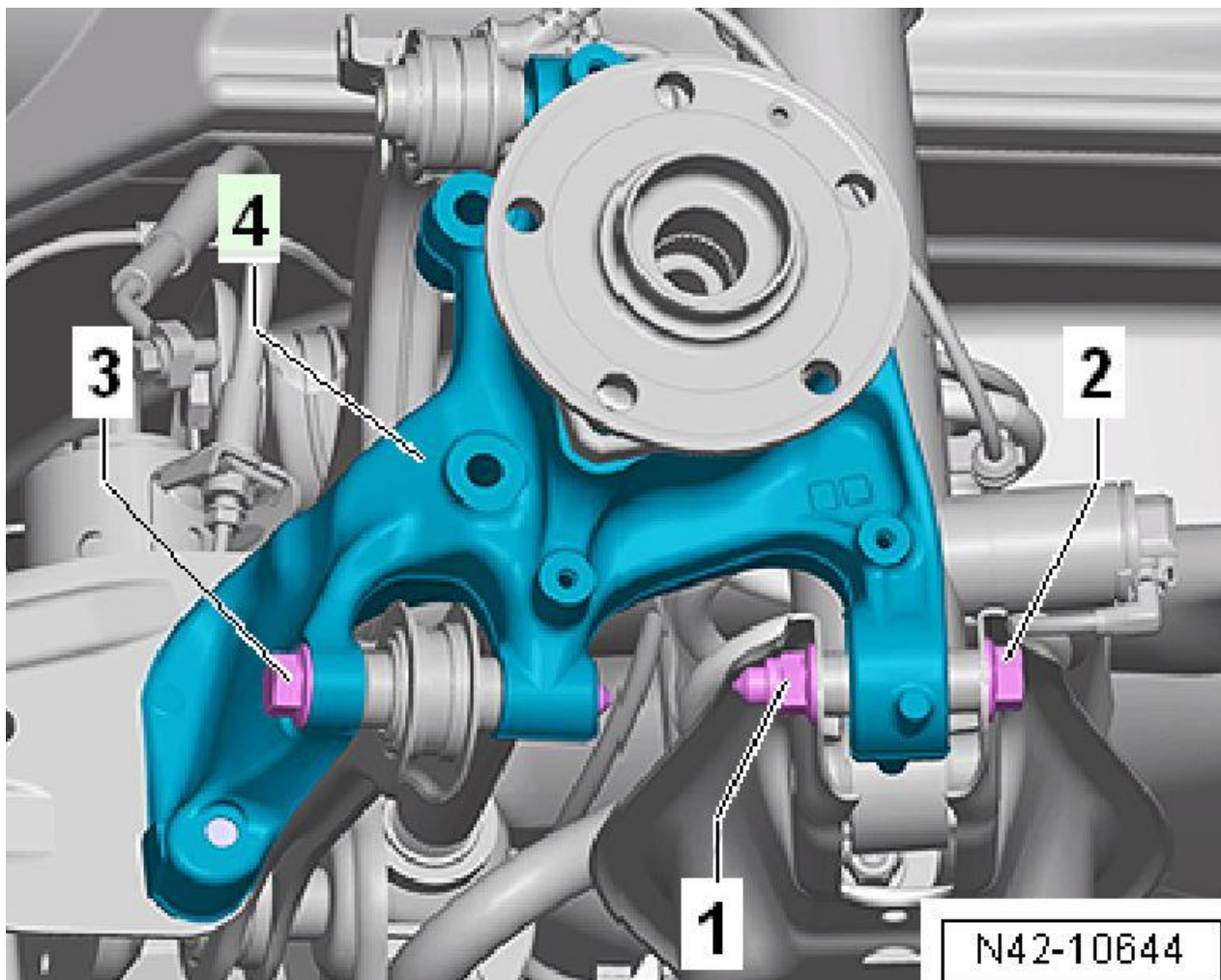
Obrázek 60 Schéma uložení zadního poháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia

[29]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 61 Schéma uložení zadního poháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia

[29]

5 Návrh inovace uložení kola osobního automobilu (Škoda Octavia)

Pro navržení úprav pro stávající uložení kola osobního automobilu je uvažován teoretický model vozu obdobný modelu Škoda Octavia 3. generace. Parametry jsou stanoveny tak, aby tento model co nejvíce připomínal skutečnost. Informace o konstrukci jednotlivých segmentů uložení kola i samotného vozu byly zjišťovány z již zmíněné literatury, z rozhovorů s konzultanty, servisními pracovníky, či vyzporované na samotném vozidle, případně z literatury zmíněné v dalších částech práce. Informace, které nebylo možné explicitně zjistit, byly odhadnuty.

V přílohách této práce jsou vstupní i vypočtené hodnoty. Parametrů oblouku pro jízdu zatáčkou a rychlost průjezdu byly stanoveny: poloměr oblouku zatáčky $R = 200$ m, rychlost průjezdu $v = 80$ km/h, což je rychlost a poloměr, při kterých se odstředivá síla při průjezdu zatáčkou rovná velikosti cca 30 % velikosti odstředivé, která by na vozidlo působila pokud by jelo vozidlo na mezi adheze v bočním směru.

Pro výpočty stávajících i navrhovaných řešení byl vytvořen univerzální program v programu Microsoft Excel, který je součástí příloh práce.

5.1 Zadní kolo

Popis stávajícího řešení a navrhované inovace se v případě zadního kola, bude týkat uložení nepoháněného kola. To je u vozů Škoda Octavia 3. generace uloženo dvěma způsoby.

U nižších motorizací je ložisko připevněno na samostatný čep, který je přišroubován k rameni vlečené nápravy, u vyšších motorizací je ložisko přímo nasazeno na čep, který je integrovaný s ramenem víceprvkové nápravy. (viz kapitoly: 4.1.2.4 a 4.1.2.5)

5.1.1 Zadní kolo – popis principu inovace

V případě uložení s oběma nápravami (vlečenou i víceprvkovou) se používá ložisková jednotka 2. generace s na vnějším kroužku integrovanou přírubou pro uchycení brzdového

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

kotouče a kola. Toto řešení má dle dostupných informací značný ofset mezi rovinou symetrie ložiska a kola, tedy mezi osami působišť ložiska a kola (v případě použití standardního disku o ET43, činí tento ofset 12,5 mm)¹. Zároveň toto řešení vyžaduje použití součástí na zajištění ložiska na čepu, tedy speciálního šroubu. Tato konstrukce má pak nutně určitý vliv na seřízení ložiska a tudíž i na jeho životnost. Šroub a čep pak zbytečně zvyšují hmotnost neodpružených hmot a způsobují komplikovanější montáž.

S ohledem na tyto skutečnosti, především však na velikost zmiňovaného offsetu, se jako zlepšení stávající konstrukce jeví náhrada stávající jednotky 2. generace za modernější jednotku 3. generace, která integruje jak přírubu pro uchycení kola a brzdového kotouče tak přírubu pro připevnění k těhlici nápravy. Tato jednotka je již plně seřízená, dodaná ve stavu umožňujícím okamžitou a snadnou montáž a je bezúdržbová. Je namazaná permanentním mazivem, které je utěsněno pryžovou ucpávkou na obou stranách a má integrovaný magnetický kroužek pro měření otáček. Díky pozici vnější příruby pro uchycení kola vůči rovině symetrie řad ložiska je v tomto případě příhodnější velikost offsetu mezi působišti ložiska a kola (v případě disku o ET43 je ofset **-4,1 mm**)².

Vzhledem k tomu, že zadání této práce počítá s inovací ložiskového uložení kola osobního automobilu tak, aby nedošlo k výraznějším změnám sousedících komponent, je takto relativně možná pouze aplikace této inovace na rameno **víceprvkové nápravy pro poháněné zadní kolo** (viz kapitola 4.1.2.5).

V případě pokusu o aplikaci tohoto řešení vůči zadní vlečené nápravě by řešení znamenalo značné změny v celé koncepci konstrukce nápravy včetně nutného uzpůsobení příruby pro připevnění ložiskové jednotky. Při zachování konstantního rozchodu vozidla by mezi přírubou pro uchycení k nápravě na ložiskové jednotce a přírubou pro přichycení jednotky na nápravě vznikla mezera o šířce cca 6 cm, kterou by bylo třeba koncepčně vyřešit.

Navrhované řešení tedy tkví v principu, že ložisková jednotka 2. generace, která je připevněna k rameni víceprvkové nápravy pro uchycení nepoháněných, zadních kol (Obrázek 59), bude nahrazena ložiskovou jednotkou 3. generace, připevněnou na rameno zadní víceprvkové nápravy, která se jinak používá pro uchycení zadních, poháněných kol (Obrázek 60). Jelikož se u zadních, poháněných kol používá uložení kola na jednotkách 3. generace, tento koncept nezasahuje nijak do vnějších rozměrových parametrů vozidla, jako je rozchod či do parametrů konstrukce nápravy např. pozice nápravy vůči přírubě ložiska.

¹ V souvislosti se zadáním této práce a konzultace s vedoucím práce, byl kompletní návrh inovace řešen pro jeden zvolený disk kola: 6Jx15 5x112 ET43. Bylo by zajímavé vytvořit studii životnosti ložiska v závislosti na velikosti ET jednotlivých disků. Tento cíl je však nad rámec zadání této práce.

² Míinus znamená, že působišť ložiska je na druhé straně od roviny symetrie kola, než v předchozím případě. S tímto značením bude nadále pracováno. **Za kladné hodnoty offsetu budou považovány ty směrem od roviny symetrie kola vně vozidla, záporné ty, které směřují dovnitř vozidla.**

Jelikož se bude jednat o uložení nepoháněných kol, není třeba, aby nová jednotka 3. generace byla vybavena vnitřním drážkováním. Příklady možných jednotek aplikovatelných pro tento návrh jsou v tabulce na obrázku: Obrázek 10 na straně 21. Jednalo by se tedy o druhy: GEN 3.2 W, GEN 3.2, GEN 3 EW, GEN 3 E. Je ovšem třeba brát ohled na zajištění vnitřních kroužků jednotky proti axiálnímu posuvu. U jednotek typu GEN 3.2 a GEN 3E, které mají jeden nebo oba vnitřní kroužky na náboji pouze nalisované, je třeba tyto jejich vnitřní kroužky ještě axiálně zajistit – aby nedošlo k jejich uvolnění vlivem působení axiální síly. Naopak jednotky typu GEN 3.2W a GEN 3EW lze použít bez dalších konstrukčních opatření.

Pro zvolenou inovaci tak byla vybrána jednotka typu **GEN 3 EW** a s tímto principem konstrukčního uspořádání bude nadále pracováno.

Výkresová dokumentace původního a nového řešení je v přílohách 1 a 2.

5.1.2 Zadní nehnaná náprava – komplexní metodika výpočtu – obecné pro původní i nové řešení

Vzhledem k faktu, že automobilové ložiskové jednotky patří do segmentu dílů, které jsou vyvíjené zákazníkům (automobilkám) na míru, není prakticky možné zjistit o nich podrobnější informace či údaje pro výpočty.

Na základě zjištěných informací od některých výrobců, automobilek, uživatelů či odhadnutých rozměrů a údajů z dosažitelných materiálů, byl stanoven přibližný model rozměrů daného vozu, komponent kolové jednotky i jednotlivých ložiskových jednotek. Stejně tak byly stanoveny jednotlivé jízdní cykly a jejich procentuální zastoupení v kilometrovém proběhu.

Pro výpočet trvanlivostí a statických bezpečností jednotlivých ložisek byl využit výpočtový model předpokládající na místo dvouřadé jednotky dvě samostatná kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, jejichž parametry byly vzaty z katalogu výrobce.

Celková výsledná dynamická a statická únosnost by pro tento zmíněný model odpovídala vztahům:

Celková základní dynamická únosnost jednotky (ložisek montovaných v kontaktu vedle sebe)

$$C = 1,62 \cdot C' \quad (4)$$

C' – Základní dynamická únosnost jedné řady (jednotlivého ložiska)

Celková základní statická únosnost jednotky (ložisek montovaných v kontaktu vedle sebe)

$$C_0 = 2 \cdot C_0' \quad (5)$$

C_0' – Základní statická únosnost jedné řady (jednotlivého ložiska)

[3]

V příloze číslo 5 této práce v kapitole 9.1 jsou uvedeny vstupní a vypočtené hodnoty k jednotlivým řešením a jízdním stavům.

5.1.2.1 Režim jízdy 1 – přímá jízda – zadní nehnaná náprava

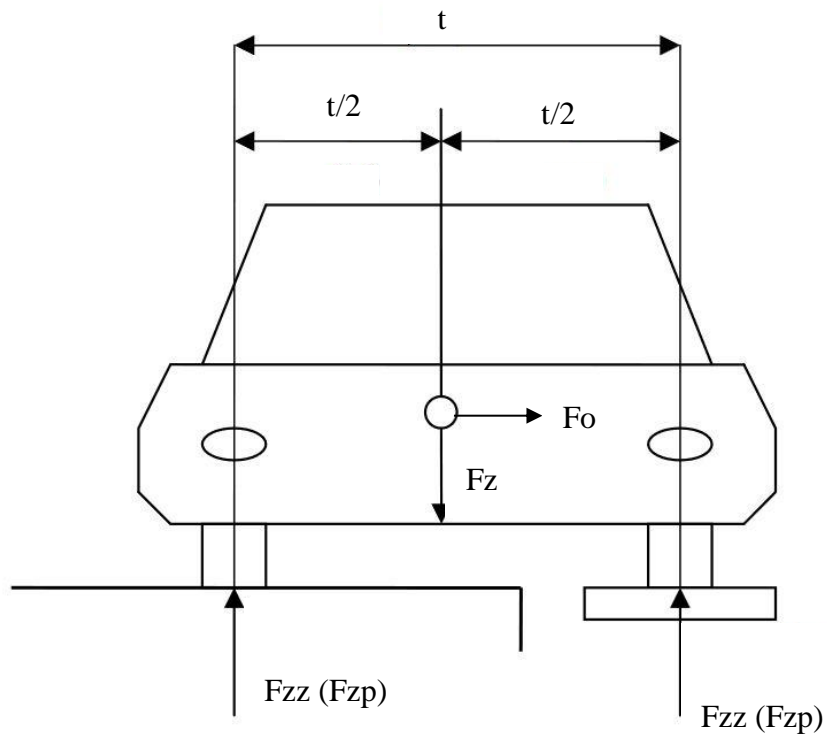
Přímá jízda nekonstantní rychlostí. Tangenciální síla ve směru osy x od pohonu je nulová, neboť se jedná o nehnanou nápravu. Vnější axiální síla na ložisko od zatáčení je rovněž nulová – jízda po rovině. Zastoupení – 90 % kilometrového proběhu.

Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (6)$$

Odstředivá síla

$$F_o = 0 \text{ N}$$

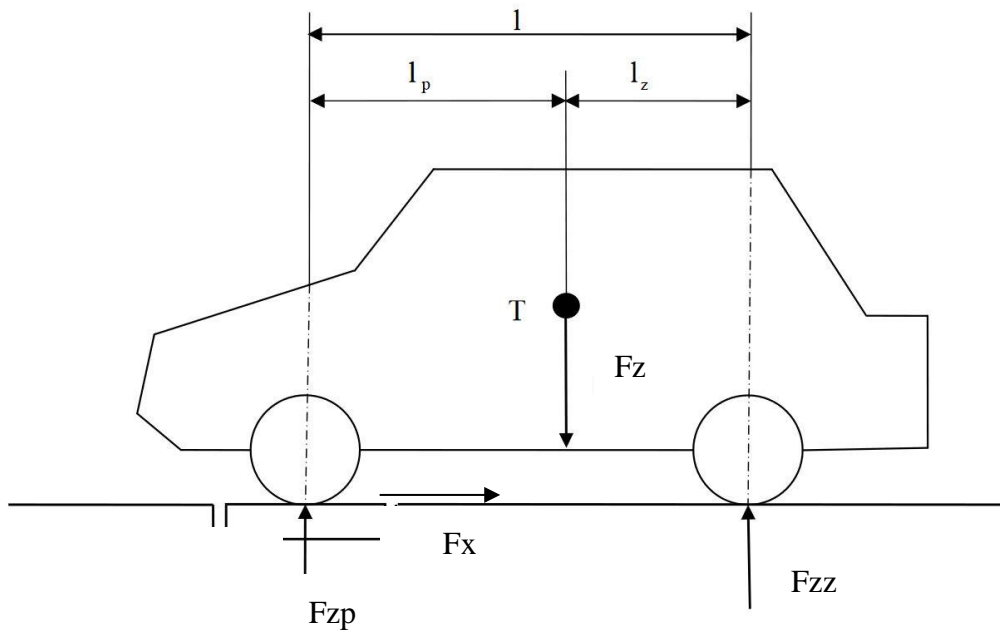


Obrázek 62 Základní rozměry vozu a působící síly [28]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

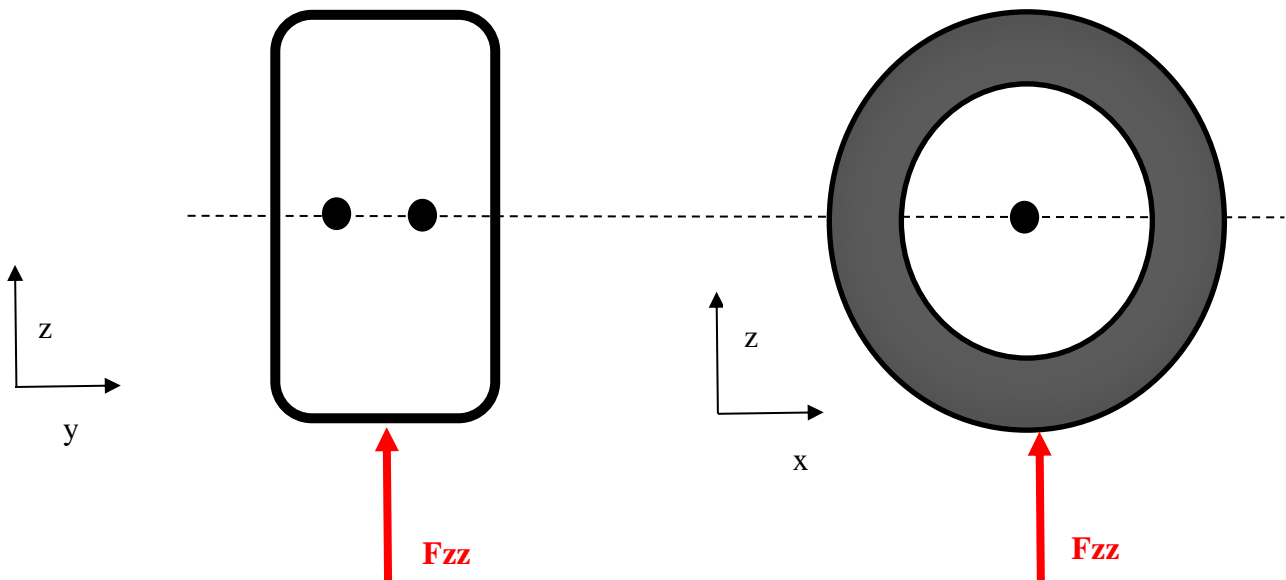
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 63 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]

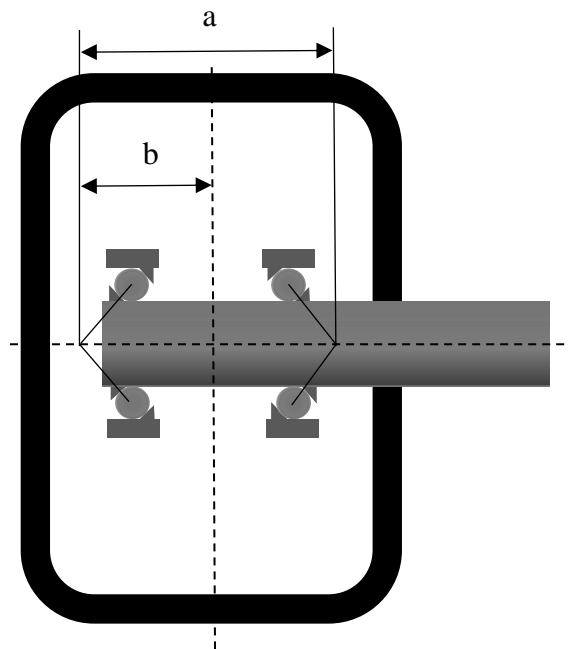


Obrázek 64 Síly působící na kolo a ložiska

Svislá síla na zadní nápravu

$$F_{zz} = \frac{Lp \cdot F_z}{Lp + LZ} \quad [N] \quad (7)$$

Tangenciální síla od pohonu na zadní nápravu



Obrázek 65 Kóty rozměrů uložení ložiska

$$F_{xz} = 0 - \text{nehnaná náprava}$$

Celková radiální síla na 1 ložisko zadní nápravy – přímá jízda

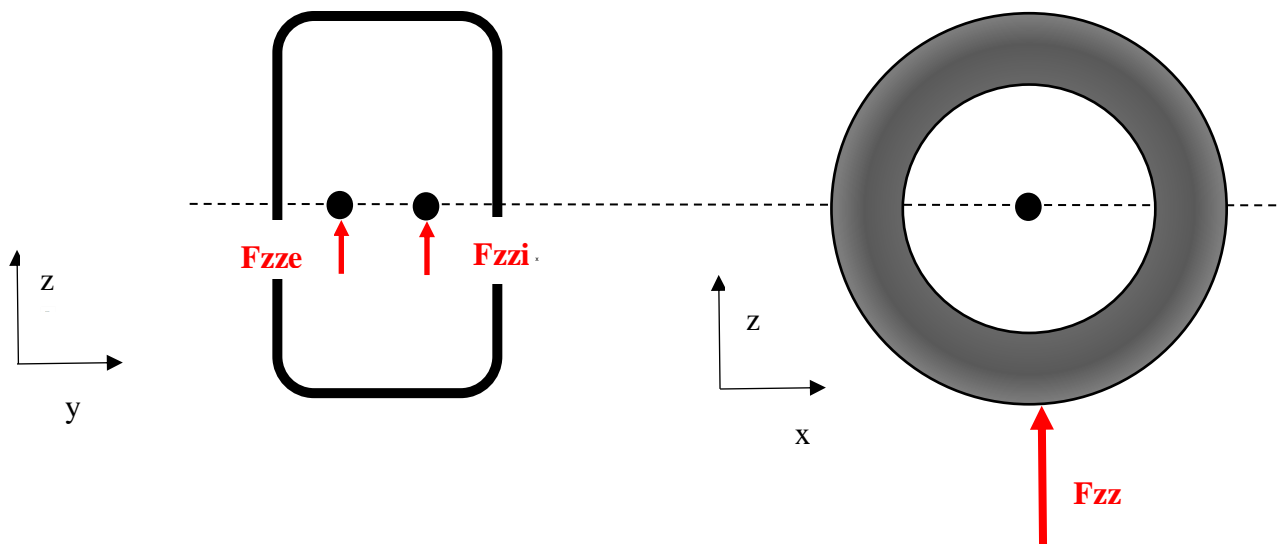
$$F_{rz} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{F_{xz}^2 + F_{zz}^2} \cdot kr \quad [N] \quad (8)$$

kr – dynamický součinitel radiální síly

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 66 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rze} = \frac{F_{rz} \cdot (a - b)}{a} \quad [N] \quad (9)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rzi} = \frac{F_{rz} \cdot b}{a} \quad [N] \quad (10)$$

Vnější axiální síla od zatáčení

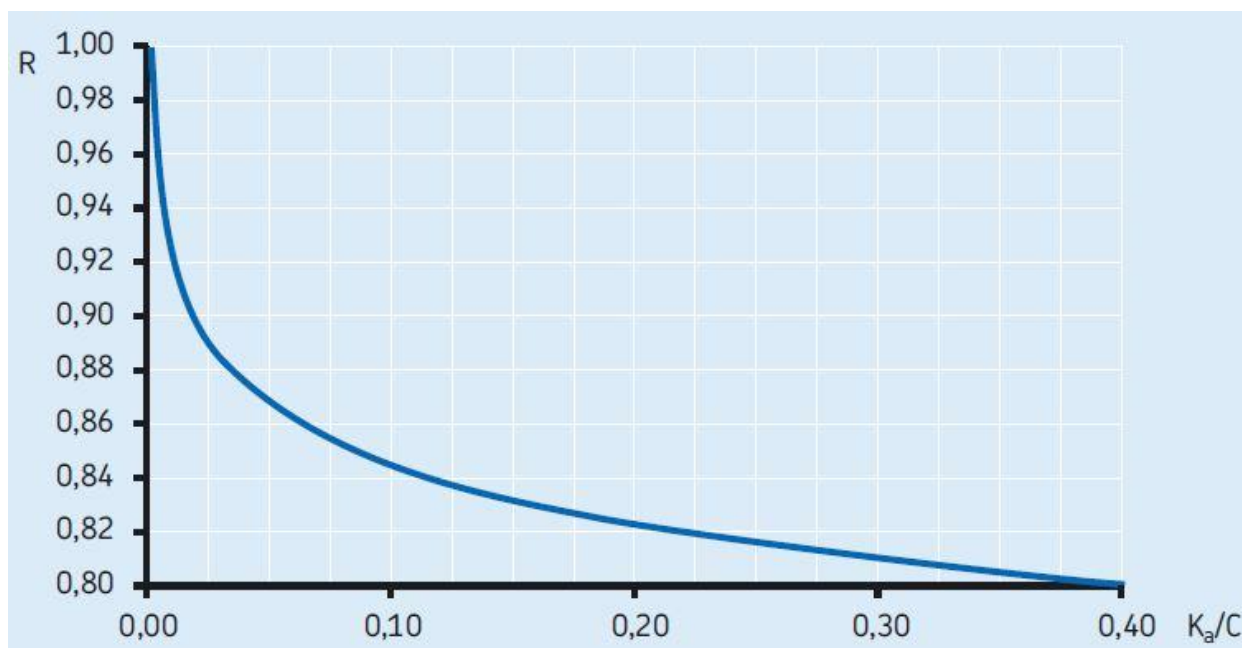
$$F_{az} = 0 - \text{přímá jízda}$$

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{az}/C \quad (11)$$

Pro $F_{az} = 0$ platí $R=1$ (odečíst z Obrázek 67: Faz odpovídá Ka)



Obrázek 67 Graf pro určení proměnné R

[3]

Axiální síla na vnější řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rze} > F_{rzi}$

$$F_{aze} = R \cdot F_{rze} \quad [N] \quad (12)$$

Pokud $F_{rze} < F_{rzi}$

$$F_{aze} = R \cdot F_{rzi} \quad [N] \quad (13)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rze} > F_{rzi}$

$$F_{azi} = R \cdot F_{rze} \quad [N] \quad (14)$$

Pokud $F_{rze} < F_{rzi}$

$$F_{azi} = R \cdot F_{rzi} \quad [N] \quad (15)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Třeba určit poměr

$$F_{aze}/F_{rze}$$

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} \leq 1,14 \quad (16)$$

Platí vztah

$$P_{ze} = F_{rze} + 0,55 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (17)$$

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} > 1,14 \quad (18)$$

Platí vztah

$$P_{ze} = 0,57 \cdot F_{rze} + 0,93 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (19)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 ze} = \left(\frac{C}{P_{ze}}\right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (20)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (21)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km ze} = L_{10 ze} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (22)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{0ze} = F_{rze} + 0,52 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (23)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0ze} = \frac{C_0}{P_{0ze}} \quad (24)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{azi}/F_{rzi} \quad (25)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} \leq 1,14 \quad (26)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = F_{rzi} + 0,55 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (27)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} > 1,14 \quad (28)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = 0,57 \cdot F_{rzi} + 0,93 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (29)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10zi} = \left(\frac{C}{P_{zi}}\right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (30)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (31)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

$$L_{10 \text{ km } zi} = L_{10 \text{ zi}} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (32)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{0zi} = F_{rzi} + 0,52 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (33)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{0 \text{ zi}} = \frac{C_0}{P_{0zi}} \quad (34)$$

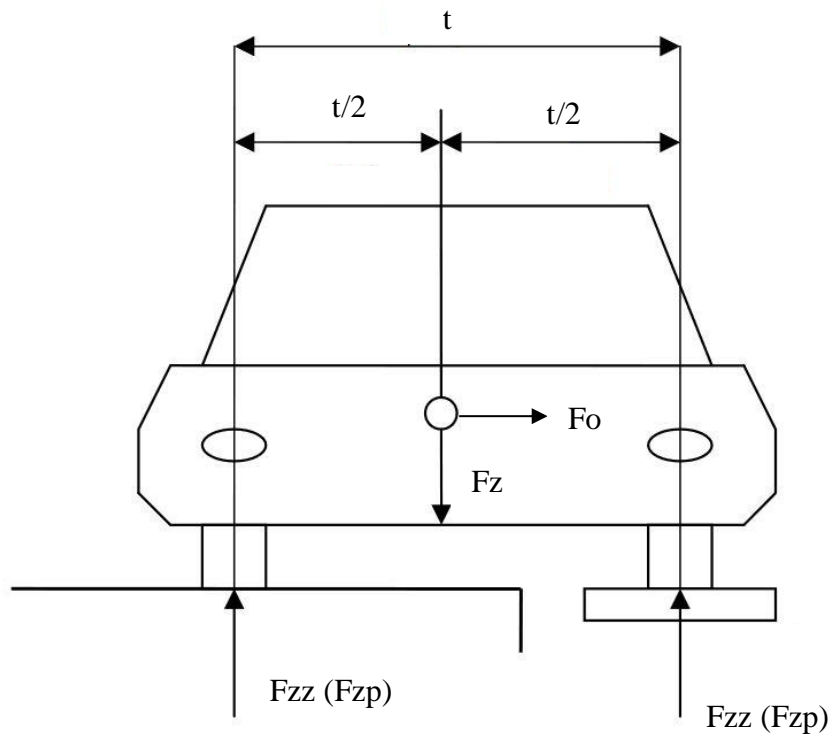
[3]

5.1.2.2 Režim jízdy 2 – jízda zatáčkou - zadní nehnaná náprava - konstantní rychlost - vnější kolo

Jízda konstantní rychlostí. Tangenciální síla ve směru osy x od pohonu nulová, neboť se jedná o nehnanou nápravu. Zastoupení – 5 % kilometrového proběhu. Poloměr oblouku zatáčky $R = 200$ m, rychlost průjezdu $v = 80$ km/h.

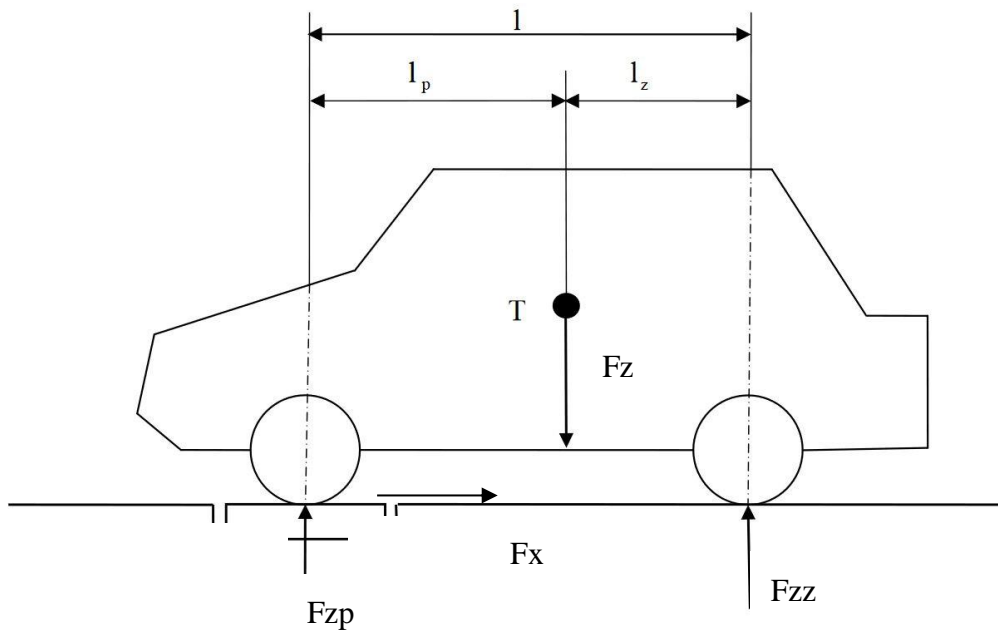
Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (35)$$



Obrázek 68 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]



Obrázek 69 Základní rozměry vozu a působící síly

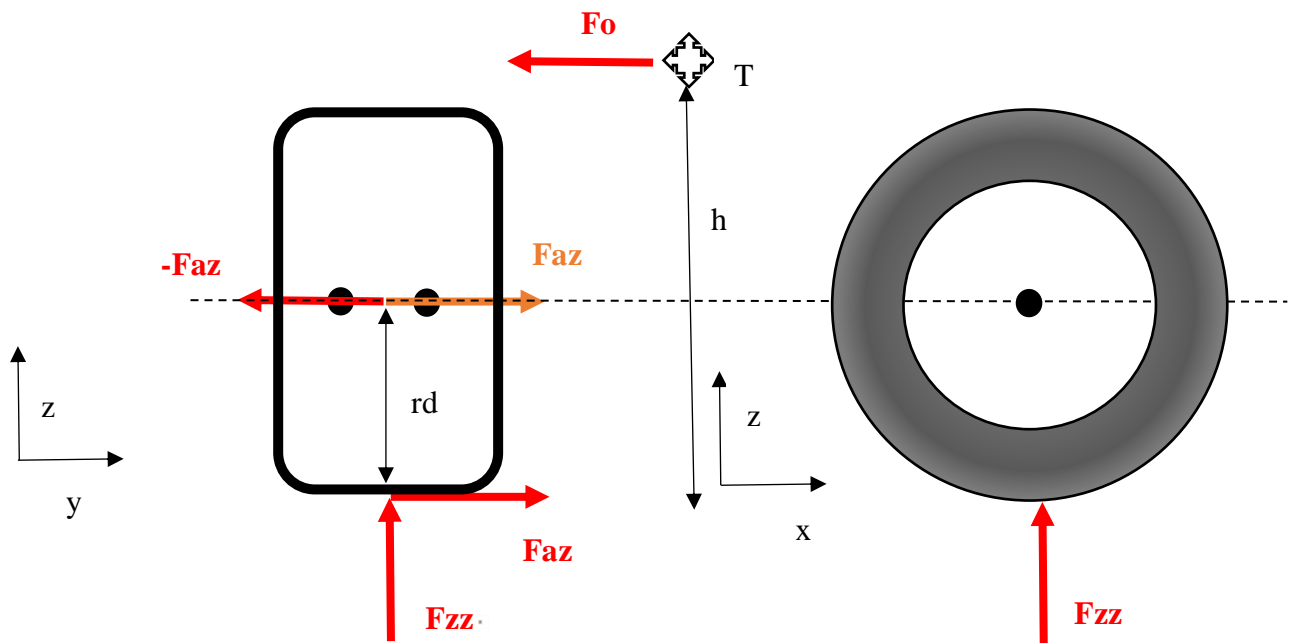
[28]

Svislá síla na vnější ložisko zadní nápravy

$$F_{zz} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_p \cdot F_z}{L_p + L_z} \quad [N] \quad (36)$$

Tangenciální síla od pohonu na zadní nápravu

$$F_{xz} = 0 - \text{nehnaná náprava}$$



Obrázek 70 Síly působící na kolo a ložiska

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad [N] \quad (37)$$

Vnější axiální síla na jedno ložisko od zatáčení

$$F_{az} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_p \cdot F_o}{L_p + L_z} \cdot k_a \quad [N] \quad (38)$$

k_a – dynamický součinitel axiální síly

Přítěžující radiální síla od zatáčení na vnější ložisko zadní nápravy

$$F_{rz\ zat} = \frac{2 \cdot F_{az} \cdot h}{t} \quad [N] \quad (39)$$

DIPLOMOVÁ PRÁCE

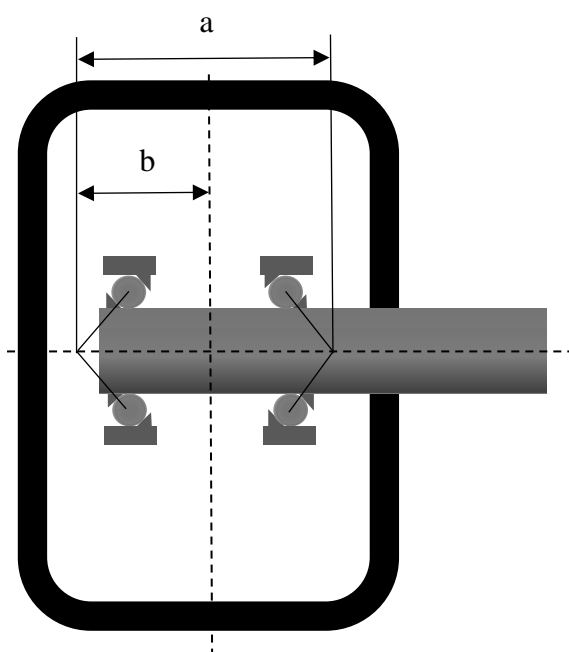
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

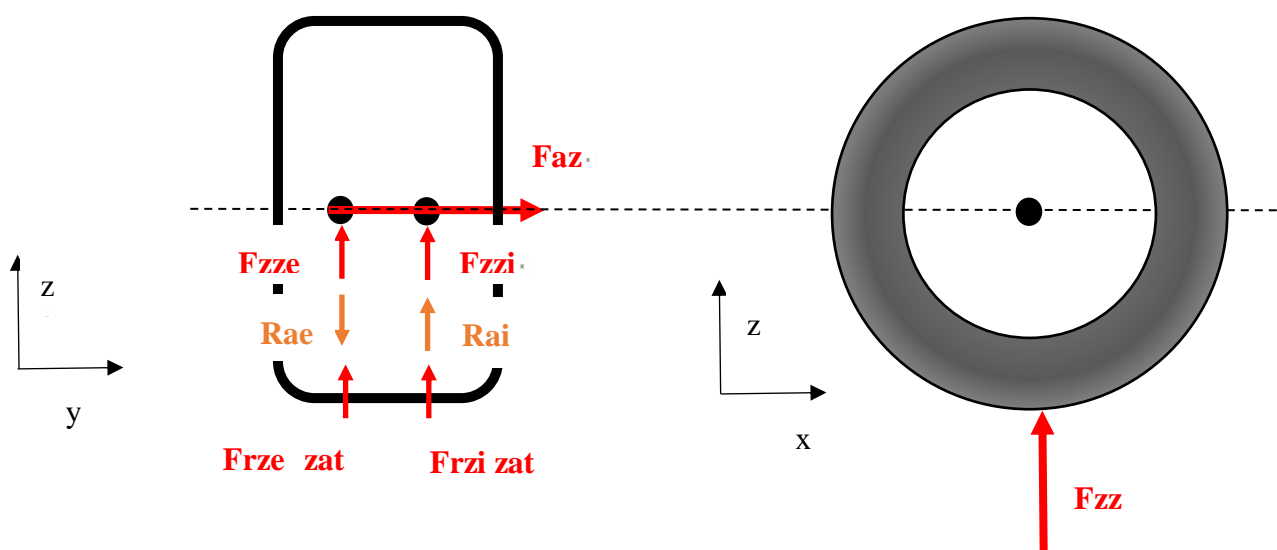
Celková zatěžující radiální síla na vnější ložisko zadní nápravy

$$F_{rz} = \sqrt{\left(\frac{F_x}{2}\right)^2 + (F_{zz} + F_{rz\ zat})^2} \cdot kr \quad [N] \quad (40)$$

kr – dynamický součinitel radiálních sil



Obrázek 71 Kóty rozměrů uložení ložiska



Obrázek 72 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální reakční síla od klopného momentu od zatáčení

$$R_{az} = F_{az} \cdot \frac{r_d}{a} \quad [N] \quad (41)$$

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rze} = \frac{F_{rz} \cdot (a - b)}{a} \pm R_{az} \quad [N] \quad * \quad (42)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rzi} = \frac{F_{rz} \cdot b}{a} \pm R_{az} \quad [N] \quad * \quad (43)$$

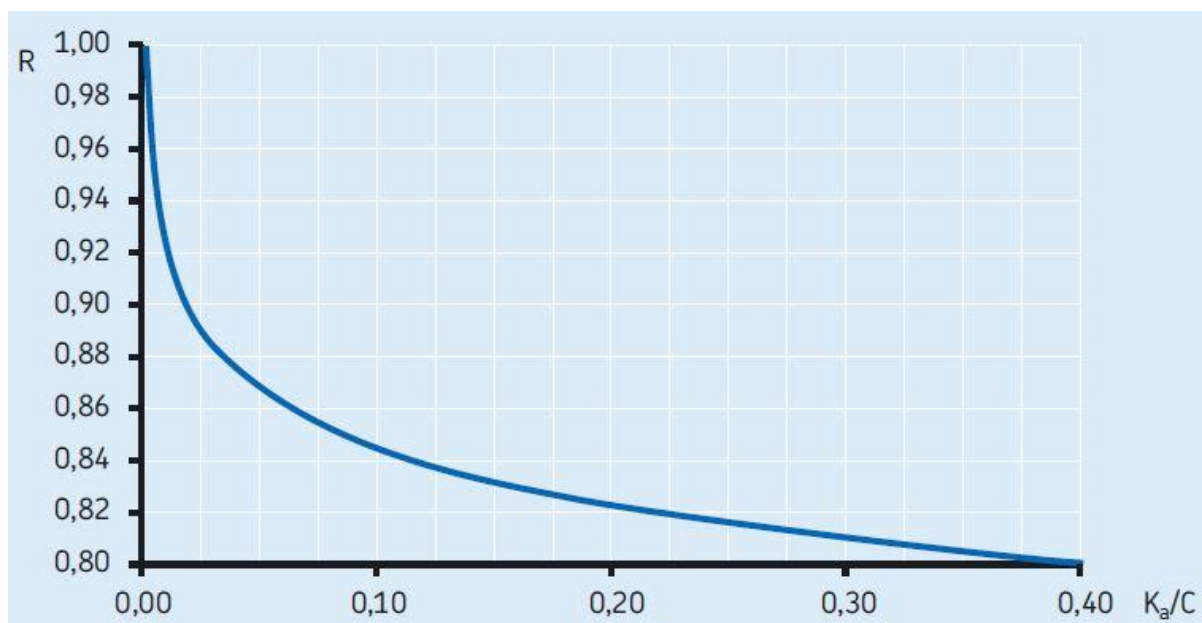
* \pm závisí na směru R_{az} – viz Obrázek 72

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

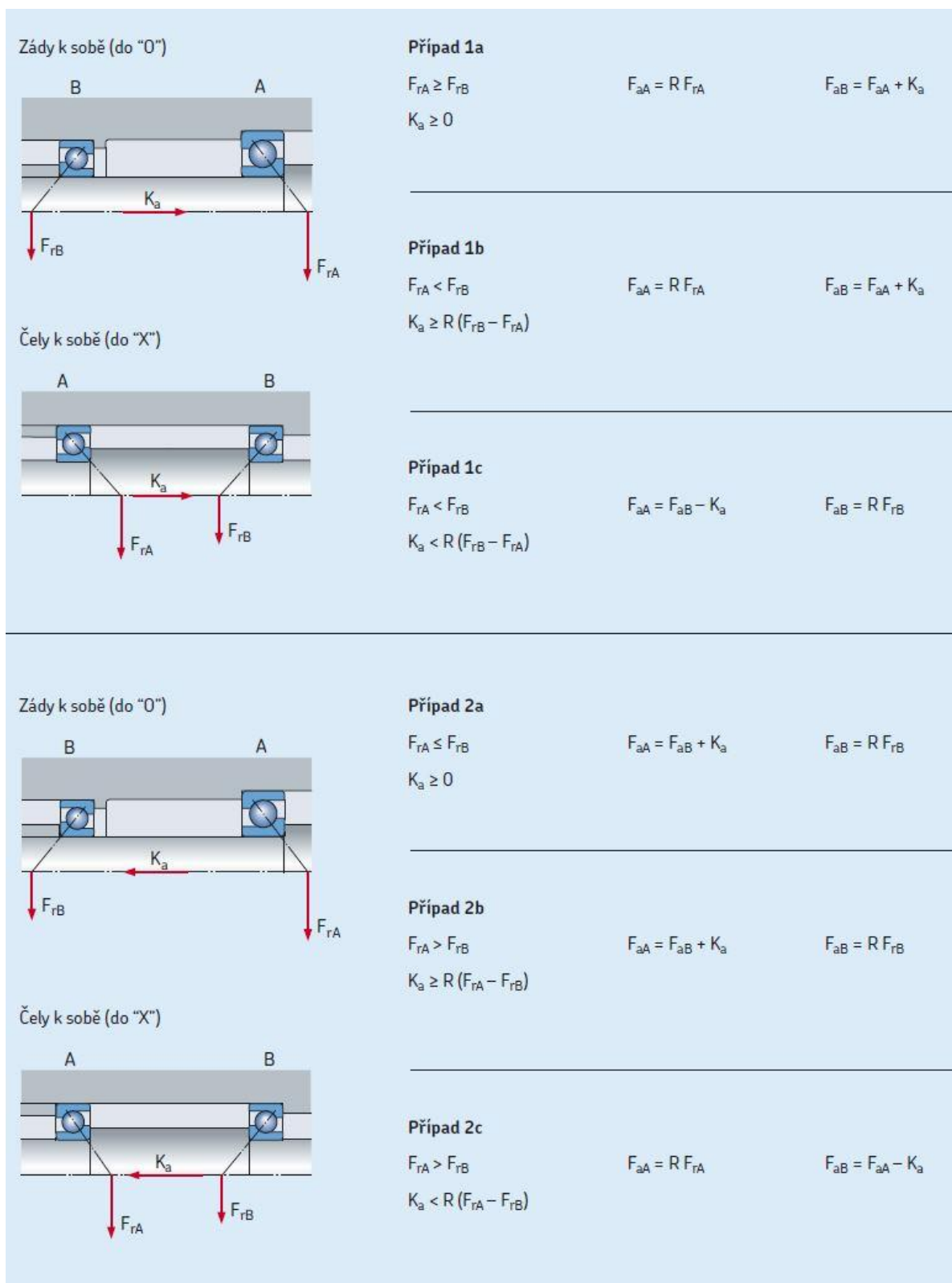
$$F_{az}/C \quad (44)$$

R odečíst z Obrázek 73: Faz odpovídá K_a/C



Obrázek 73 Graf pro určení proměnné R

Axiální síly v ložisku



Obrázek 74 Výpočet axiální síly v ložisku

Do vztahů na Obrázek 74 je třeba dosadit tak, aby byly splněny všechny podmínky způsobu zatížení.

Pro původní řešení zadní nehnané nápravy vnějšího kola s ložiskovou jednotkou 2. Generace platí případ **1c**.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{aze} = F_{azi} - F_{az} \quad [N] \quad (45)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{azi} = R \cdot F_{rzi} \quad [N] \quad (46)$$

[3]

Pro navrhované řešení zadní nepoháněné nápravy s ložiskovou jednotkou 3. Generace platí případ **1a**, kde $K_a = F_{az}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{aze} = F_{azi} + F_{az} \quad [N] \quad (47)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{azi} = R \cdot F_{rzi} \quad [N] \quad (48)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{aze}/F_{rze} \quad (49)$$

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} \leq 1,14 \quad (50)$$

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Platí vztah

$$P_{ze} = F_{rze} + 0,55 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (51)$$

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} > 1,14 \quad (52)$$

Platí vztah

$$P_{ze} = 0,57 \cdot F_{rze} + 0,93 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (53)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 ze} = \left(\frac{C}{P_{ze}}\right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (54)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (55)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km ze} = L_{10 ze} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (56)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{0ze} = F_{rze} + 0,52 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (57)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0ze} = \frac{C_0}{P_{0ze}} \quad (58)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{azi}/F_{rzi} \quad (59)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} \leq 1,14 \quad (60)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = F_{rzi} + 0,55 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (61)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} > 1,14 \quad (62)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = 0,57 \cdot F_{rzi} + 0,93 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (63)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10zi} = \left(\frac{C}{P_{zi}}\right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (64)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (65)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

$$L_{10kmzi} = L_{10zi} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (66)$$

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{0zi} = F_{rzi} + 0,52 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (67)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{0zi} = \frac{C_0}{P_{0zi}} \quad (68)$$

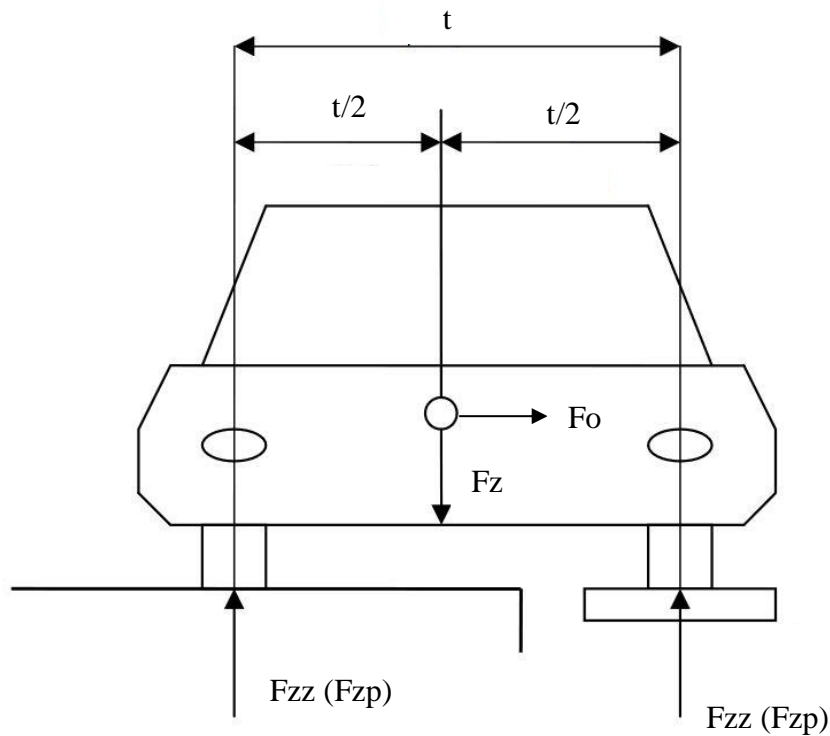
[3]

5.1.2.3 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou - zadní nehnaná náprava - konstantní rychlost - vnitřní kolo

Jízda konstantní rychlostí. Tangenciální síla ve směru osy x od pohonu nulová, neboť se jedná o nehnanou nápravu. Zastoupení – 5 % kilometrového proběhu. Poloměr oblouku zatáčky $R = 200$ m, rychlost průjezdu $v = 80$ km/h.

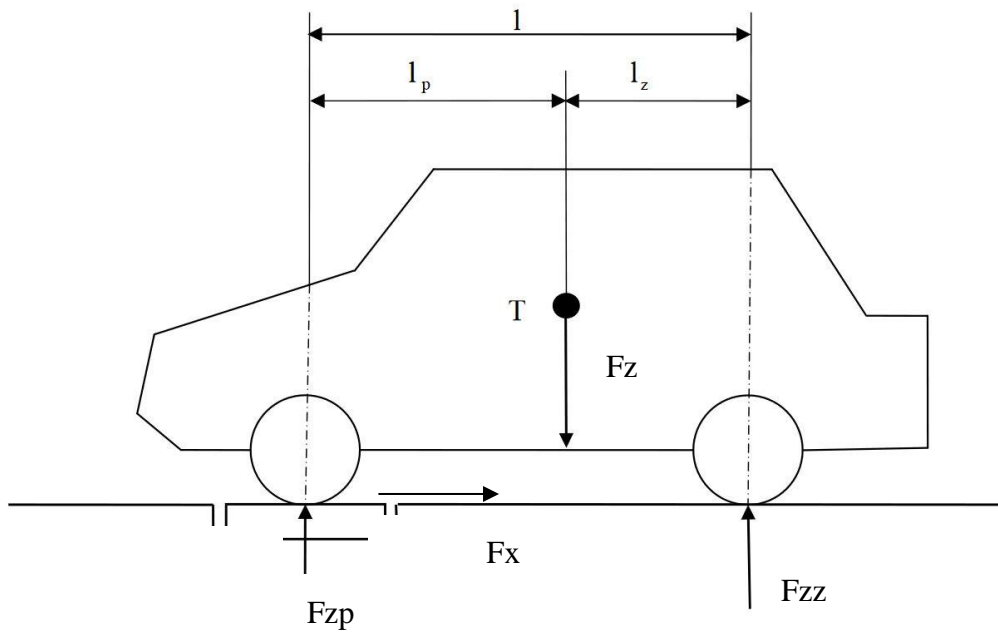
Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (69)$$



Obrázek 75 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]



Obrázek 76 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]

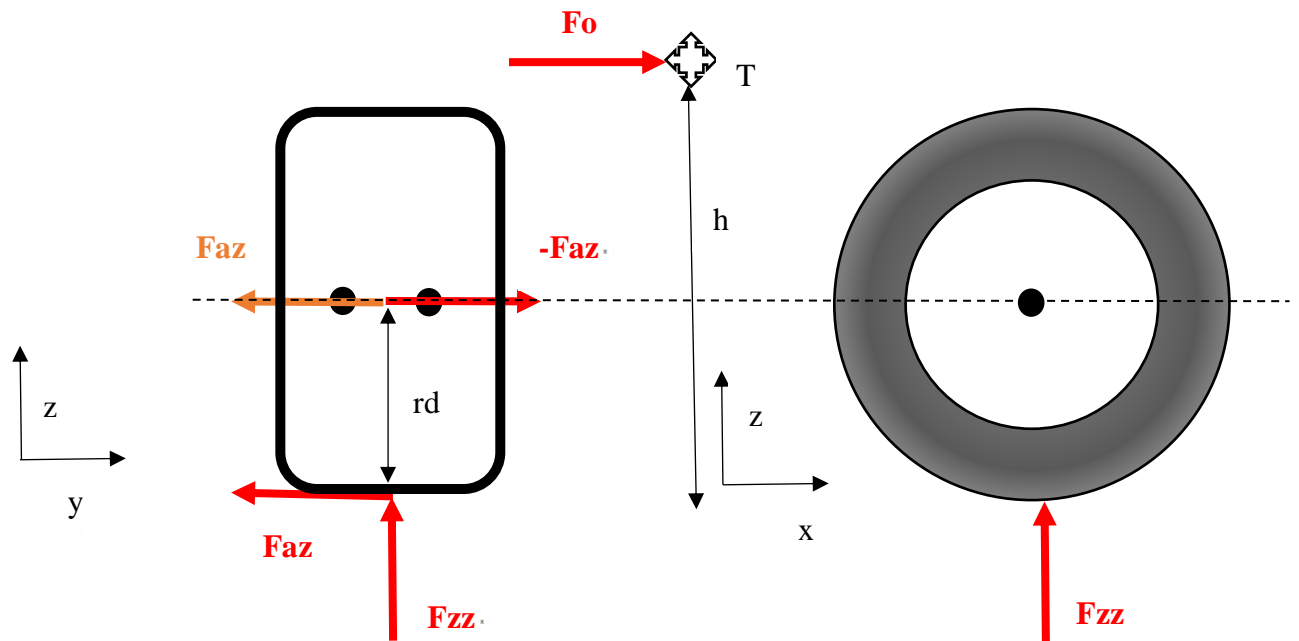
Svislá síla na zadní nápravu

$$F_{zz} = \frac{L_p \cdot F_z}{L_p + L_z} \quad [N] \quad (70)$$

Tangenciální síla od pohonu na zadní nápravu

$$F_{xz} = 0 - \text{nehnaná náprava}$$

Odstředivá síla celého vozu



Obrázek 77 Síly působící na kolo a ložiska

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad [N] \quad (71)$$

Vnější axiální síla na zadní ložisko od zatáčení

$$F_{az} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_p \cdot F_o}{L_p + L_z} \quad [N] \quad (72)$$

Odlehčující radiální síla od zatáčení na vnitřní ložisko zadní nápravy

$$F_{rzo} = \frac{F_{az} \cdot h}{\frac{t}{2}} \quad [N] \quad (73)$$

DIPLOMOVÁ PRÁCE

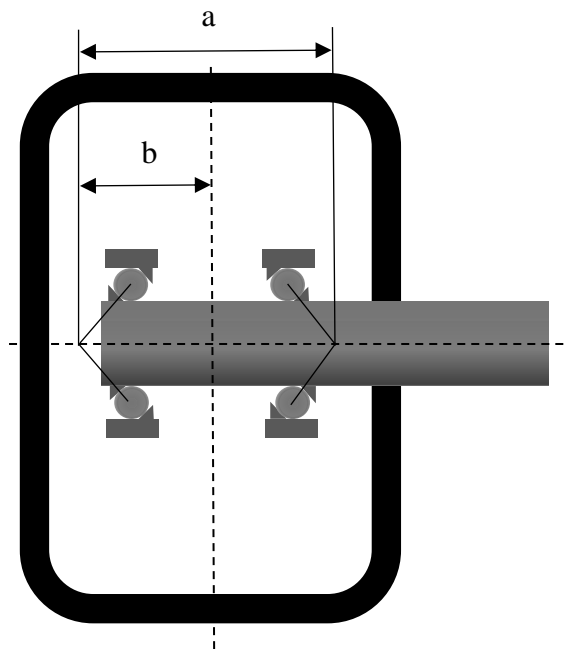
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

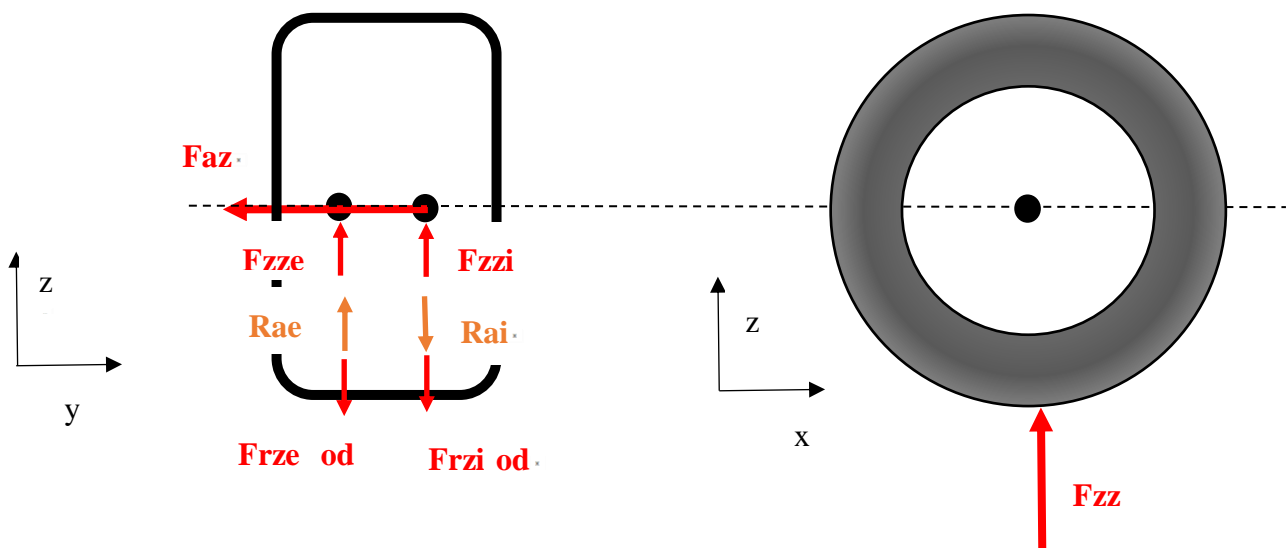
Celková zatěžující radiální síla na vnější ložisko zadní nápravy

$$F_{rz} = \sqrt{\left(\frac{F_x}{2}\right)^2 + \left(\frac{F_{zz}}{2} - F_{rz\ zat}\right)^2} \cdot kr \quad [N] \quad (74)$$

kr – dynamický součinitel radiálních sil



Obrázek 78 Kóty rozměrů uložení ložiska



Obrázek 79 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální reakční síla od klopného momentu od zatáčení

$$R_{az} = F_{az} \cdot \frac{r_d}{a} \cdot kr \quad [N] \quad (75)$$

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rze} = \frac{F_{rz} \cdot (a + b)}{a} \pm R_{az} \quad [N] \quad * \quad (76)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rzi} = \frac{F_{rz} \cdot b}{a} \pm R_{az} \quad [N] \quad * \quad (77)$$

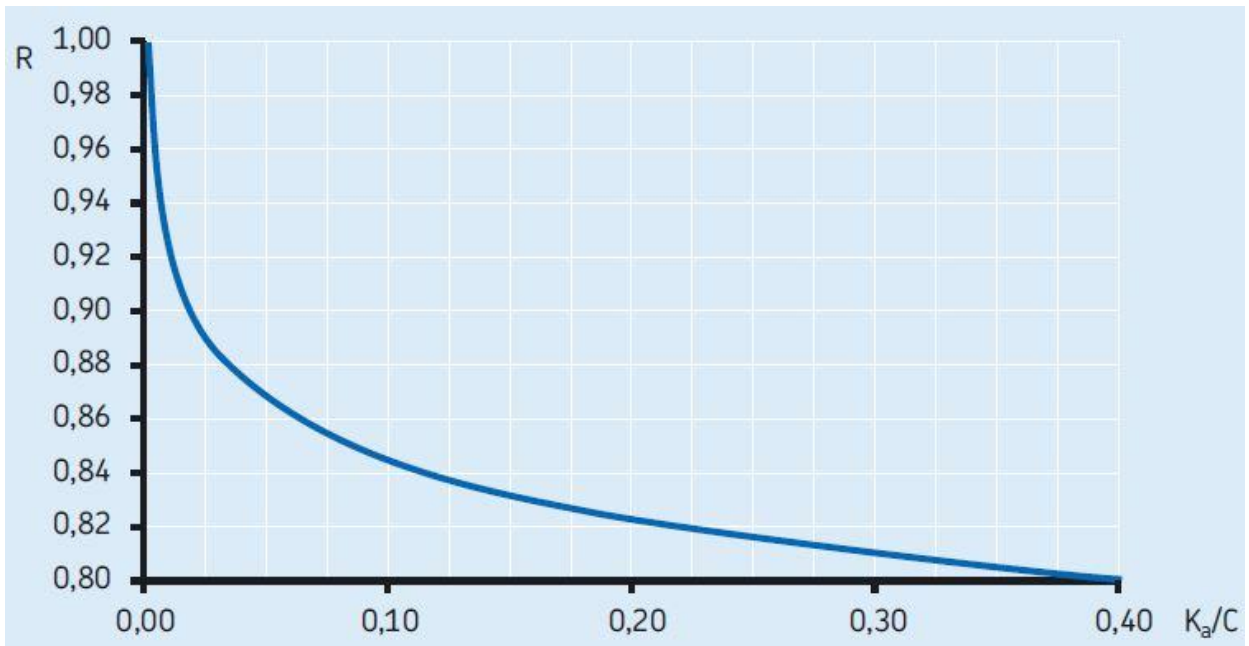
* \pm závisí na směru R_{az} – viz Obrázek 79

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{az}/C \quad (78)$$

R třeba odečíst z Obrázek 80: Faz odpovídá K_a/C .



Obrázek 80 Graf pro určení proměnné R

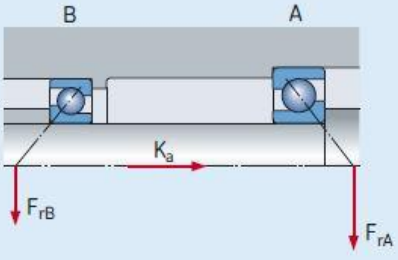
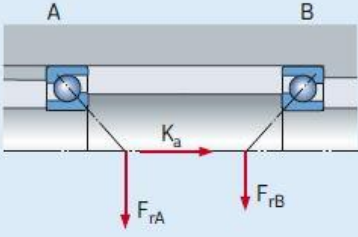
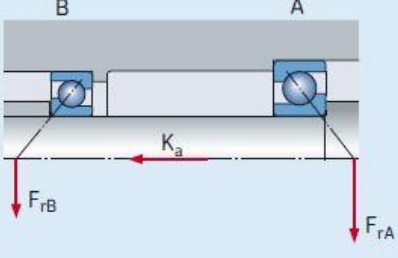
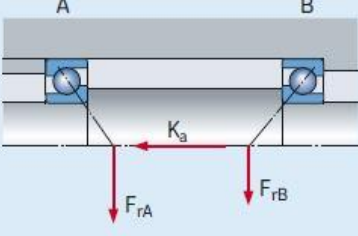
[3]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Axiální síly v ložisku

<p>Zády k sobě (do "0")</p> 	<p>Případ 1a</p> $F_{rA} \geq F_{rB}$ $K_a \geq 0$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} + K_a$
<p>Čely k sobě (do "X")</p> 	<p>Případ 1b</p> $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a \geq R (F_{rB} - F_{rA})$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} + K_a$
<p>Zády k sobě (do "0")</p> 	<p>Případ 2a</p> $F_{rA} \leq F_{rB}$ $K_a \geq 0$ $F_{aA} = F_{aB} + K_a$ $F_{aB} = R F_{rB}$
<p>Čely k sobě (do "X")</p> 	<p>Případ 2b</p> $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a \geq R (F_{rA} - F_{rB})$ $F_{aA} = F_{aB} + K_a$ $F_{aB} = R F_{rB}$
	<p>Případ 2c</p> $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a < R (F_{rA} - F_{rB})$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} - K_a$

Obrázek 81 Výpočet axiální síly v ložisku

[3]

Do vztahů na Obrázek 81 je třeba dosadit tak, aby byly splněny všechny podmínky způsobu zatížení.

Pro původní řešení zadní nehnané nápravy vnitřního kola s ložiskovou jednotkou 2. Generace platí případ 2c.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{aze} = R \cdot F_{rze} \quad [N] \quad (79)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{azi} = F_{aze} - F_{az} \quad [N] \quad (80)$$

[3]

Pro navrhované řešení zadní nepoháněné nápravy s ložiskovou jednotkou 3. Generace platí případ 2a, kde $K_a = F_{az}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{aze} = R \cdot F_{rze} \quad [N] \quad (81)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{azi} = F_{aze} + F_{az} \quad [N] \quad (82)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{aze}/F_{rze} \quad (83)$$

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} \leq 1,14 \quad (84)$$

Platí vztah

$$P_{ze} = F_{rze} + 0,55 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (85)$$

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Pro

$$F_{aze}/F_{rze} > 1,14 \quad (86)$$

Platí vztah

$$P_{ze} = 0,57 \cdot F_{rze} + 0,93 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (87)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 ze} = \left(\frac{C}{P_{ze}}\right)^3 [\text{miliony otáček}] \quad (88)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (89)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km ze} = L_{10 ze} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (90)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{0ze} = F_{rze} + 0,52 \cdot F_{aze} \quad [N] \quad (91)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0 ze} = \frac{C_0}{P_{0ze}} \quad (92)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{azi}/F_{rzi} \quad (93)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} \leq 1,14 \quad (94)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = F_{rzi} + 0,55 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (95)$$

Pro

$$F_{azi}/F_{rzi} > 1,14 \quad (96)$$

Platí vztah

$$P_{zi} = 0,57 \cdot F_{rzi} + 0,93 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (97)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10 \text{ zi}} = \left(\frac{C}{P_{zi}}\right)^3 [\text{miliony otáček}] \quad (98)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (99)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 \text{ km zi}} = L_{10} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (100)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{0zi} = F_{rzi} + 0,52 \cdot F_{azi} \quad [N] \quad (101)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{0zi} = \frac{C_0}{P_{0zi}} \quad (102)$$

[3]

5.1.2.4 Celková kombinovaná základní trvanlivost ložiska zadní nehnané nápravy

Vztah je totožný pro vnější i vnitřní řadu

$$L_{10kmzei} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1}{L_{10km1}} + \frac{\varepsilon_2}{L_{10km2}} + \frac{\varepsilon_3}{L_{10km3}} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{L_{10kmn}}} \quad (103)$$

[41]

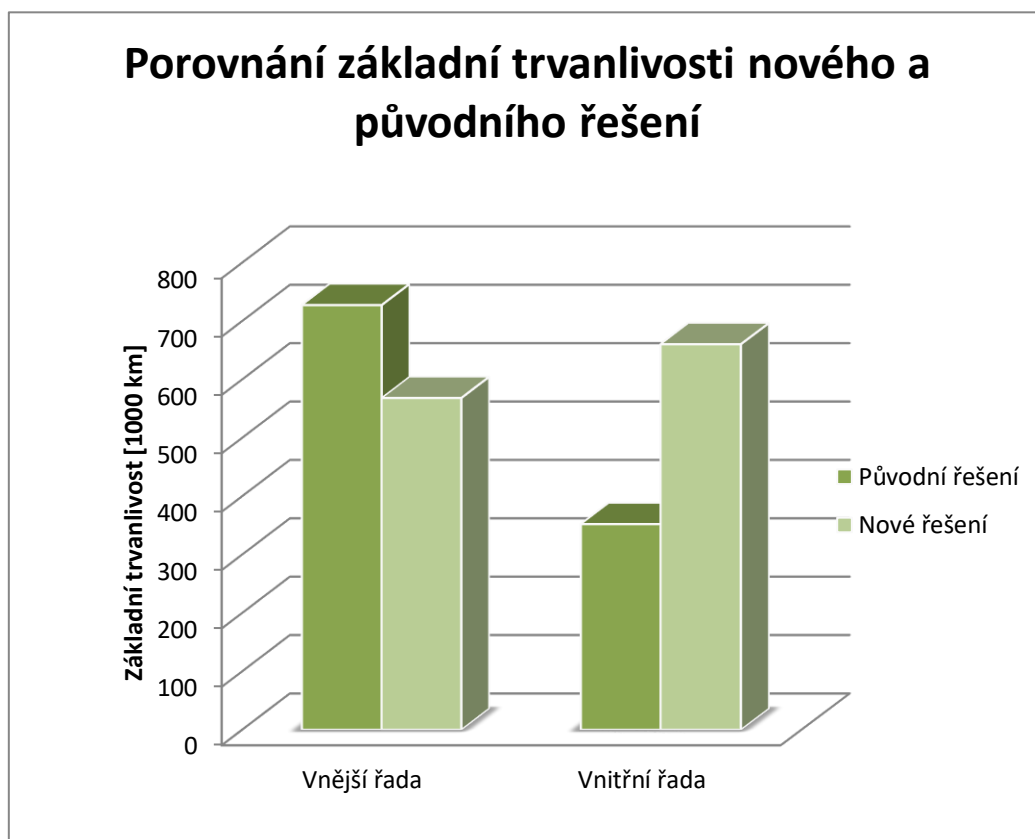
Pro dané režimy

$$L_{10kmzei} = \frac{1}{\frac{0,9}{L_{10km\text{ přímá}}} + \frac{0,05}{L_{10km\text{ zatáčka vnější}}} + \frac{0,05}{L_{10km\text{ zatáčka vnitřní}}}} \quad (104)$$

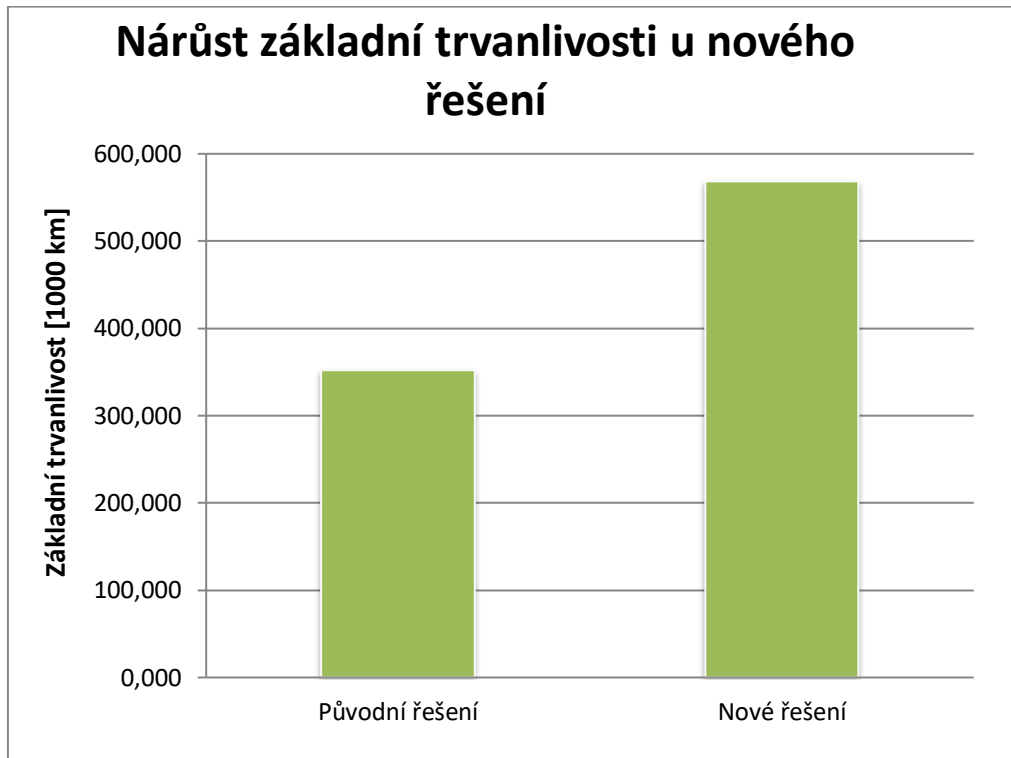
5.1.3 Vyhodnocení výsledků inovace – zadní kolo

5.1.3.1 Porovnání původního a nového řešení z hlediska základní trvanlivosti a statické bezpečnosti – zadní kolo

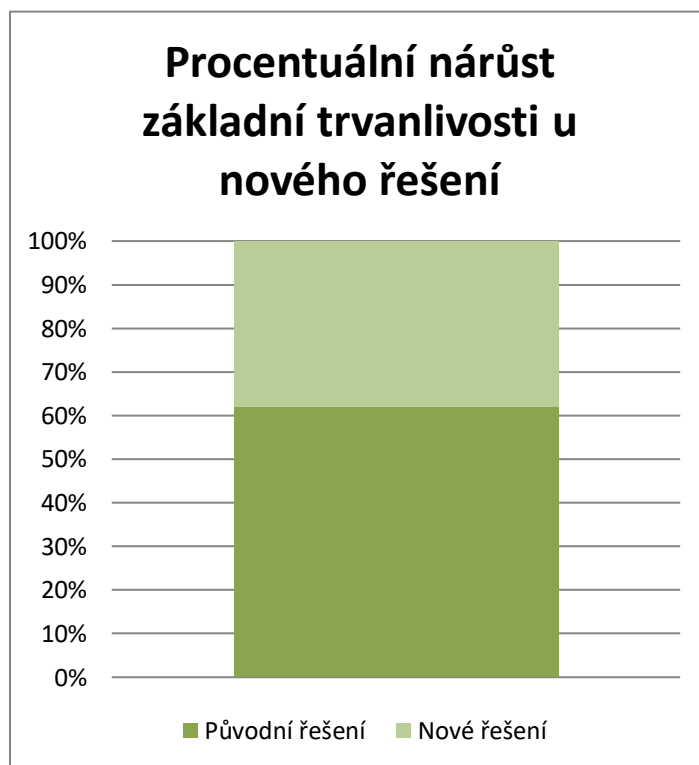
Jednotlivé výsledky základní trvanlivosti původního a inovovaného řešení jsou uvedeny v následujících grafech:



Obrázek 82 Graf - Porovnání základní trvanlivosti nového a původního řešení



Obrázek 83 Graf - Nárůst základní trvanlivosti u nového řešení



Obrázek 84 Graf - Procentuální nárůst základní trvanlivosti u nového řešení

Vyhodnocení základní trvanlivosti a následné porovnání původního a nového řešení je zjednodušeně provedeno na základě srovnání základní trvanlivosti mezi řadami daných řešení, které vykazují nižší základní trvanlivost³. V tomto případě tedy mezi vnitřní řadou původního řešení a vnější řadou nového řešení. Obdobně je postupováno při porovnání výsledků statických bezpečností.

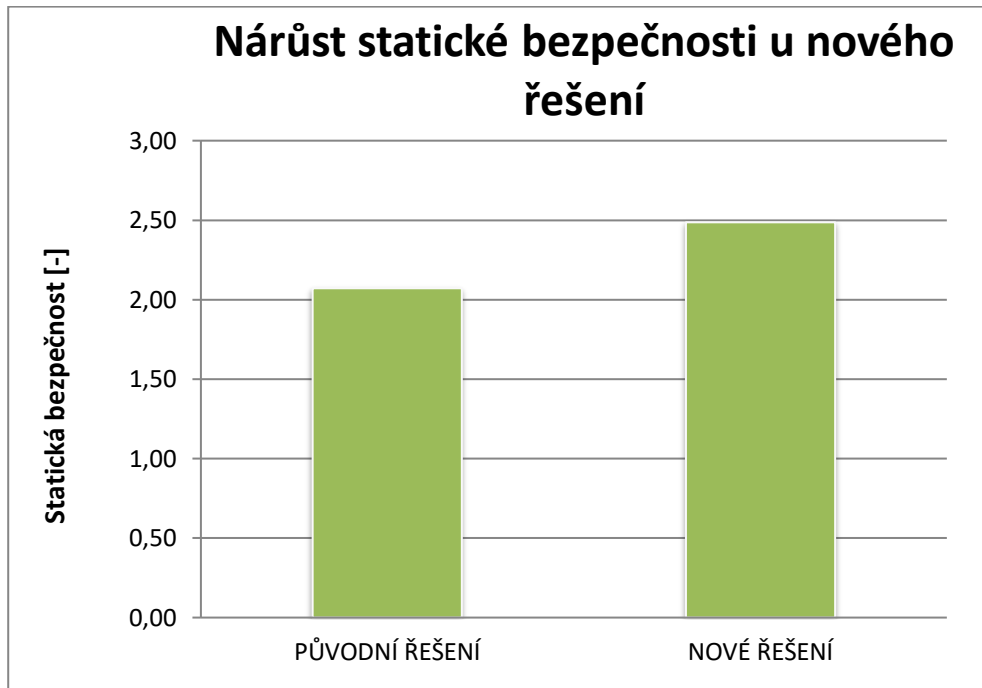
Tabulka 1 Výsledky základní trvanlivosti jednotlivých řešení⁴

<u>Popis</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>
Základní trvanlivost původního řešení – vnější řada	727 298	km
Základní trvanlivost původního řešení – vnitřní řada	352 171	km
Základní trvanlivost navrhovaného řešení – vnější řada	568 268	km
Základní trvanlivost navrhovaného řešení – vnitřní řada	660 334	km
Nárůst v km	216 097	km
Nárůst v %	38,6	%

Jednotlivé výsledky statických bezpečností původního a inovovaného řešení jsou uvedeny v následujících grafech a tabulkách. Zároveň byla provedena kontrola statické bezpečnosti při mezních stavech – na mezi adheze v zatáčce a při vertikálním přetížení způsobeném například nájezdem na hup a podobně.

³ Existují výpočtové algoritmy, které stanovují přesnější porovnání celkových životností jednotlivých řešení, rozdíl oproti zde uvažovanému postupu je však pro účely této práce zanedbatelný. [4]

⁴ Hodnoty základní trvanlivosti jsou patrně vyšší, než bývají v praxi. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že model výpočtu nezahrnuje všechny jízdní stavy, případně nepřesné stanovení procentuálního zastoupení kilometrového proběhu pro jednotlivé jízdní cykly. Vliv na výsledek také může mít nepřesné odhadnutí některých parametrů. Je také možné, že výslednou životnost v praxi snižují poruchy ložisek, které vznikají během provozu od rázů, vniku nečistot a podobně. Tyto vlivy mohou výslednou životnost ložiska ovlivnit nezávisle na teoretické základní trvanlivosti. Procentuální nárůst by ovšem měl být pro porovnání řešení i v reálu vypovídající.



Obrázek 85 Graf - Nárůst statické bezpečnosti u nového řešení



Obrázek 86 Graf - Procentuální nárůst statické bezpečnosti u nového řešení

Tabulka 2 Statické bezpečnosti daných řešení v jednotlivých jízdnicích cyklech

PŮVODNÍ ŘEŠENÍ	<u>s0 1</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	6,72	4,71	3,01
Vnitřní řada	4,51	2,07	8,16
NOVÉ ŘEŠENÍ	<u>s0 1</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	5,42	5,72	2,55
Vnitřní řada	6,23	2,48	4,42

Tabulka 3 Porovnání výsledků statické bezpečnosti

<u>Popis</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>
Nejmenší statická bezpečnost původního řešení	2,07	-
Nejmenší statická bezpečnost navrhovaného řešení	2,48	-
Nárůst - absolutní	0,41	-
Nárůst v %	16,7	%

Tabulka 4 Hodnoty statických bezpečností při mezních stavech

ZATÁČKA	<u>s0 1</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	4,9	1,4	1,1
Vnitřní řada	5,6	1,02	1,2
PŘETÍŽENÍ	<u>s0 1</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	1,2	1,3	1,1
Vnitřní řada	1,4	1,01	1,8

Mezní stav v zatáčce odpovídá stavu, kdy odstředivá síla působící na ložisko je rovna adhezní síle v příčném směru. Její hodnota byla vypočtena na 17 000 N.

Kontrola na přetížení byla provedena pro součinitel svislého přetížení 7.

5.1.3.2 Vyhodnocení navržené inovace

Navrhované řešení vykazuje značně lepší výsledky v oblasti základní trvanlivosti ložisek. Důvodem je příznivější vzdálenost roviny symetrie řad ložiska od roviny symetrie kola. Tento fakt má pozitivní vliv i na velikost statických bezpečností. V reálu by procentuální nárůst základní trvanlivosti ložiska měl mít vypovídající hodnotu a navrhovaná inovace by měla přispět k prodloužení životnosti ložiska až o 38%.

Zlepšením by také měla být snadnější montáž, méně komponentů a tudíž snadnější zaměnitelnost vadného ložiska. Prodloužení životnosti by rovněž měl přispět fakt, že ložisko je již plně seřízené a při montáži nelze seřízení negativně ovlivnit.

Lze spekulovat i o přínosu této varianty v ohledu na redukci vývoje a výroby celého jednoho segmentu víceprvkové nápravy. Z hlediska uvažování kolové jednotky a ložiskového uložení by mělo být lze opustit dosavadní koncept ramene víceprvkové nápravy pro nepoháněná kola a nahradit jej stávajícím konceptem pro kola poháněná. S ohledem na pohon zadních kol by byla použita jednotka 3. generace s vnitřním drážkováním a připojen kloubový hřídel, v opačném případě by se použila jednotka 3. generace bez zbytečného vnitřního drážkování, která by sloužila k pouhému uložení kola. Nebylo by nutné vyvíjet ani vyrábět zvláštní rameno víceprvkové nápravy pro uložení kola na ložiskové jednotce 2. generace.

Nevýhodou tohoto řešení může být nepatrně větší hmotnost neodpružených hmot, neboť rameno nápravy pro poháněná kola je robustnější.

O ekonomických přínosech lze jen spekulovat – ložisková jednotka 3. generace je citelně dražší než jednotka 2. generace. Nicméně pokud by byla tato cena vykoupena tím, že nebude nutné zvláště vyvíjet značnou část nápravy, lze očekávat ekonomický přínos tohoto řešení. Cenu výsledného řešení by měl snížit i nižší počet výsledných komponent a snadnější montáž.⁵

5.1.3.3 Montážní postup výměny a upevnění jednotky

- V první řadě je třeba bezpečně zajistit vozidlo
- Následně sejmeme disk kola a brzdový kotouč
- Odmontujeme starou ložiskovou jednotku
- Pomocí nových šroubů připevníme jednotku novou

⁵ Zvýšená životnost navrhovaného řešení, by mohla vést k dosažení takové životnosti, která bude vyšší, než životnost zbylých komponent, respektive celého vozu. Ložisko by tudíž vykazovalo známky předimenzování. Ve výsledku by proto mohlo být nahrazeno menším, levnějším ložiskem, tak aby byla zaručena dostatečná životnost a bylo dosaženo snížení ceny a hmotnosti. S tímto vývojem však již není v této práci více počítáno.

- Připevníme brzdový kotouč, disk kola a krytku náboje (zátku)

5.1.4 Porovnání ložiskové jednotky 2. a 3. generace

Automobilové ložiskové jednotky třetí generace mají bez výjimky⁶ přírubu pro uchycení kola integrovanou na vnitřním kroužku a přírubu pro připevnění k těhlici integrovanou na kroužku vnějším.

Naproti tomu ložiskové jednotky druhé generace mohou mít přírubu pro uchycení kola integrovanou na vnitřním kroužku a být na nápravu nalisované vnějším kroužkem nebo obráceně – používají se obě řešení, obvykle s ohledem na to, zda je kolo poháněné či nikoli (poháněná kola musí mít přírubu na vnitřním kroužku, na kterém je rovněž i vnitřní drážkování pro přenos krouticího momentu).

Umístění přírub má však vliv na výpočet axiálních sil (viz Obrázek 74). Z Obrázek 74 zároveň vyplývá, že stejný vliv jako umístění přírub má na i skutečnost, zda jsou ložiska s kosoúhlým stykem uložena do „O“ nebo „X“. (v automobilovém průmyslu se používá výhradně uložení kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem do „O“, neboť tento koncept zvyšuje vzdálenosti působišť řad ložiska „a“ a toto uložení tak vede ke snížení sil působících na ložisko - od klopného momentu na kolo – viz Obrázek 71 a Obrázek 72. Uložení ložisek do „O“ je tedy nadále uvažováno.

V případě původní konstrukce uložení zadního kola Škody Octavie je kolo připevněno na ložiskovou jednotku 2. generace k přírubě na vnějším kroužku, zatímco vnitřní kroužek je připevněn na čep nápravy. Navrhované řešení má uložení přesně naopak – kolo je připevněno k vnitřnímu kroužku, zatímco vnější kroužek je připojen k nápravě.

Vliv tohoto faktu na výslednou trvanlivost ložiska je znázorněn na grafu na Obrázek 88. Tento graf zároveň ukazuje průběh trvanlivosti ložiska v závislosti na velikosti axiální síly působící na ložisko. Axiální síla byla procentuálně po deseti procentních bodech rozložena od 0 N do 17 000 N, což je 100% odstředivé síly na mezi adheze v bočním směru. Na grafu je patrný průběh základní trvanlivosti při přímé jízdě a základní trvanlivost více zatěžované řady u jednotky 2. a 3. generace.

Aby bylo možné objektivní srovnání, je uvažováno, že zatěžující síla na ložiska leží v rovině symetrie jednotlivých řad, což sice neodpovídá skutečnosti, ale lze díky tomu vidět rozdíl v základní trvanlivosti v závislosti na integraci jednotlivých přírub na vnější či vnitřní kroužek. Parametry ložiska jako základní dynamická únosnost a jednotlivé součinitele, jsou v obou případech uvažovány stejné a odpovídají ložisku uváděnému v původním řešení (viz

⁶ Žádná výjimka, tedy řešení zahrnující přírubu pro uchycení kola na vnějším kroužku u jednotky 3. generace nebyla přinejmenším nalezena.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

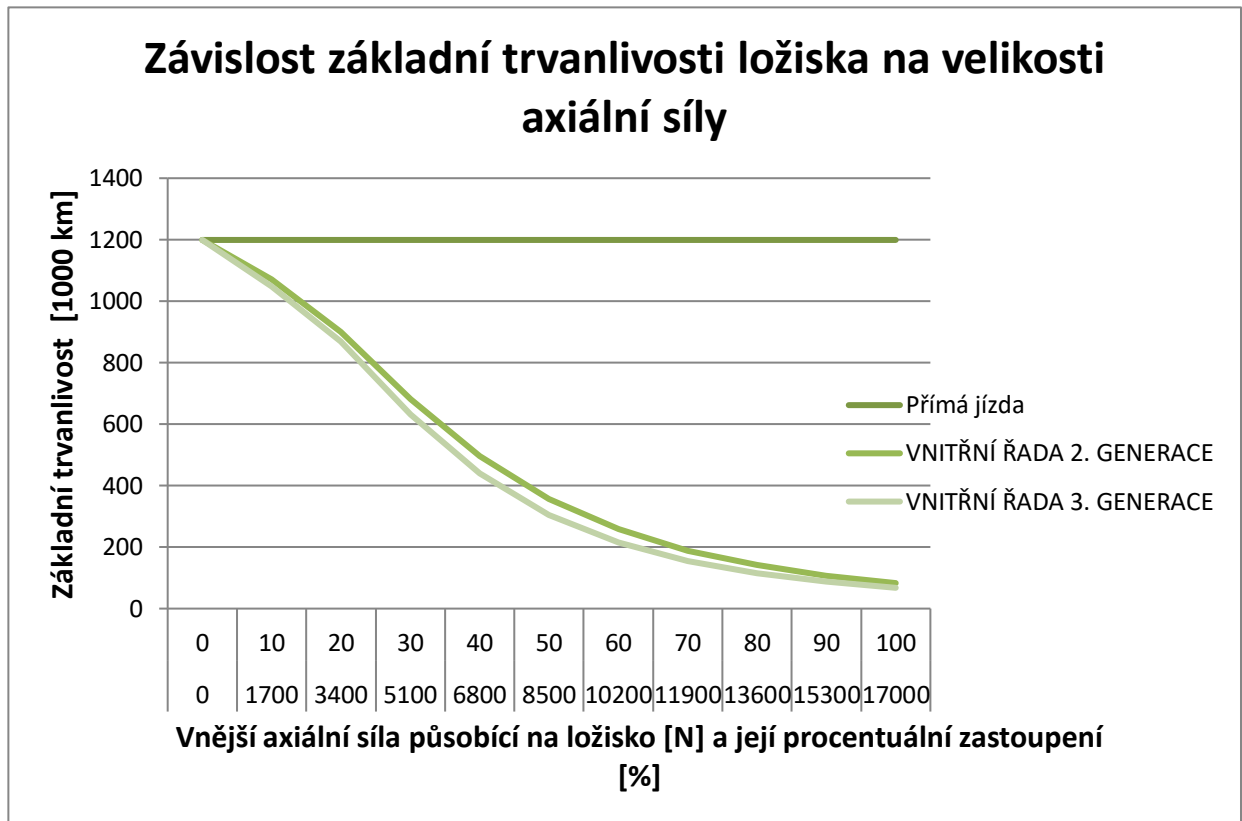
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

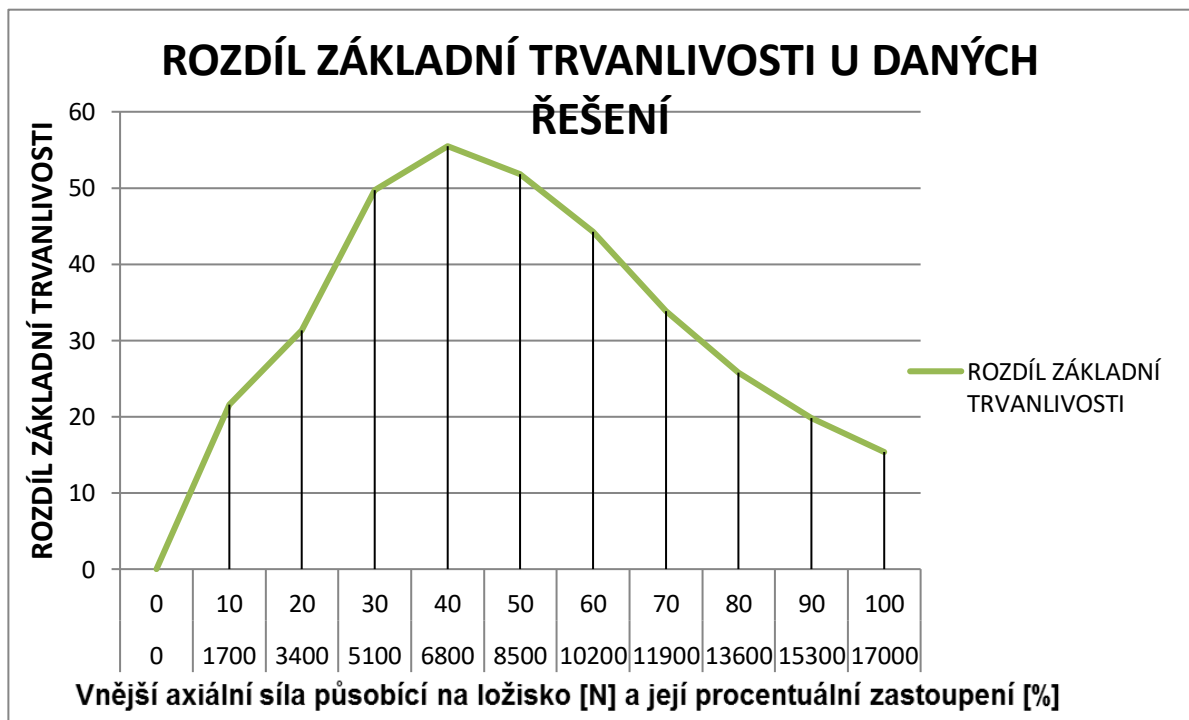
kapitola č. 9.1.1). Výpočtové algoritmy jsou obdobné jako u výše definovaných výpočtů (viz kapitola č. 5.1.2). Stejnými poměry kilometrového proběhu jako ve výše uvedeném výpočtu jsou i určeny procentuální zastoupení jednotlivých jízdních cyklů (90 % kilometrového proběhu přímá jízda, a po 5 % kilometrového proběhu zastoupení příslušné hodnoty axiální síly).

Z uvedeného grafu je patrné, že v intervalu působení axiální síly o velikosti 0 – 100 % síly na mezi adheze v bočním směru je řešení s integrovanou přírubou pro uchycení kola na vnějším kroužku a lepší v celém průběhu působení axiální síly.

K největšímu rozdílu dochází v bodě, kde působící axiální síla dosahuje velikosti 40 % velikosti síly na mezi adheze. V tomto bodě má konstrukce s kolem připevněným na vnější kroužek ložiska vyšší základní trvanlivost o **55 485 km** (Obrázek 87).



Obrázek 88 Závislost základní trvanlivosti ložiska na velikosti axiální síly



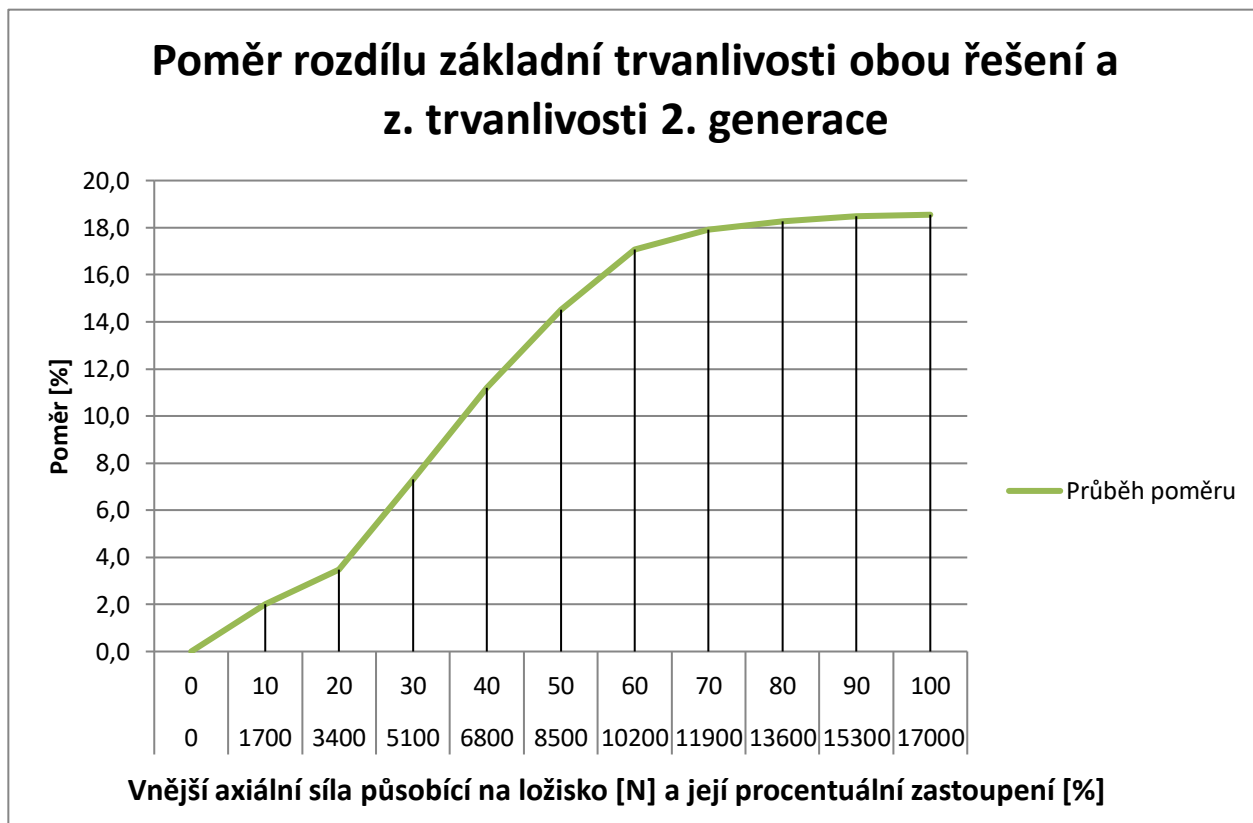
Obrázek 87 Rozdíl základní trvanlivosti u daných řešení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Zajímavé, byť ne příliš vypovídající je procentuální vyjádření poměru základní trvanlivosti řešení s přírubou na vnějším kroužku a rozdílu základních trvanlivostí obou řešení. Přestože rozdíl v trvanlivostech v absolutním měřítku od jistého bodu klesá, v procentuálním vyjádření díky klesající základní trvanlivosti roste.



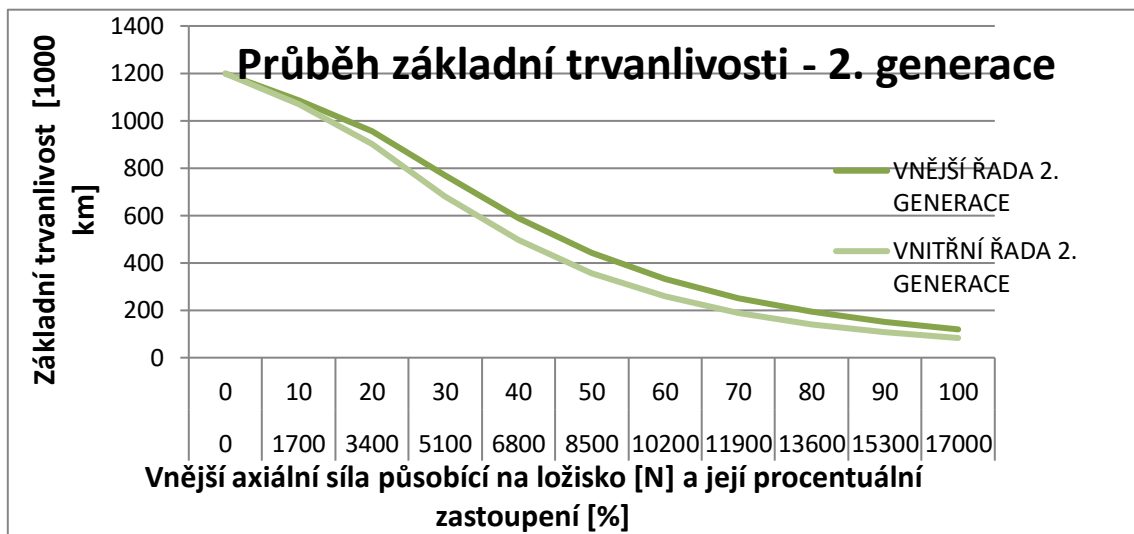
Obrázek 89 Poměr rozdílu základní trvanlivosti obou řešení a základní trvanlivosti 2. generace

Z grafů lze zároveň odhadnout, že pokud by boční síla nebyla u vozidla limitovaná velikostí maximální adhezní síly, patrně by se s rostoucí axiální silou oba případy ve velikosti základní trvanlivosti vyrovnaly a od jistého bodu měly totožný průběh. Tento vývoj potvrzuje algoritmus výpočtu axiální síly v ložisku, viz Obrázek 74.⁷

⁷ Konkrétní bod vyrovnání trvanlivosti obou řešení nebyl výpočtem stanoven, s ohledem na Obrázek 74 k tomuto případu dojde ve chvíli, kdy se změní vstupní podmínky u řešení s přírubou pro kolo na vnějším kroužku a axiální síla se z dosavadního případu 1c začne počítat dle případu 1b.

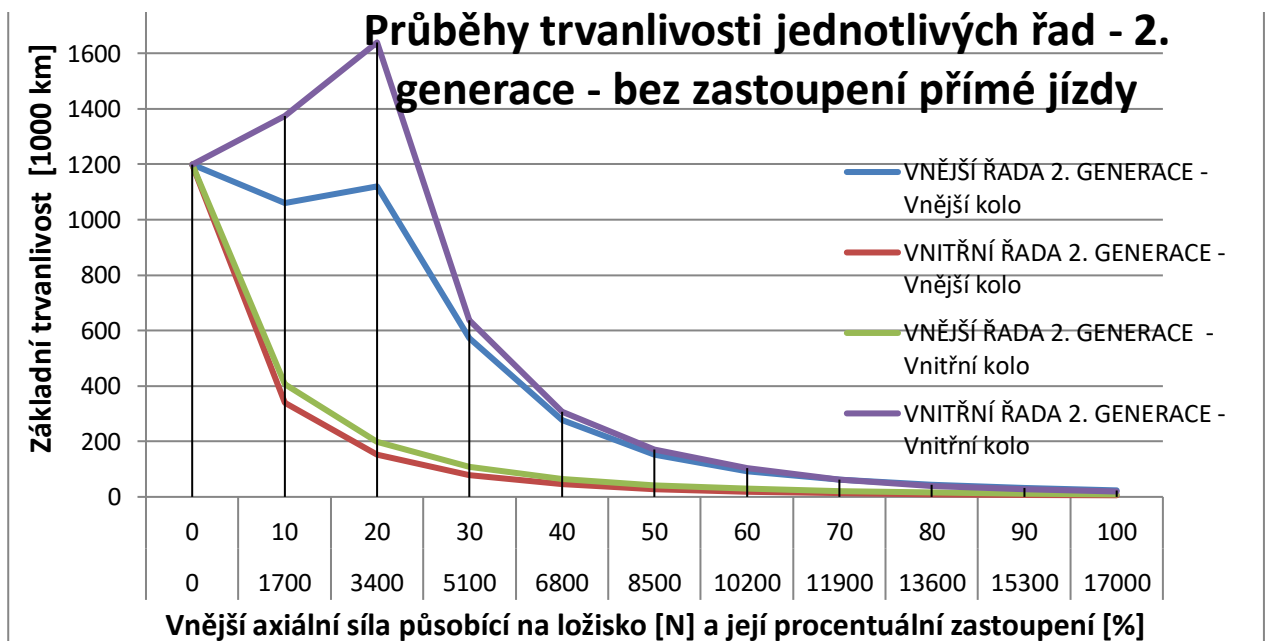
5.1.4.1 Průběhy základní trvanlivosti v závislosti na axiální síle – u jednotky 2. generace s přírubou pro uchycení kola na vnějším kroužku

Při uvažování 90 % kilometrového proběhu - přímá jízda, po 5 % k. p.- jízda zatáčkou:



Obrázek 90 Průběh základní trvanlivosti - 2. generace

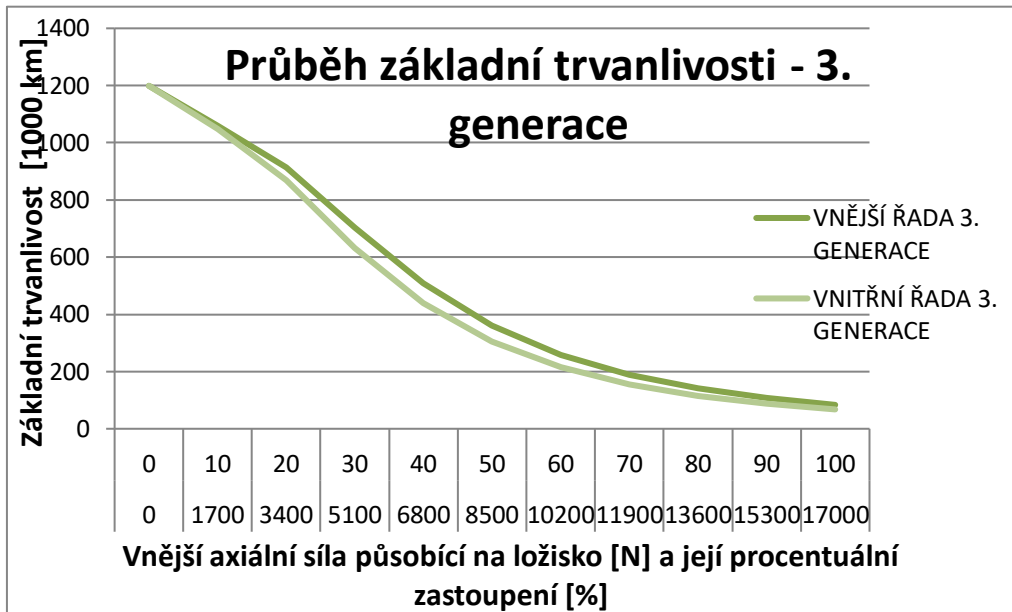
Při uvažování pouze jízdy zatáčkou:



Obrázek 91 Průběhy trvanlivosti jednotlivých řad - 2. generace - bez zastoupení přímé jízdy

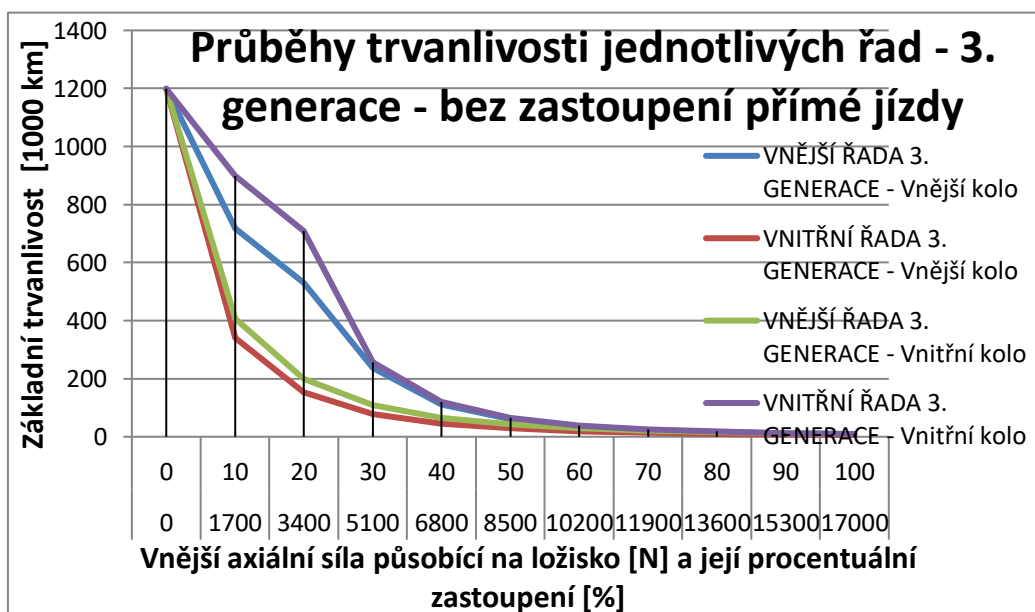
5.1.4.2 Průběhy základní trvanlivosti v závislosti na axiální síle – u jednotky 3. generace s přírubou pro uchycení kola na vnitřním kroužku

Při uvažování 90 % kilometrového proběhu přímá jízda, po 5 % k. p. jízda zatáčkou:



Obrázek 92 Průběh základní trvanlivosti - 3. generace

Při uvažování pouze jízdy zatáčkou:



Obrázek 93 Průběhy trvanlivosti jednotlivých řad - 3. generace - bez zastoupení přímé jízdy

Špičky v průbězích patrné zvláště u konstrukce druhé generace - Obrázek 91, jsou způsobeny předělem dominance radiálních sil na danou řadu ložiska. Špička se nachází v bodě, kdy se radiální síla na ložisko od tíhy vozu rovná, v opačném směru působící radiální síle od klopného momentu kola viz Obrázek 70 a Obrázek 72 pro vnější kolo, kdy na vnější řadě nastává případ, že $F_{z2e} = R_{ae}$ a výsledná radiální síla na tuto řadu je nulová. (poměr F_a/F_r jde do nekonečna, stejně jako základní trvanlivost této řady) a Obrázek 77 a Obrázek 79 pro vnitřní kolo, kdy na vnitřní řadě nastává případ $F_{z2i} = R_{ai}$ a výsledná radiální síla na tuto řadu je nulová.

U jednotky 3. generace, která přenáší větší vnitřní axiální síly, nejsou tyto špičky v průběhu trvanlivosti tolik patrné.

5.2 Přední kolo

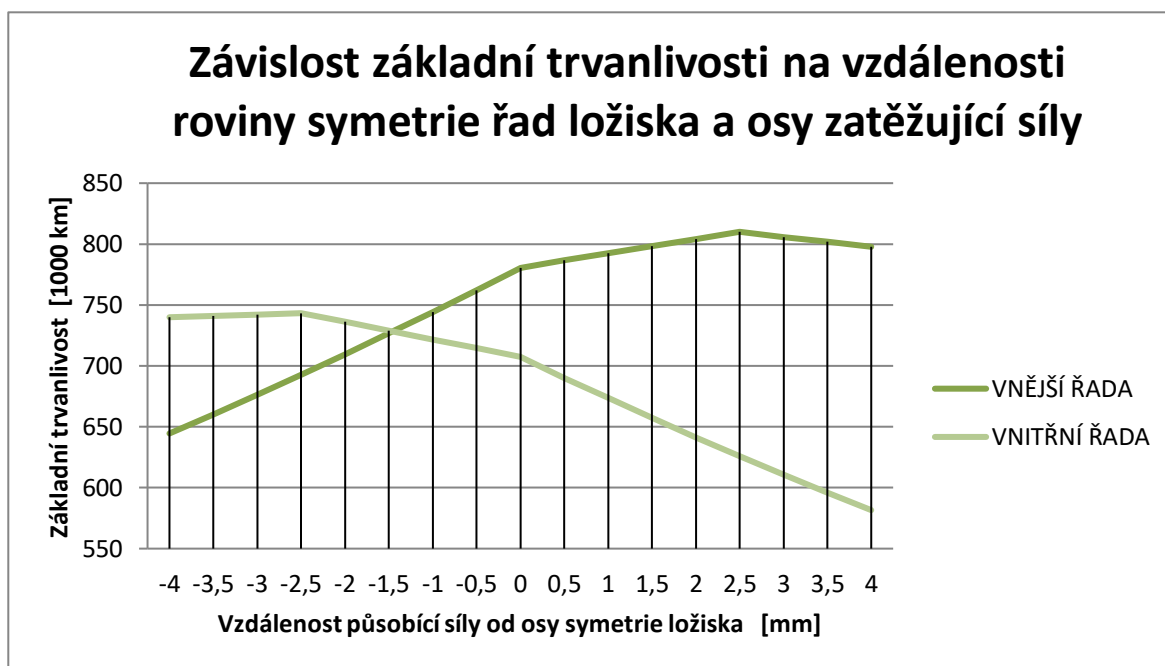
Přední kolo je u modelu Škoda Octavia 3 poháněné a je uloženo na ložiskové jednotce 3. generace s vnitřním drážkováním, pro přenos točivého momentu, zavěšené na nápravě typu McPherson (viz kapitola 4.1.2.1).

5.2.1 Přední kolo – popis principu inovace

Vzhledem k faktu, že je přední kolo uloženo standardně na moderní jednotce 3. generace a inovace založená na náhradě této jednotky za jednotku vyšší generace by byla co do určení parametrů značně spekulativní, neboť o jednotkách vyšších generací existuje jen málo pramenů a i oslovení odborníci a konzultanti, kteří poskytli pro tuto práci určité informace, nedisponují potřebnými informacemi či je o jednotkách generací vyšších než 3. nemohli poskytnout, bylo od této varianty upuštěno.

Otázkou tedy bylo, jakým způsobem zvýšit výsledky stávající jednotky a jejího uložení.

Jelikož zásadní vliv na životnost ložiska má rovnoměrné zatížení jeho řad, byla provedena studie závislosti základní trvanlivosti ložiska na velikosti vzdálenosti mezi rovinami symetrie řad a kola. Tyto výsledky jsou znázorněny v grafu na Obrázek 94.



Obrázek 94 Závislost základní trvanlivosti na vzdálenosti roviny symetrie řad ložiska a osy zatěžující síly

Nejvyšší životnost ložiska bude na průniku průběhů trvanlivosti obou řad, tedy jak z grafu vyplývá, ložisko bude mít nejvyšší základní trvanlivost ve chvíli, kdy vzdálenost působíště ložiska a nositelky zatěžující síly bude **-1,45 mm⁸**. Tato vzdálenost v původním řešení činí **-4,1 mm**, je tedy třeba provést úpravy, které ji sníží o **2,65 mm**. Například posunutím příruby pro uchycení kola na vnitřním kroužku blíže ke středu ložiska, prostor to umožňuje.

Zároveň je ale třeba zachovat stejný rozchod vozu. Tuto záležitost lze vyřešit posunutím příruby na vnějším kroužku směrem od středu ložiska.

Ruku v ruce s tímto řešením je skutečnost, že s rostoucí vzájemnou vzdáleností kuličkových řad, klesá zatěžující reakce od klopného momentu od kola při průjezdu zatáčkou, v této práci označované jako Rai a Rae viz Obrázek 110 a Obrázek 111.

Navrhovaná inovace tak spočívá v prodloužení vzdálenosti mezi kuličkovými řadami z dosavadních 25 mm na 30 mm, čímž se zvětší vzdálenost „a“ (Obrázek 110) z dosavadních 75 mm na 80 mm což sníží radiální zatížení jednotlivých řad. Zároveň dojde k posunutí obou přírub o 5,15 mm směrem dovnitř vozidla, což příznivě změní ofset mezi středem ložiska a osou jeho zatížení.

Výkresová dokumentace tohoto návrhu i původního řešení je uvedena v Příloze 4, respektive v Příloze 3, této práce.

⁸ Výpočtové algoritmy i procentuální zastoupení jednotlivých jízdních cyklů v kilometrovém průběhu jsou pro stanovení tohoto průběhu uvedeny v kapitole 5.2.2.

5.2.2 Přední hnaná náprava – komplexní metodika výpočtu – obecné pro původní i nové řešení

Stejně jak bylo uvedeno v kapitole 5.1.2, byly vstupní hodnoty v některých případech odhadnuty z dosažených informací.

Pro výpočet trvanlivostí a statických bezpečností jednotlivých ložisek byl využit výpočtový model předpokládající na místo dvouřadé jednotky, dvě samostatná kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, jejichž parametry byly vzaty z katalogu výrobce.

Celková výsledná dynamická a statická únosnost by pro tento zmíněný model odpovídala vztahům:

Celková základní dynamická únosnost jednotky (ložisek montovaných v kontaktu vedle sebe)

$$C = 1,62 \cdot C' \quad (105)$$

C' – Základní dynamická únosnost jedné řady (jednotlivého ložiska)

Celková základní statická únosnost jednotky (ložisek montovaných v kontaktu vedle sebe)

$$C_0 = 2 \cdot C_0' \quad (106)$$

C_0' – Základní statická únosnost jedné řady (jednotlivého ložiska)

[3]

5.2.2.1 Režim jízdy 1 – přímá jízda – přední hnaná náprava

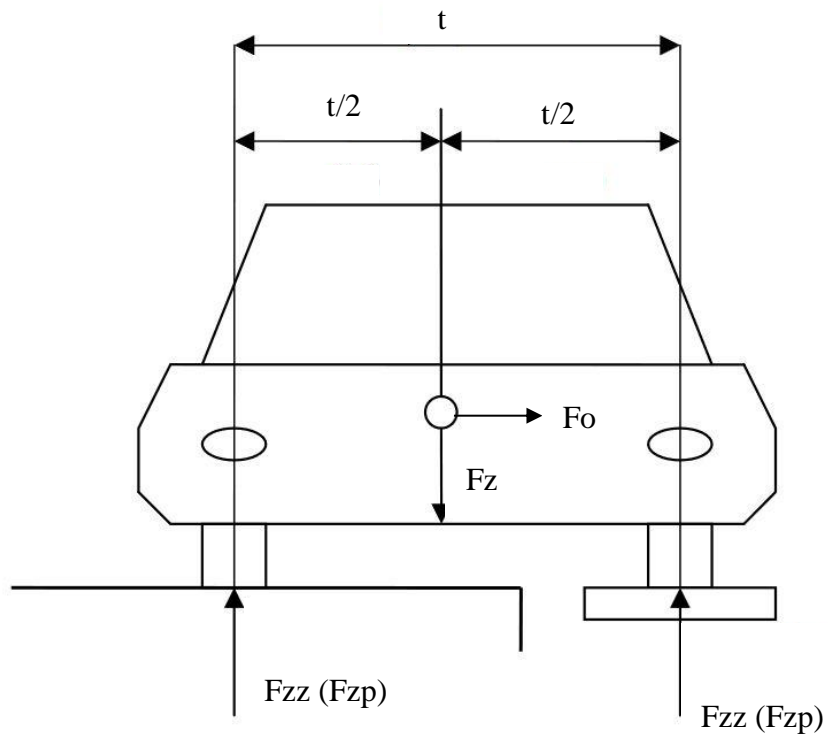
Přímá jízda nekonstantní rychlostí. Uvažovaná tangenciální síla v ose x od pohonu vozidla. Vnější axiální síla na ložisko od zatačení je nulová – jízda po rovině. Zastoupení – 80 % kilometrového proběhu.

Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (107)$$

Odstředivá síla

$$F_o = 0 \text{ N}$$

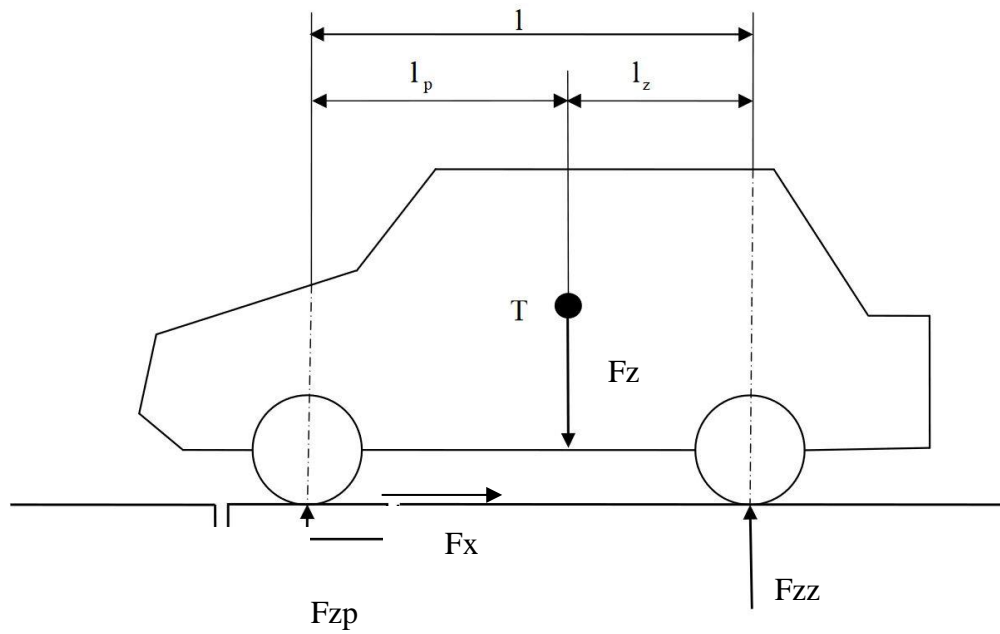


Obrázek 95 Základní rozměry vozu a působící síly [28]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

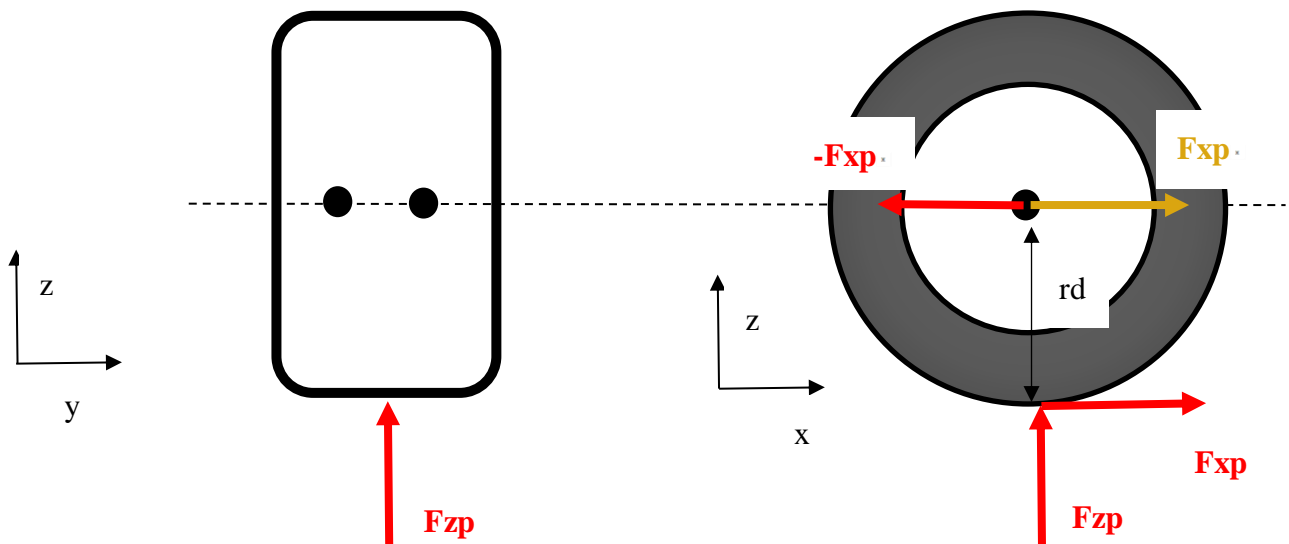
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 96 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]



Obrázek 97 Síly působící na kolo a ložiska

Svislá síla na přední nápravu

$$F_{zp} = \frac{Lz \cdot F_z}{Lp + Lz} \quad [N] \quad (108)$$

Tangenciální síla od pohonu na přední nápravu

$$F_{xp} = 0,3 \cdot m \cdot g \cdot k_p \quad [N] \quad (109)$$

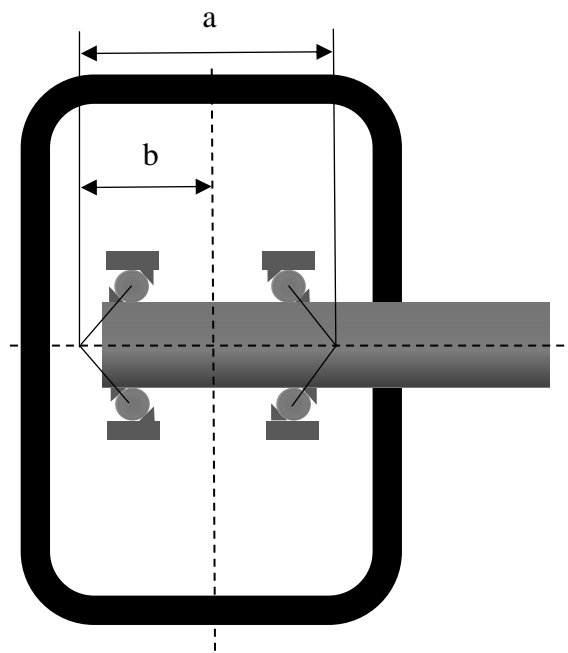
k_p – dynamický součinitel od pohonu

[4]

Celková radiální síla na 1 ložisko přední nápravy – přímá jízda

$$F_{rp} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{F_{xp}^2 + (F_{zp} \cdot k_r)^2} \quad [N] \quad (110)$$

k_r – dynamický součinitel radiální síly

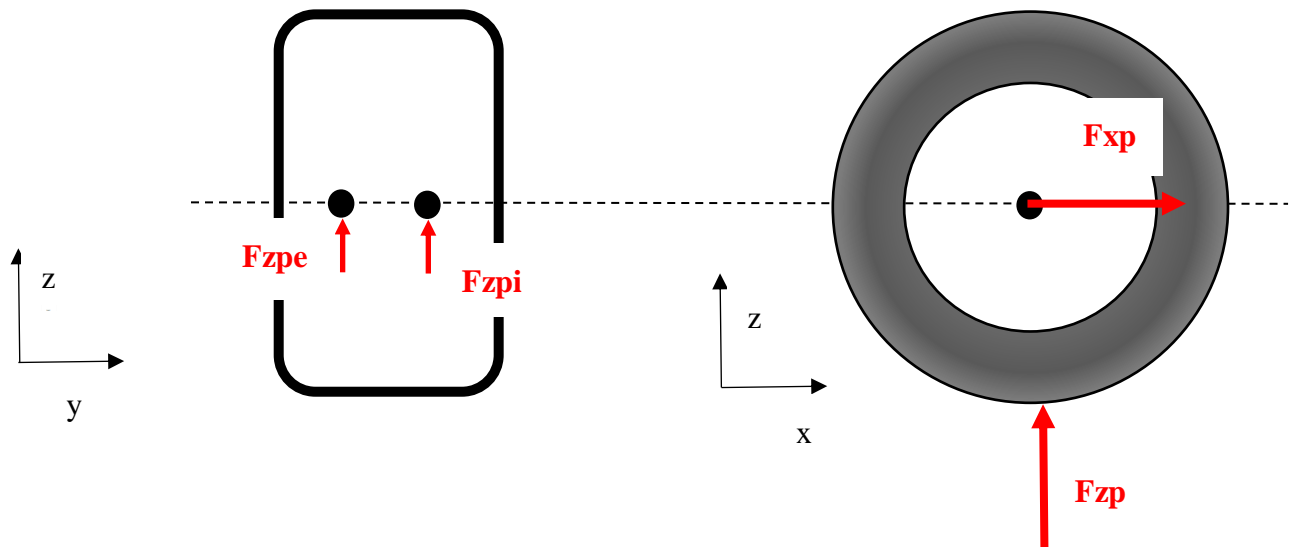


Obrázek 98 Kóty rozměrů uložení ložiska

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 99 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rpe} = \frac{F_{rp} \cdot (a - b)}{a} \quad [N] \quad (111)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rpi} = \frac{F_{rp} \cdot b}{a} \quad [N] \quad (112)$$

Vnější axiální síla od zatáčení

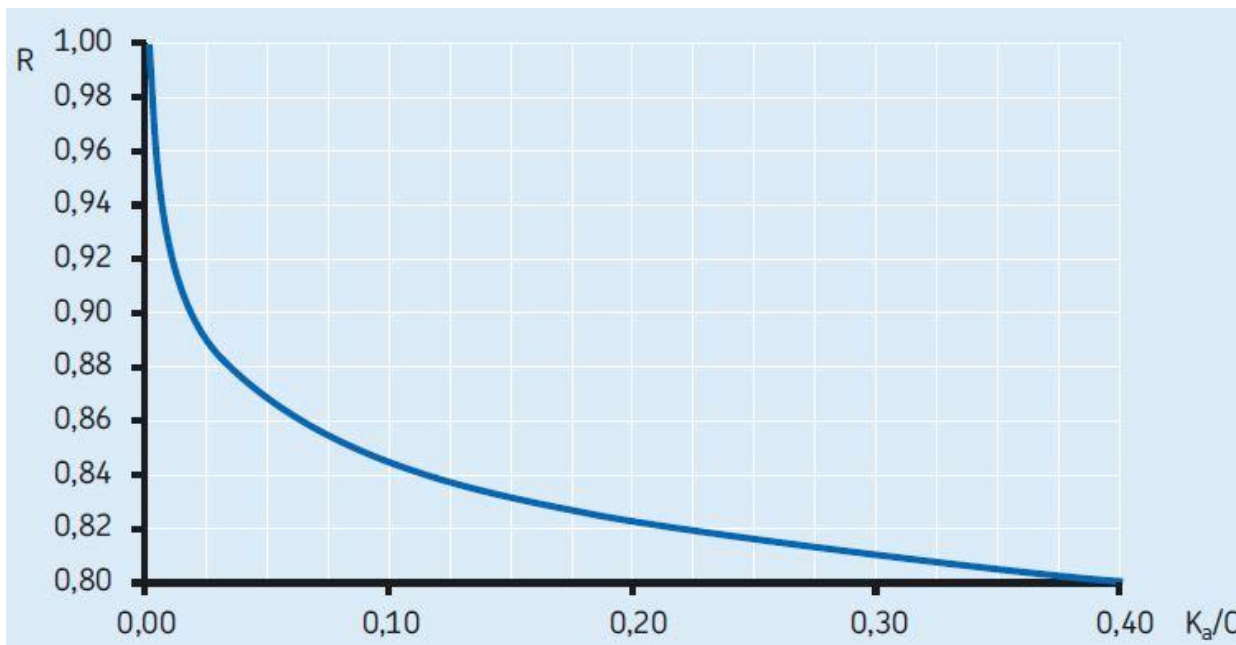
$$F_{ap} = 0 - \text{přímá jízda}$$

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{ap}/C \quad (113)$$

Pro $F_{ap} = 0$ platí $R=1$ (třeba odečíst z Obrázek 100: F_{ap} odpovídá K_a)



Obrázek 100 Graf pro určení proměnné R

[3]

Axiální síla na vnější řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rpe} > F_{rpi}$

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (114)$$

Pokud $F_{rpe} < F_{rpi}$

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (115)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rpe} > F_{rpi}$

$$F_{api} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (116)$$

Pokud $F_{rpe} < F_{rzi}$

$$F_{azi} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (117)$$

[3]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{ape} / F_{rpe} \quad (118)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} \leq 1,14 \quad (119)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = F_{rpe} + 0,55 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (120)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} > 1,14 \quad (121)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = 0,57 \cdot F_{rpe} + 0,93 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (122)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 pe} = \left(\frac{C}{P_{pe}} \right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (123)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (124)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km pe} = L_{10 pe} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (125)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{ope} = F_{rpe} + 0,52 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (126)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0pe} = \frac{C_0}{P_{0pe}} \quad (127)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{api}/F_{rpi} \quad (128)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} \leq 1,14 \quad (129)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = F_{rpi} + 0,55 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (130)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} > 1,14 \quad (131)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = 0,57 \cdot F_{rpi} + 0,93 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (132)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10pi} = \left(\frac{C}{P_{pi}} \right)^3 \quad [miliony otáček] \quad (133)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (134)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

$$L_{10 \text{ km } zi} = L_{10 \text{ zi}} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (135)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{opi} = F_{rpi} + 0,52 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (136)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{opi} = \frac{C_0}{P_{opi}} \quad (137)$$

[3]

5.2.2.2 Režim jízdy 2 – přímá jízda – přední hnaná náprava - jízda po dálnici

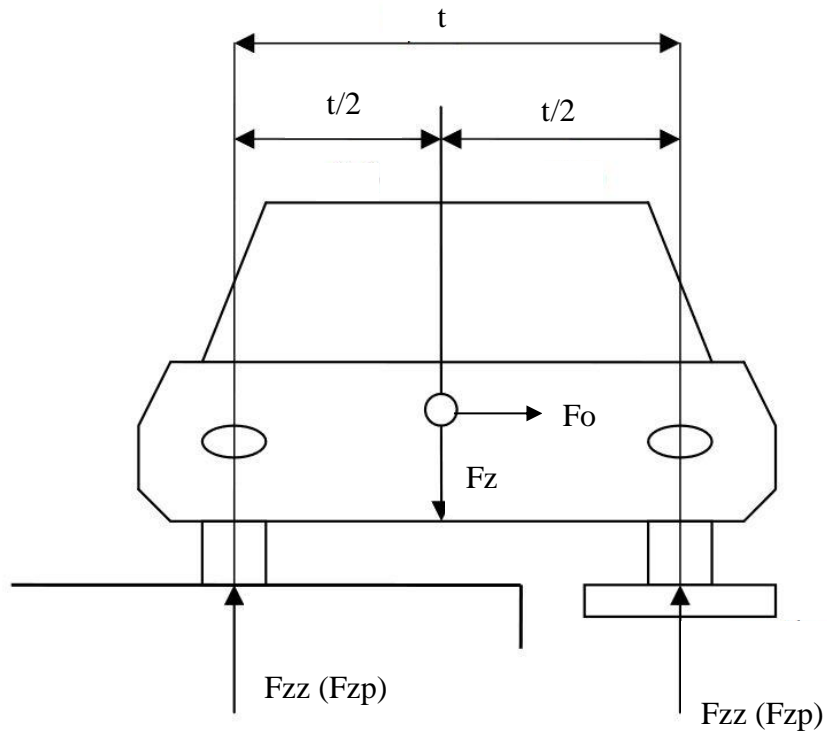
Přímá jízda konstantní rychlostí $v = 120 \text{ km/h}$. Uvažovaná tangenciální síla v ose x od pohonu vozidla o velikosti jízdních odporů vozidla. Vnější axiální síla na ložisko od zatáčení je nulová – jízda po rovině. Zastoupení – 10 % kilometrového proběhu.

Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (138)$$

Odstředivá síla

$$F_o = 0 \text{ N}$$

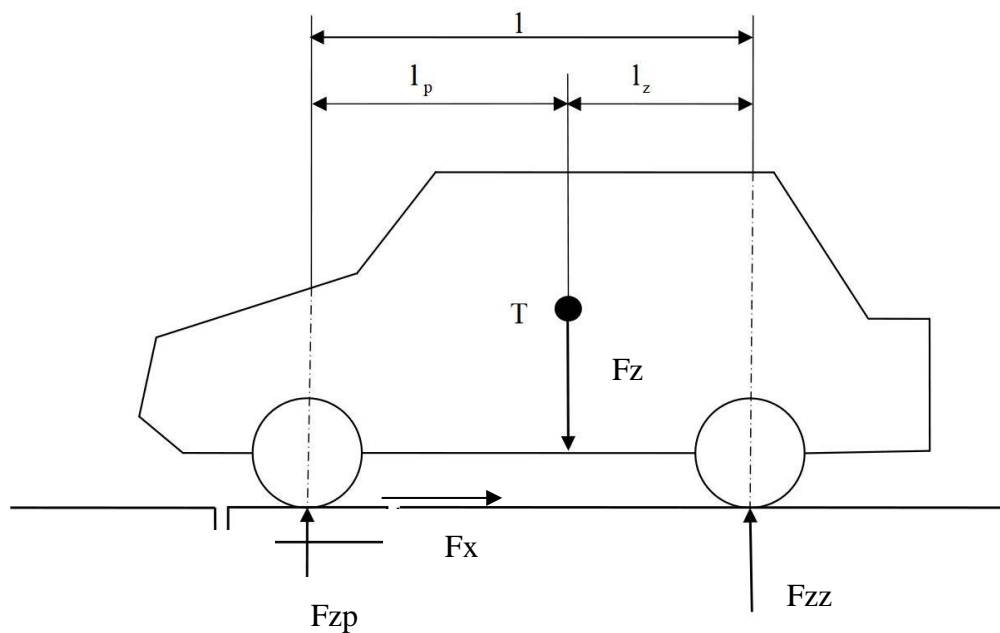


Obrázek 101 Základní rozměry vozu a působící síly [28]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

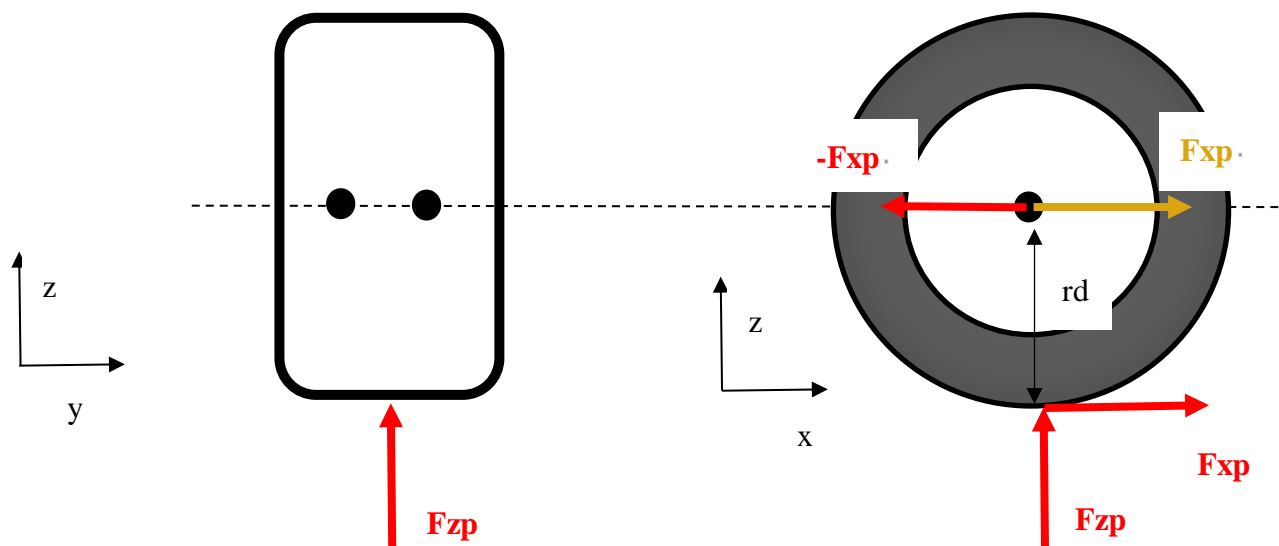
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 102 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]



Obrázek 103 Síly působící na kolo a ložiska

Svislá síla na přední nápravu

$$F_{zp} = \frac{l_z \cdot F_z}{l_p + l_z} \quad [N] \quad (139)$$

Tangenciální síla od pohonu na přední nápravu

$$F_{xp} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot c_x + m \cdot g \cdot o_f\right) \cdot kp \quad [N] \quad (140)$$

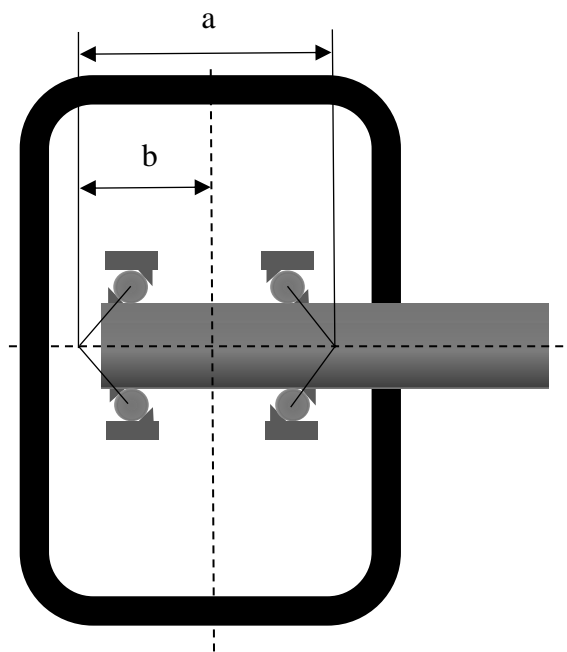
kp – dynamický součinitel od pohonu

[5]

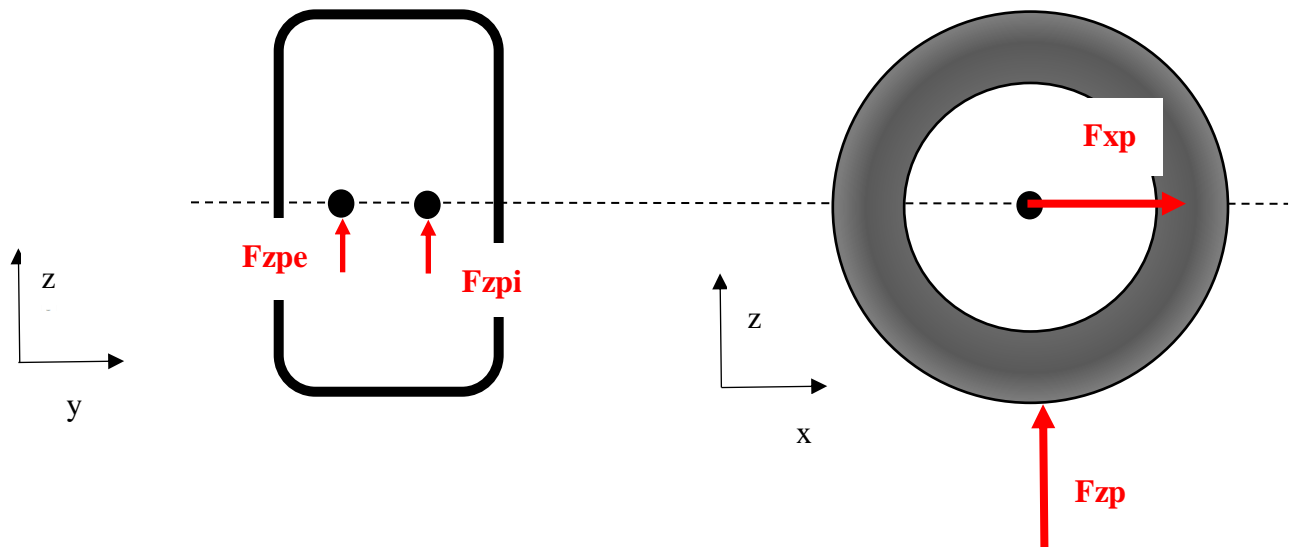
Celková radiální síla na 1 ložisko přední nápravy – přímá jízda

$$F_{rp} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{F_{xp}^2 + (F_{zp} \cdot kr)^2} \quad [N] \quad (141)$$

kr – dynamický součinitel radiální síly



Obrázek 104 Kóty rozměrů uložení ložiska



Obrázek 105 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rpe} = \frac{F_{rp} \cdot (a - b)}{a} \quad [N] \quad (142)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rpi} = \frac{F_{rp} \cdot b}{a} \quad [N] \quad (143)$$

Vnější axiální síla od zatáčení

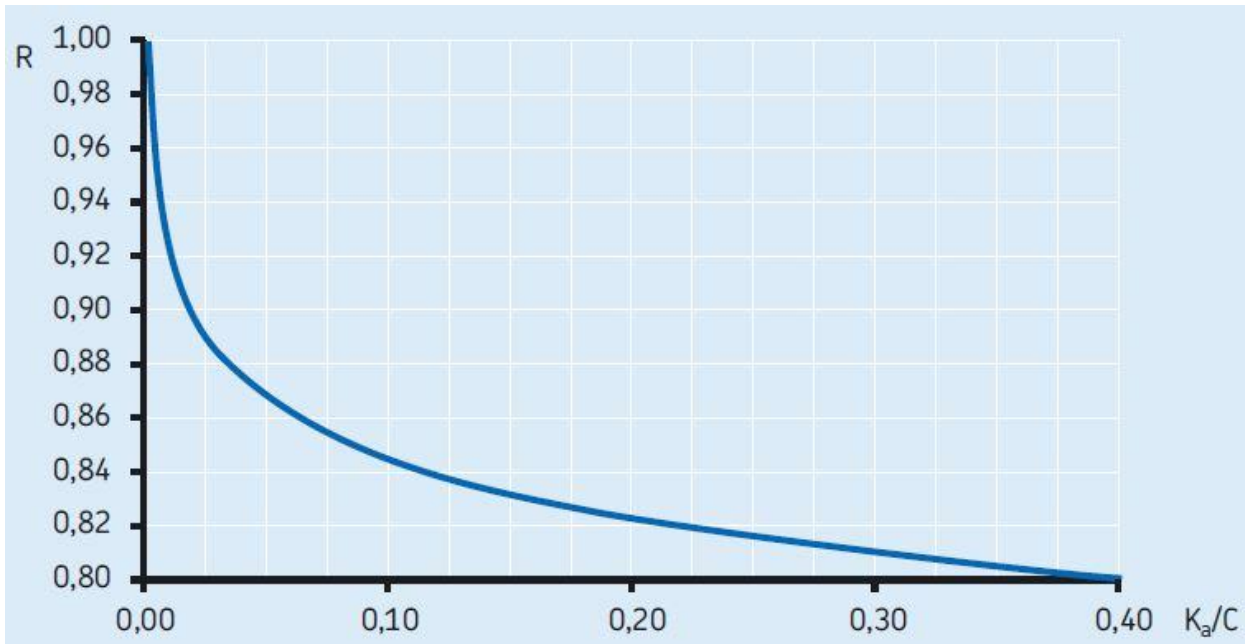
$$F_{ap} = 0 - \text{přímá jízda}$$

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{ap}/C \quad (144)$$

Pro $F_{ap} = 0$ platí $R=1$ (je odečíst z Obrázek 106: F_{ap} odpovídá K_a)



Obrázek 106 Graf pro určení proměnné R

[3]

Axiální síla na vnější řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rpe} > F_{rpi}$

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (145)$$

Pokud $F_{rpe} < F_{rpi}$

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (146)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska ($F_a = 0$)

Pokud $F_{rpe} > F_{rpi}$

$$F_{api} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (147)$$

Pokud $F_{rpe} < F_{rpi}$

$$F_{azi} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (148)$$

[3]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{ape} / F_{rpe} \quad (149)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} \leq 1,14 \quad (150)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = F_{rpe} + 0,55 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (151)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} > 1,14 \quad (152)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = 0,57 \cdot F_{rpe} + 0,93 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (153)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 pe} = \left(\frac{C}{P_{pe}} \right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (154)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (155)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km pe} = L_{10 pe} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (156)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{0pe} = F_{rpe} + 0,52 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (157)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0\ pe} = \frac{C_0}{P_{0\ pe}} \quad (158)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{api}/F_{rpi} \quad (159)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} \leq 1,14 \quad (160)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = F_{rpi} + 0,55 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (161)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} > 1,14 \quad (162)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = 0,57 \cdot F_{rpi} + 0,93 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (163)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10\ pi} = \left(\frac{C}{P_{pi}} \right)^3 \quad [miliony\ otáček] \quad (164)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (165)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

$$L_{10 \text{ km } zi} = L_{10 \text{ zi}} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (166)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{opi} = F_{rpi} + 0,52 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (167)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{opi} = \frac{C_0}{P_{opi}} \quad (168)$$

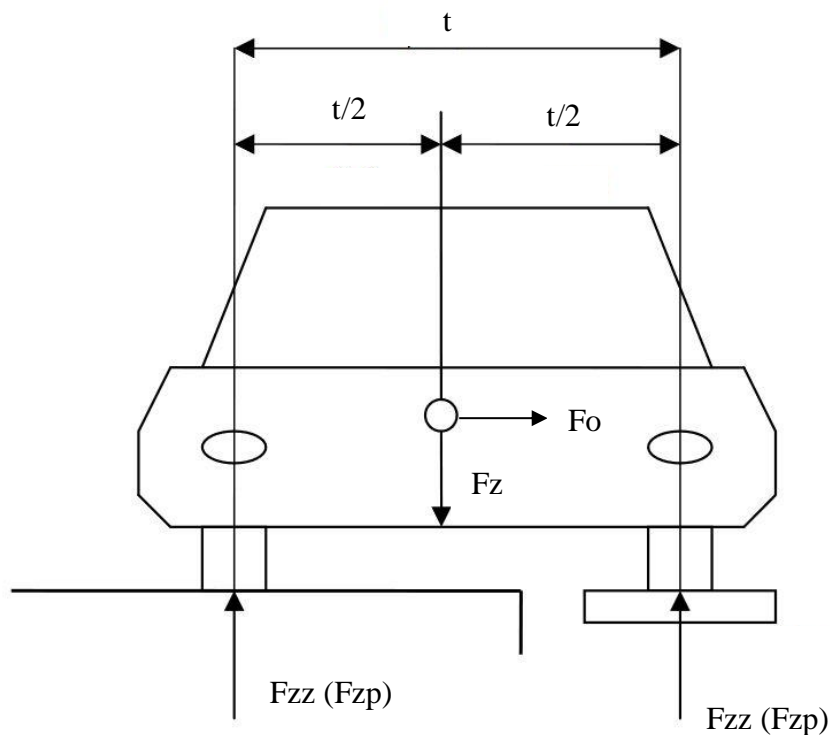
[3]

5.2.2.3 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou – přední hnaná náprava - konstantní rychlost - vnější kolo

Jízda konstantní rychlostí. Uvažovaná tangenciální síla ve směru osy x od pohonu. Zastoupení – 5 % kilometrového proběhu. Poloměr oblouku zatáčky $R = 200$ m, rychlost průjezdu $v = 80$ km/h.

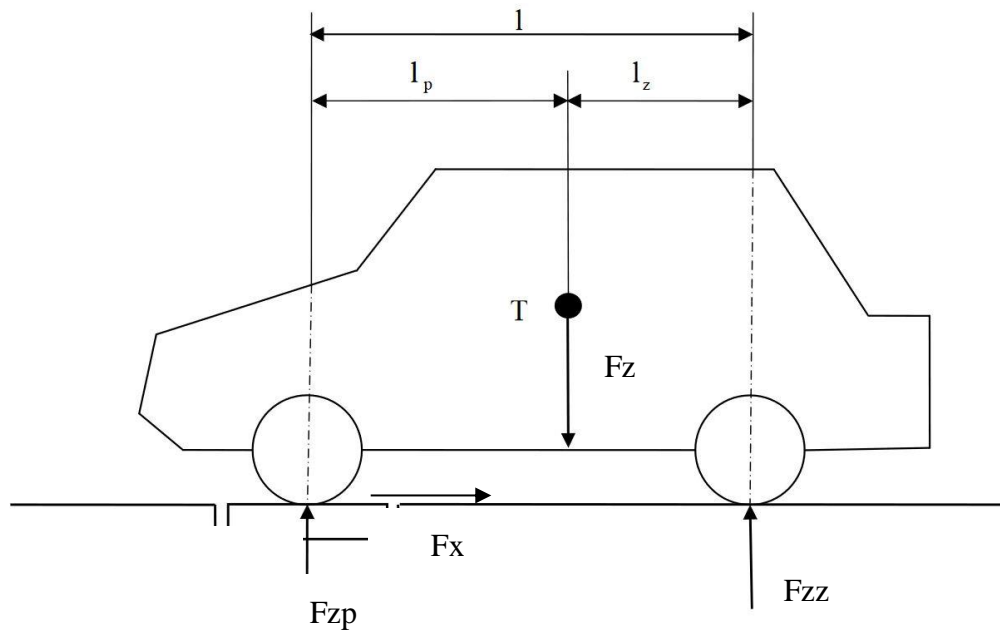
Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (169)$$



Obrázek 107 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]



Obrázek 108 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]

Svislá síla na vnější ložisko přední nápravy

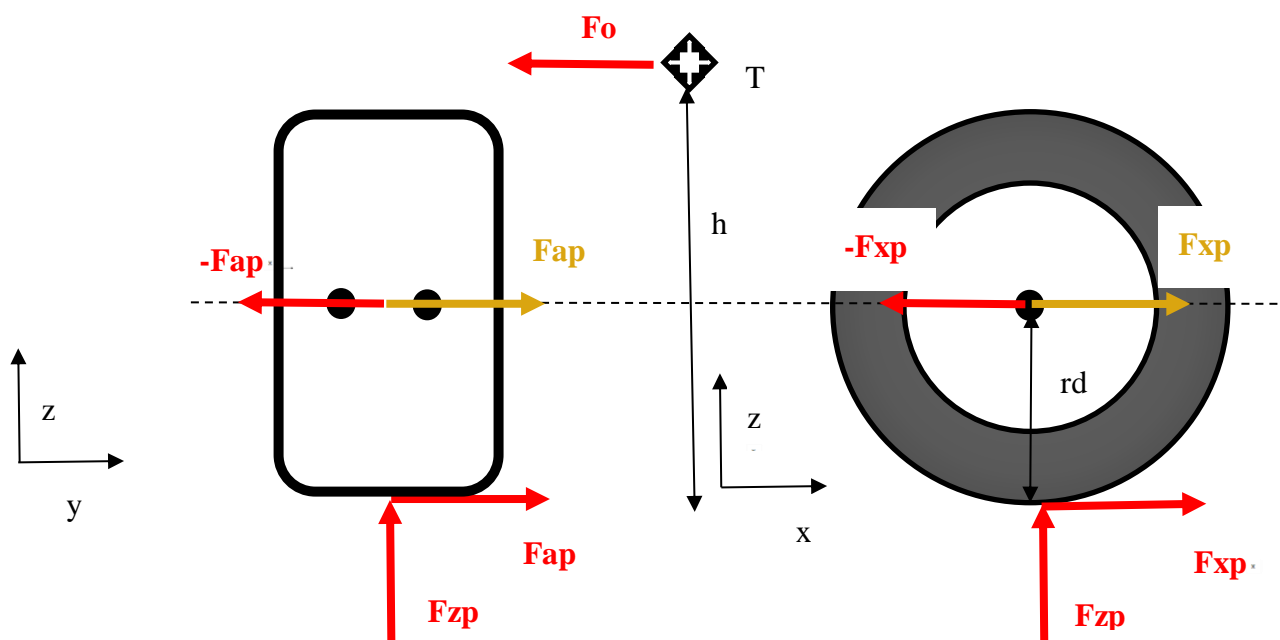
$$F_{zp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Lz \cdot F_z}{Lp + Lz} \quad [N] \quad (170)$$

Tangenciální síla od pohonu na přední nápravu

$$F_{xp} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot c_x + m \cdot g \cdot o_f \right) \cdot kp \quad [N] \quad (171)$$

kp – dynamický součinitel od pohonu

[5]



Obrázek 109 Síly působící na kolo a ložiska

Odstředivá síla celého vozu

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad [N] \quad (172)$$

Vnější axiální síla na jedno ložisko od zatáčení

$$F_{ap} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_z \cdot F_o}{L_p + L_z} \cdot k_a \quad [N] \quad (173)$$

k_a – dynamický součinitel axiální síly

Přítěžující radiální síla od zatáčení na vnější ložisko přední nápravy

$$F_{rp\ zat} = \frac{2 \cdot F_{ap} \cdot h}{t} \quad [N] \quad (174)$$

Celková zatěžující radiální síla na vnější ložisko přední nápravy

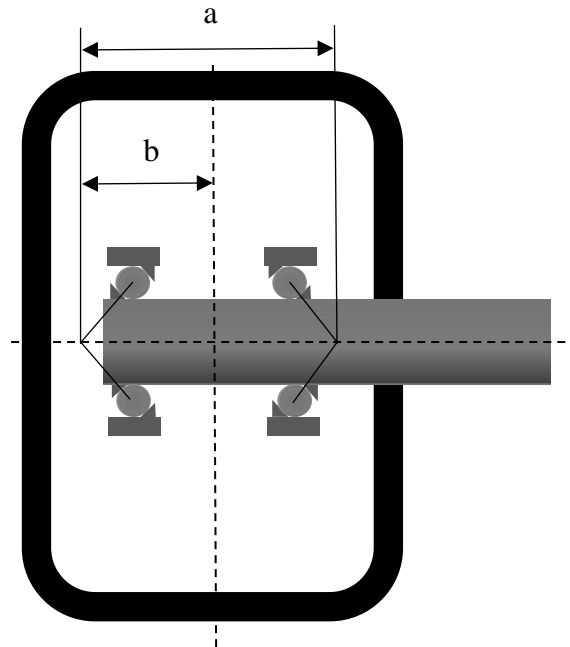
$$F_{rp} = \sqrt{\left(\frac{F_{xp}}{2}\right)^2 + (F_{zp} + F_{rp\ zat})^2} \cdot k_r \quad [N] \quad (175)$$

k_r – dynamický součinitel radiálních sil

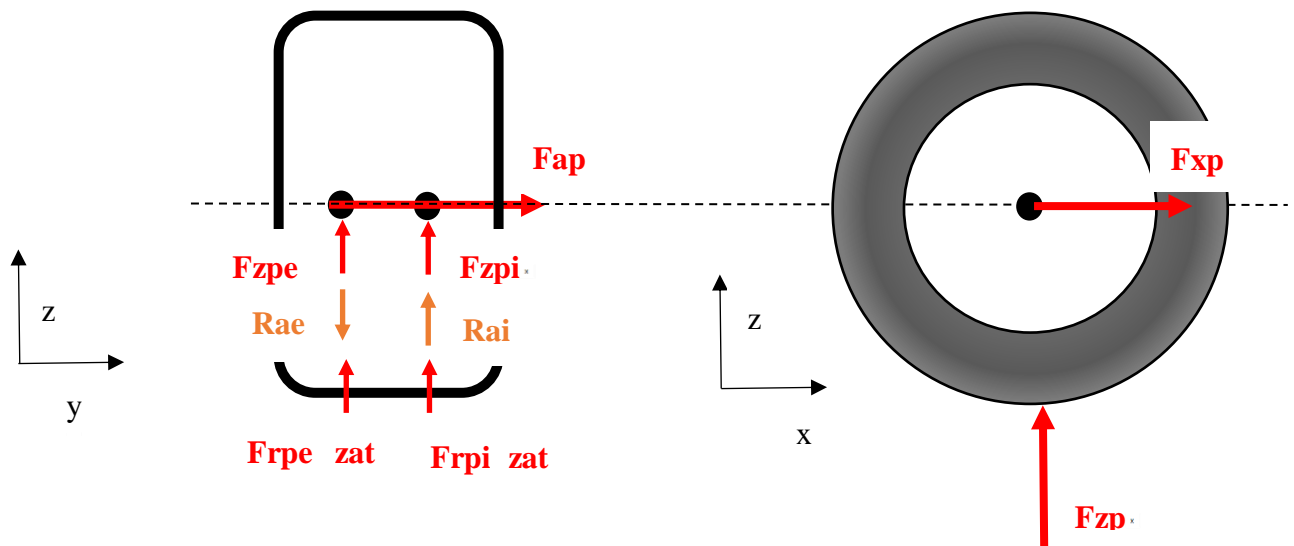
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 110 Kóty rozměrů uložení ložiska



Obrázek 111 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální reakční síla od klopného momentu od zatáčení

$$R_{ap} = F_{ap} \cdot \frac{r_d}{a} \quad [N] \quad (176)$$

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rpe} = \frac{F_{rp} \cdot (a - b)}{a} \pm R_{ap} \quad [N] \quad * \quad (177)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rpi} = \frac{F_{rp} \cdot b}{a} \pm R_{ap} \quad [N] \quad * \quad (178)$$

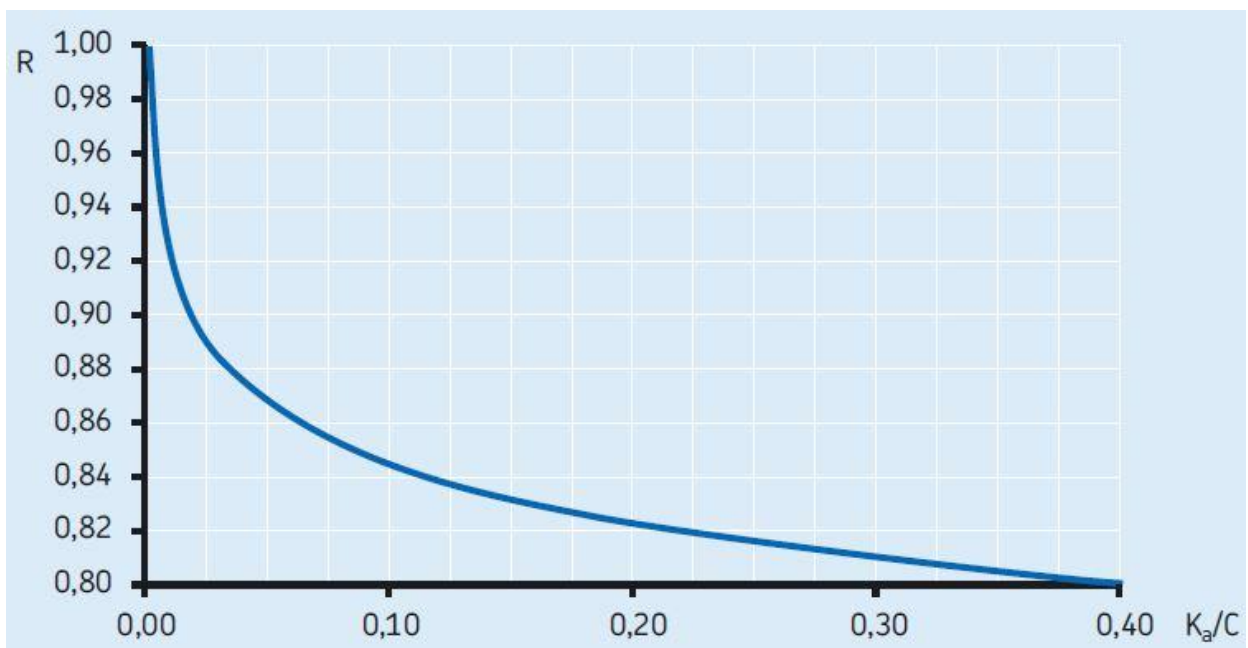
* \pm závisí na směru R_{ap} – viz Obrázek 111

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{ap}/C \quad (179)$$

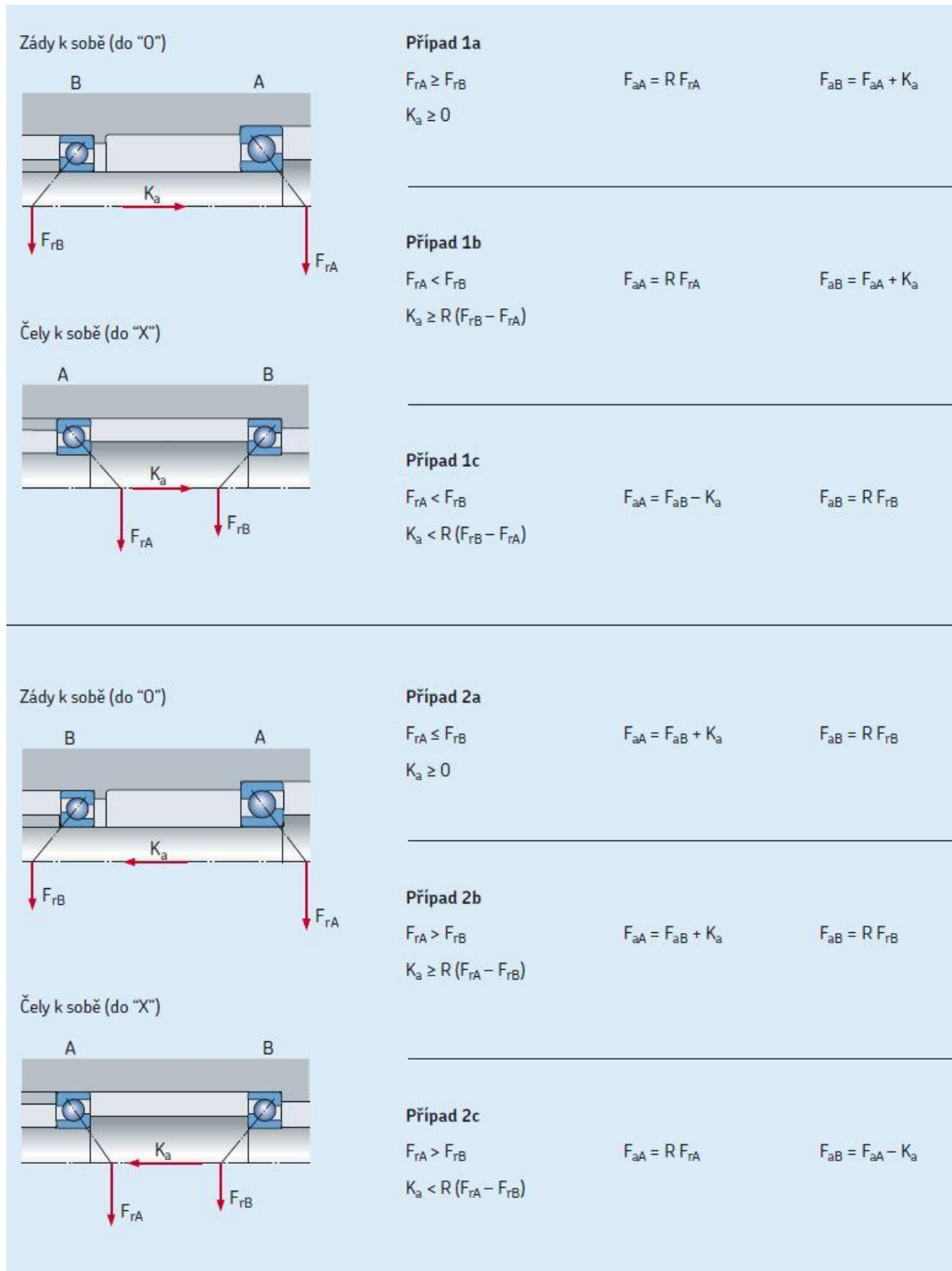
R je třeba odečíst z Obrázek 112: Faz odpovídá K_a



Obrázek 112 Graf pro určení proměnné R

[3]

Axiální síly v ložisku



Obrázek 113 Výpočet axiální síly v ložisku

Do vztahů na Obrázek 113 je třeba dosadit tak, aby byly splněny všechny podmínky způsobu zatížení.

Pro původní řešení přední hnané nápravy vnějšího kola s ložiskovou jednotkou 3. Generace platí případ **1a**, kde axiální síla $K_a = F_{ap}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{ape} = F_{api} + F_{ap} \quad [N] \quad (180)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{api} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (181)$$

[3]

Pro navrhované řešení přední poháněné nápravy s ložiskovou jednotkou 3. Generace platí případ **1a**, kde axiální síla $K_a = F_{ap}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{ape} = F_{api} + F_{ap} \quad [N] \quad (182)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{api} = R \cdot F_{rpi} \quad [N] \quad (183)$$

[3]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{ape} / F_{rpe} \quad (184)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} \leq 1,14 \quad (185)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = F_{rpe} + 0,55 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (186)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} > 1,14 \quad (187)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = 0,57 \cdot F_{rpe} + 0,93 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (188)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 pe} = \left(\frac{C}{P_{pe}} \right)^3 [\text{miliony otáček}] \quad (189)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (190)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km pe} = L_{10 pe} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (191)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{0pe} = F_{rpe} + 0,52 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (192)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{0ze} = \frac{C_0}{P_{0pe}} \quad (193)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{api}/F_{rpi} \quad (194)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} \leq 1,14 \quad (195)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = F_{rpi} + 0,55 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (196)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} > 1,14 \quad (197)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = 0,57 \cdot F_{rpi} + 0,93 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (198)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10pi} = \left(\frac{C}{P_{pi}} \right)^3 \quad [miliony otáček] \quad (199)$$

[3]

Obvod kola

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (200)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 \text{ km } pi} = L_{10 pi} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (201)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{0pi} = F_{rpi} + 0,52 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (202)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{0pi} = \frac{C_0}{P_{0pi}} \quad (203)$$

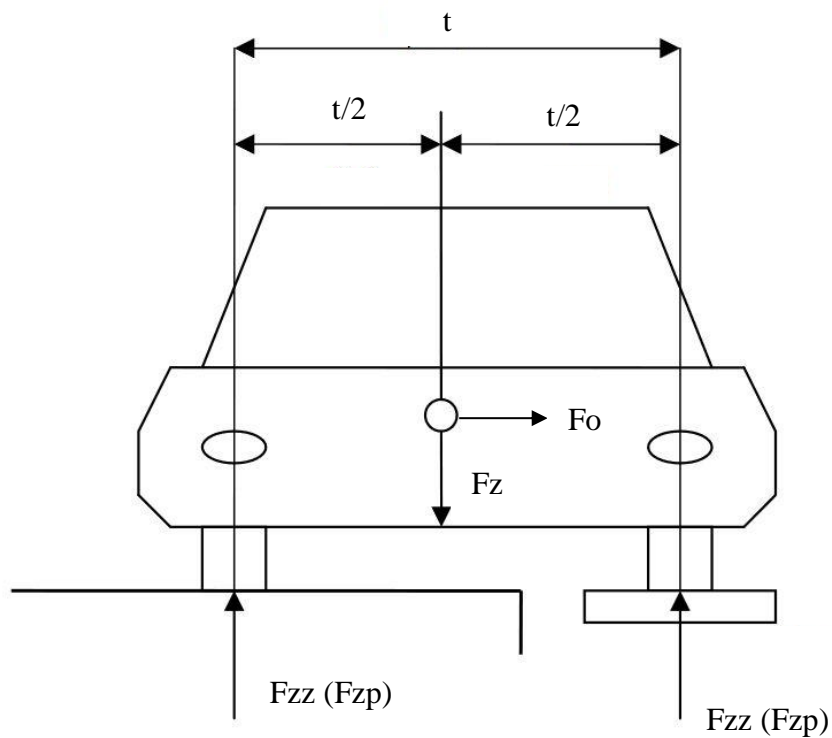
[3]

5.2.2.4 Režim jízdy 4 – jízda zatáčkou – přední hnaná náprava - konstantní rychlost - vnitřní kolo

Jízda konstantní rychlostí. Uvažovaná tangenciální síla ve směru osy x od pohonu. Zastoupení – 5 % kilometrového proběhu. Poloměr oblouku zatáčky $R = 200$ m, rychlost průjezdu $v = 80$ km/h.

Svislá celková síla od tíhy vozu

$$F_z = m \cdot g \quad [N] \quad (204)$$



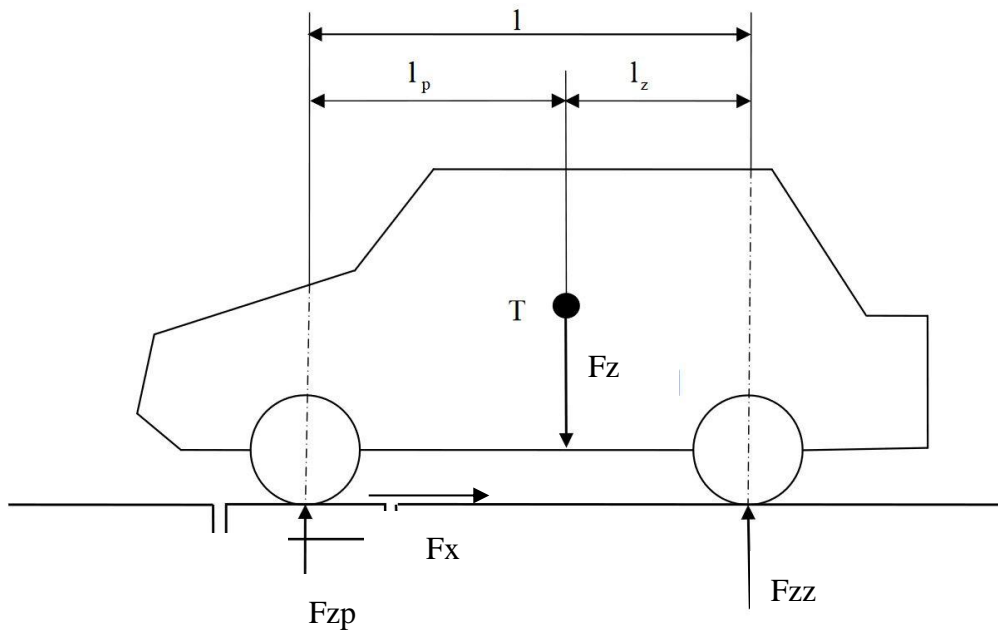
Obrázek 114 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 115 Základní rozměry vozu a působící síly

[28]

Svislá síla na vnější ložisko přední nápravy

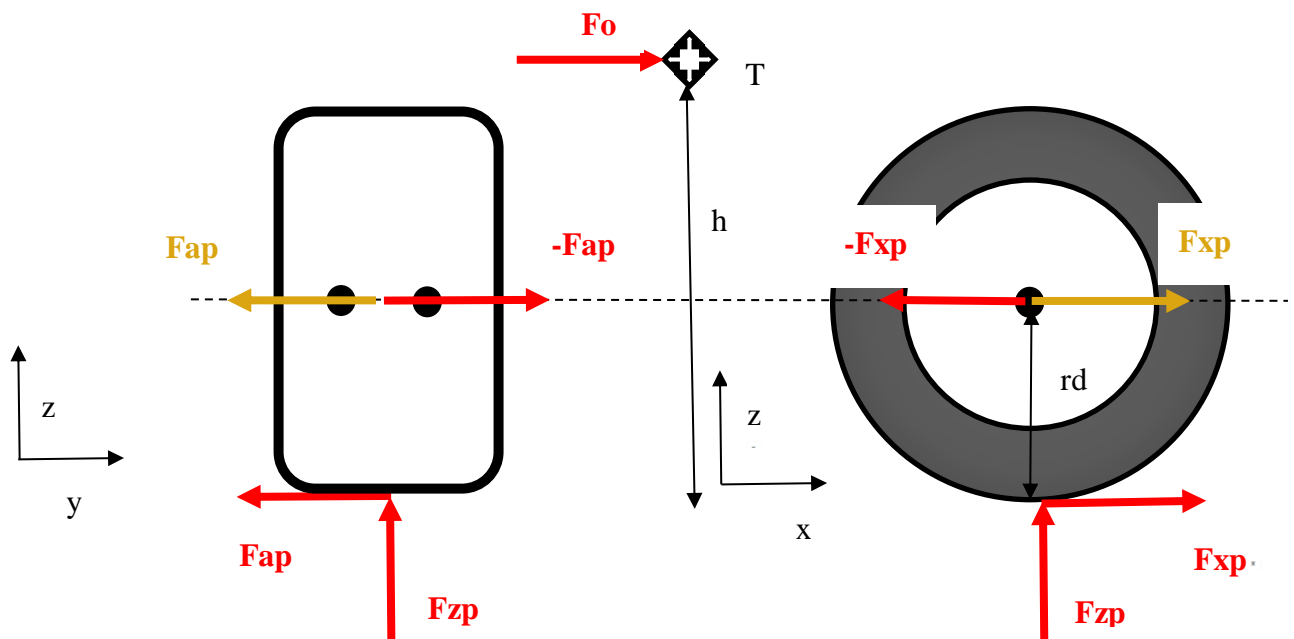
$$F_{zp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Lz \cdot F_z}{Lp + Lz} \quad [N] \quad (205)$$

Tangenciální síla od pohonu na přední nápravu

$$F_{xp} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot c_x + m \cdot g \cdot o_f \right) \cdot kp \quad [N] \quad (206)$$

kp – dynamický součinitel od pohonu

[5]



Obrázek 116 Síly působící na kolo a ložiska

Odstředivá síla celého vozu

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad [N] \quad (207)$$

Vnější axiální síla na jedno ložisko od zatáčení

$$F_{ap} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Lz \cdot F_o}{Lp + Lz} \cdot ka \quad [N] \quad (208)$$

Ka – dynamický součinitel axiální síly

Přítěžující radiální síla od zatáčení na vnější ložisko přední nápravy

$$F_{rp\ zat} = \frac{2 \cdot F_{ap} \cdot h}{t} \quad [N] \quad (209)$$

Celková zatěžující radiální síla na vnější ložisko přední nápravy

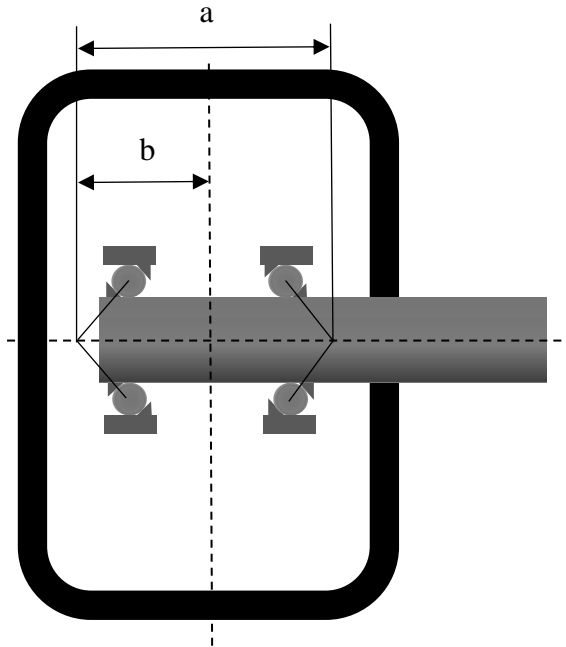
$$F_{rp} = \sqrt{\left(\frac{F_{xp}}{2}\right)^2 + (F_{zp} - F_{rp\ zat})^2} \cdot kr^2 \quad [N] \quad (210)$$

kr – dynamický součinitel radiálních sil

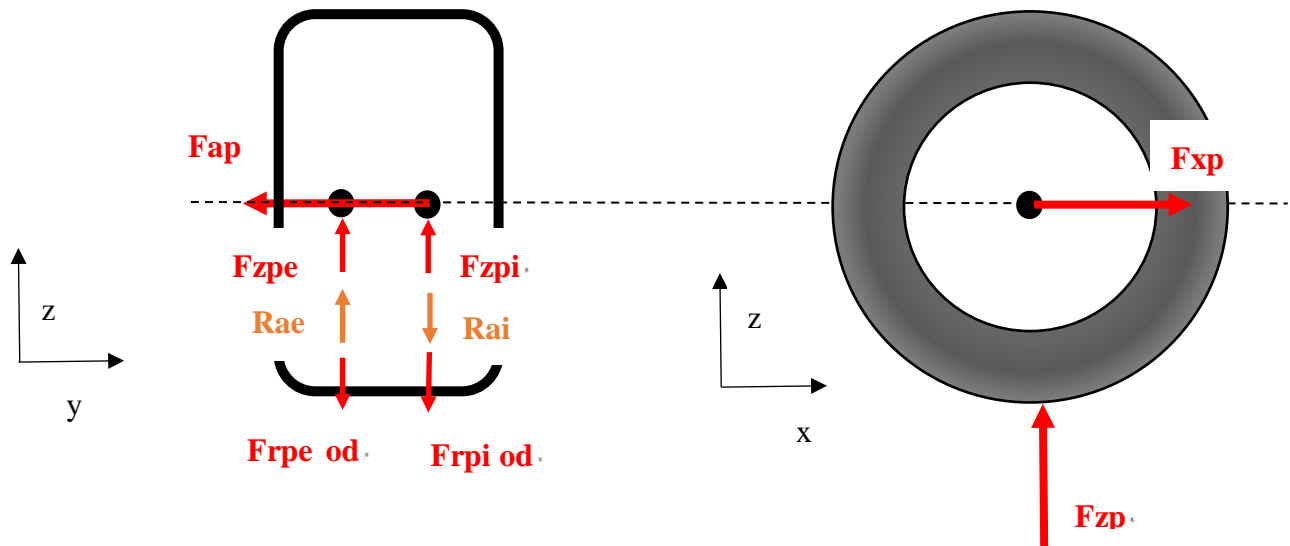
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



Obrázek 117 Kóty rozměrů uložení ložiska



Obrázek 118 Síly působící na kolo a ložiska

Radiální reakční síla od klopného momentu od zatáčení

$$R_{ap} = F_{ap} \cdot \frac{r_d}{a} \cdot kr \quad [N] \quad (211)$$

Radiální síla na vnější řadu

$$F_{rpe} = \frac{F_{rp} \cdot (a + b)}{a} \pm R_{ap} \quad [N] \quad * \quad (212)$$

Radiální síla na vnitřní řadu

$$F_{rpi} = \frac{F_{rp} \cdot b}{a} \pm R_{ap} \quad [N] \quad * \quad (213)$$

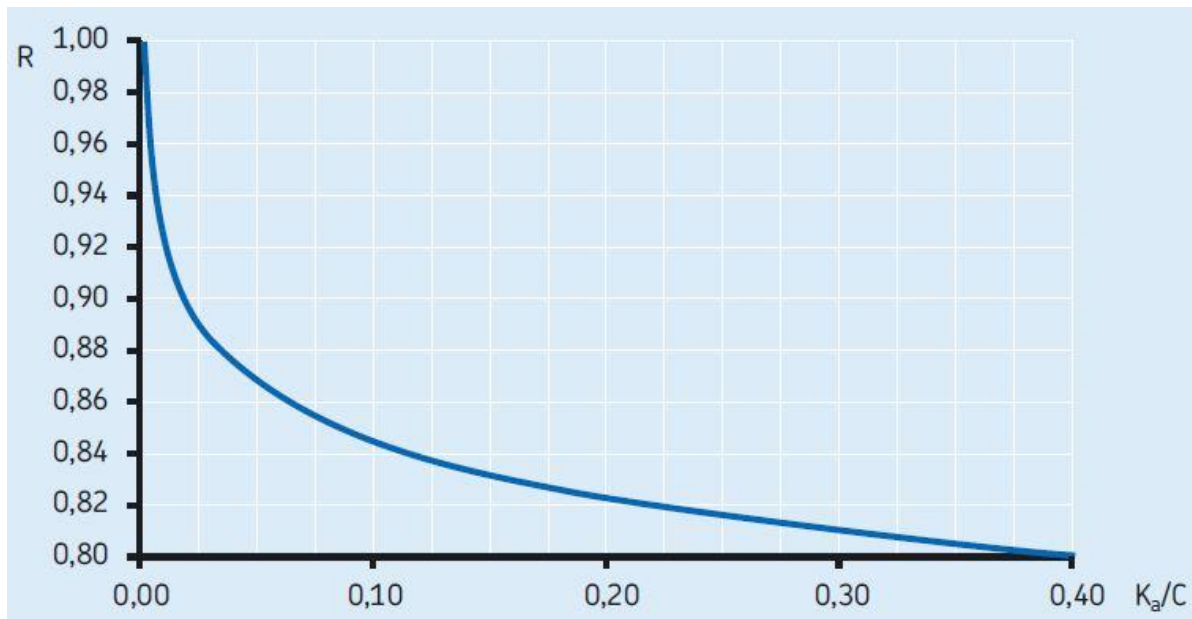
* \pm závisí na směru R_{ap} – viz Obrázek 118

Proměnná R pro určení axiální síly v ložisku

Třeba určit poměr:

$$F_{ap}/C \quad (214)$$

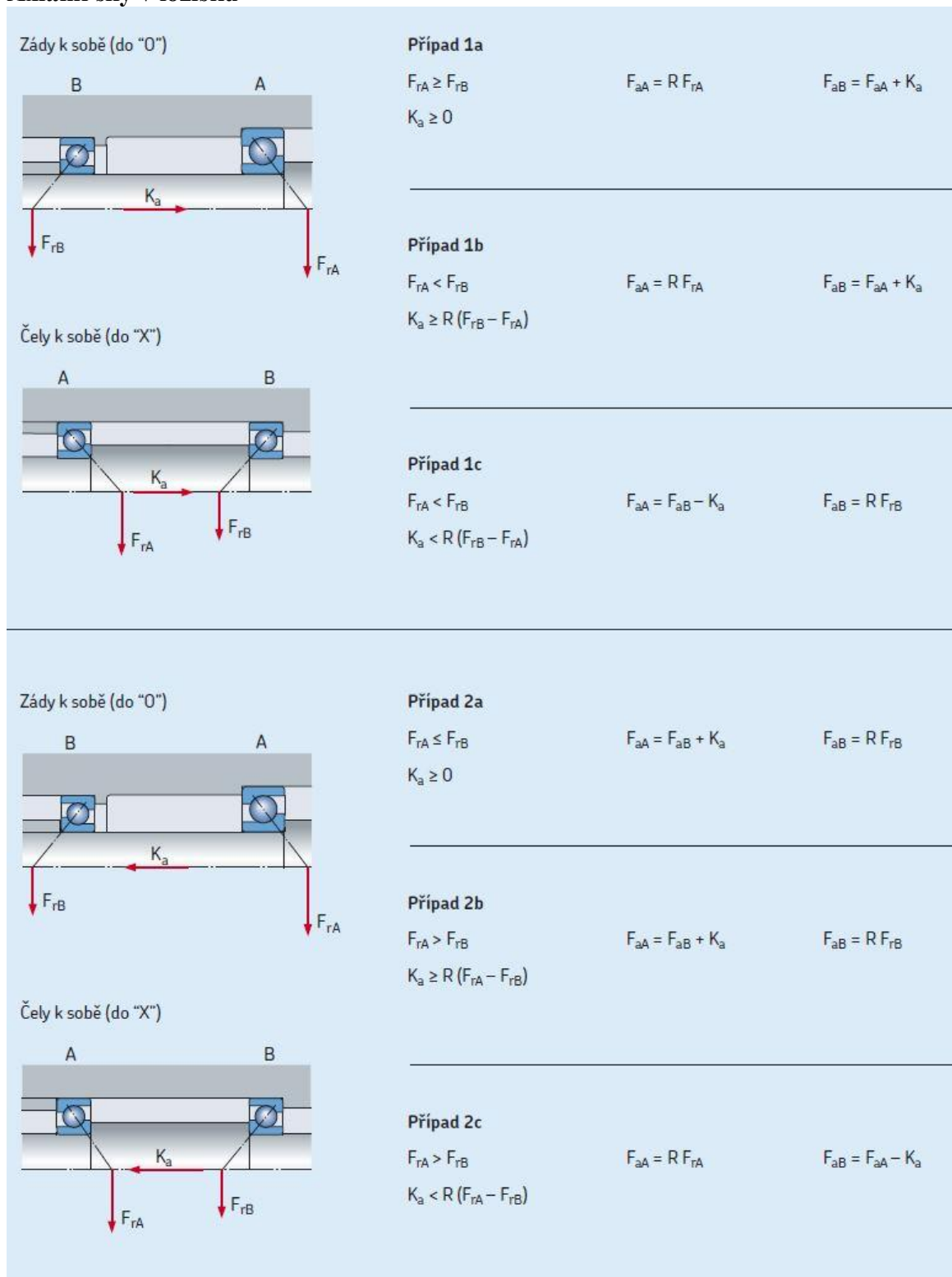
R je třeba odečíst z Obrázek 119: F_{ap} odpovídá K_a .



Obrázek 119 Graf pro určení proměnné R

[3]

Axiální síly v ložisku



Obrázek 120 Výpočet axiální síly v ložisku

Do vztahů na Obrázek 120 je třeba dosadit tak, aby byly splněny všechny podmínky způsobu zatížení.

Pro původní řešení přední hnané nápravy vnitřního kola s ložiskovou jednotkou 3. generace platí případ **2a**, kde axiální síla $K_a = F_{ap}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (215)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{api} = F_{ape} + F_{ap} \quad [N] \quad (216)$$

[3]

Pro navrhované řešení přední poháněné nápravy s ložiskovou jednotkou 3. generace platí případ **2a**, kde axiální síla $K_a = F_{ap}$.

Axiální síla na vnější řadu ložiska

$$F_{ape} = R \cdot F_{rpe} \quad [N] \quad (217)$$

[3]

Axiální síla na vnitřní řadu ložiska

$$F_{api} = F_{ape} + F_{ap} \quad [N] \quad (218)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnější řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{ape} / F_{rpe} \quad (219)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} \leq 1,14 \quad (220)$$

Platí vztah

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

$$P_{pe} = F_{rpe} + 0,55 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (221)$$

Pro

$$F_{ape} / F_{rpe} > 1,14 \quad (222)$$

Platí vztah

$$P_{pe} = 0,57 \cdot F_{rpe} + 0,93 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (223)$$

[3]

Základní trvanlivost vnější řady

$$L_{10 pe} = \left(\frac{C}{P_{pe}} \right)^3 \quad [\text{miliony otáček}] \quad (224)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (225)$$

Základní trvanlivost vnější řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km pe} = L_{10 pe} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (226)$$

[3]

Ekvivalentní statické zatížení vnější řady

$$P_{ope} = F_{rpe} + 0,52 \cdot F_{ape} \quad [N] \quad (227)$$

[3]

Statická bezpečnost vnější řady

$$s_{ope} = \frac{C_0}{P_{ope}} \quad (228)$$

[3]

Ekvivalentní dynamické zatížení vnitřní řady ložiska

Třeba určit poměr

$$F_{api}/F_{rpi} \quad (229)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} \leq 1,14 \quad (230)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = F_{rpi} + 0,55 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (231)$$

Pro

$$F_{api}/F_{rpi} > 1,14 \quad (232)$$

Platí vztah

$$P_{pi} = 0,57 \cdot F_{rpi} + 0,93 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (233)$$

[3]

Základní trvanlivost vnitřní řady

$$L_{10 pi} = \left(\frac{C}{P_{pi}} \right)^3 \quad [miliony otáček] \quad (234)$$

[3]

Obvod kola

$$O = 2\pi \cdot r_d \quad [m] \quad (235)$$

Základní trvanlivost vnitřní řady v ujetých kilometrech

$$L_{10 km pi} = L_{10 pi} \cdot O \cdot 1000 \quad [km] \quad (236)$$

Ekvivalentní statické zatížení vnitřní řady

$$P_{opi} = F_{rpi} + 0,52 \cdot F_{api} \quad [N] \quad (237)$$

[3]

Statická bezpečnost vnitřní řady

$$s_{opi} = \frac{C_0}{P_{opi}} \quad (238)$$

[3]

5.2.2.5 Celková kombinovaná základní trvanlivost ložiska přední hnané nápravy

Vztah je totožný pro vnější i vnitřní řadu

$$L_{10km\ p\ e\ i} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1}{L_{10km\ 1}} + \frac{\varepsilon_2}{L_{10km\ 2}} + \frac{\varepsilon_3}{L_{10km\ 3}} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{L_{10km\ n}}} \quad (239)$$

[41]

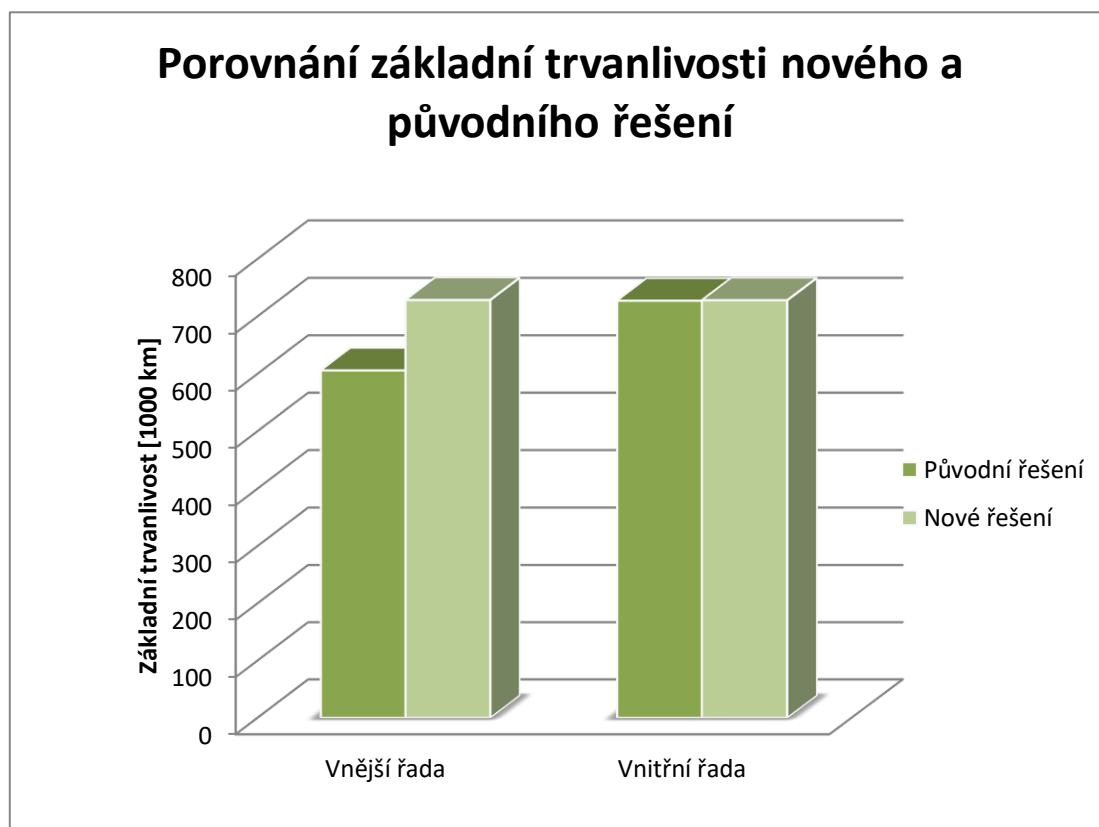
Pro dané režimy

$$L_{10km\ p\ e\ i} = \frac{1}{\frac{0,8}{L_{10km\ \text{přímá}}} + \frac{0,1}{L_{10km\ \text{přímá dálnice}}} + \frac{0,05}{L_{10km\ \text{zátáčka vnější}}} + \frac{0,05}{L_{10km\ \text{zátáčka vnitřní}}}} \quad (240)$$

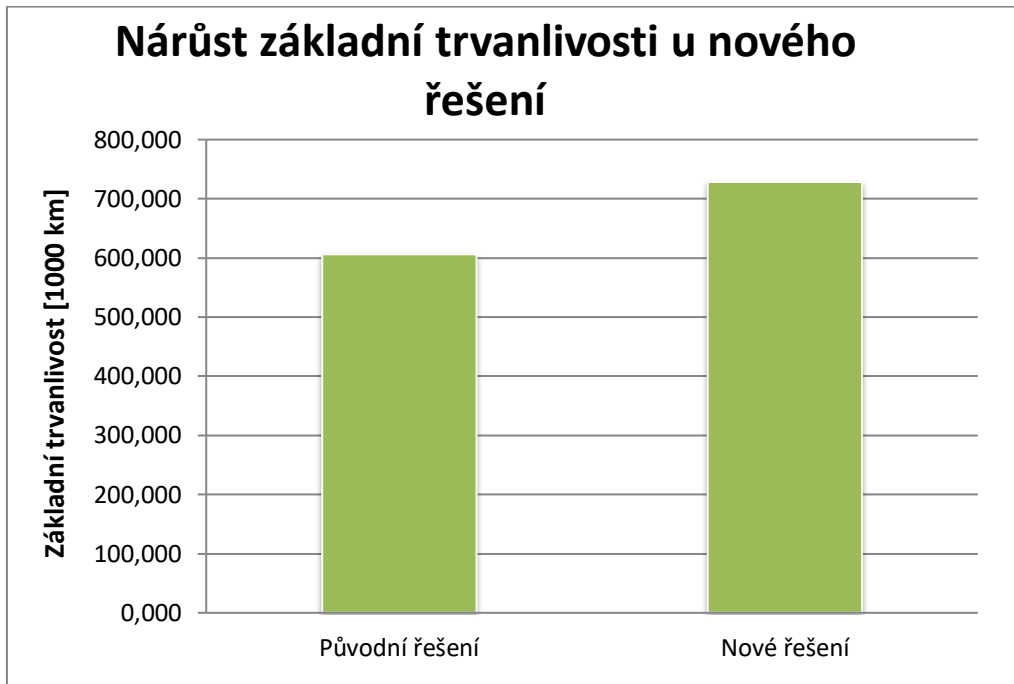
5.2.3 Vyhodnocení výsledků inovace – přední kolo

5.2.3.1 Porovnání původního a nového řešení z hlediska základní trvanlivosti a statické bezpečnosti – přední kolo

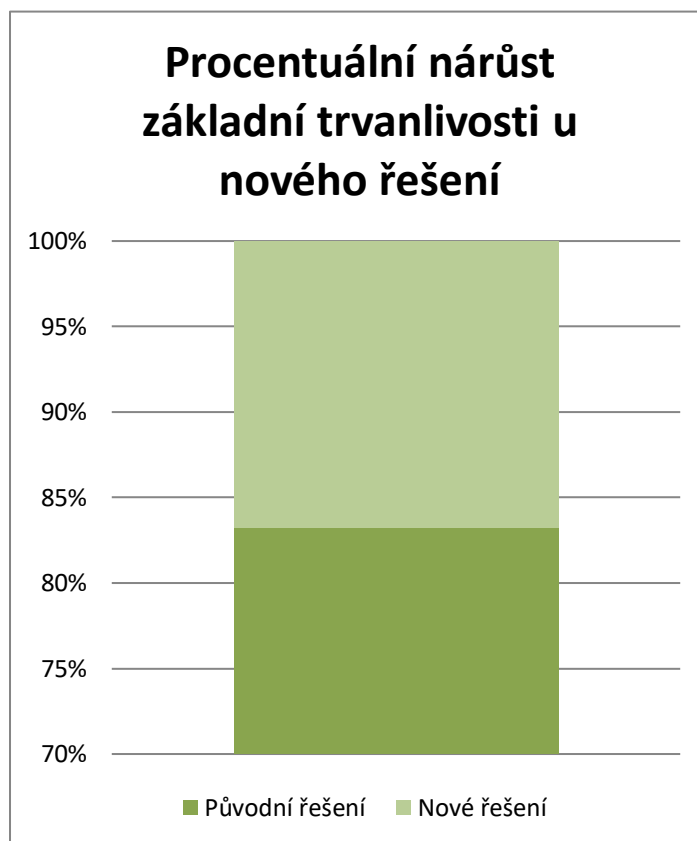
Jednotlivé výsledky základní trvanlivosti původního a inovovaného řešení jsou uvedeny v následujících grafech:



Obrázek 121 Graf - Porovnání základní trvanlivosti nového a původního řešení



Obrázek 122 Graf - Nárůst základní trvanlivosti u nového řešení



Obrázek 123 Graf - Procentuální nárůst základní trvanlivosti u nového řešení

Vyhodnocení základní trvanlivosti a následné porovnání původního a nového řešení je stejně jako v případě zadního kola zjednodušeně provedeno na základě srovnání základní trvanlivosti mezi řadami daných řešení, které vykazují nižší základní trvanlivost⁹. V tomto případě tedy mezi vnější řadou původního řešení a vnitřní řadou nového řešení. Obdobně je postupováno při porovnání výsledků statických bezpečností.

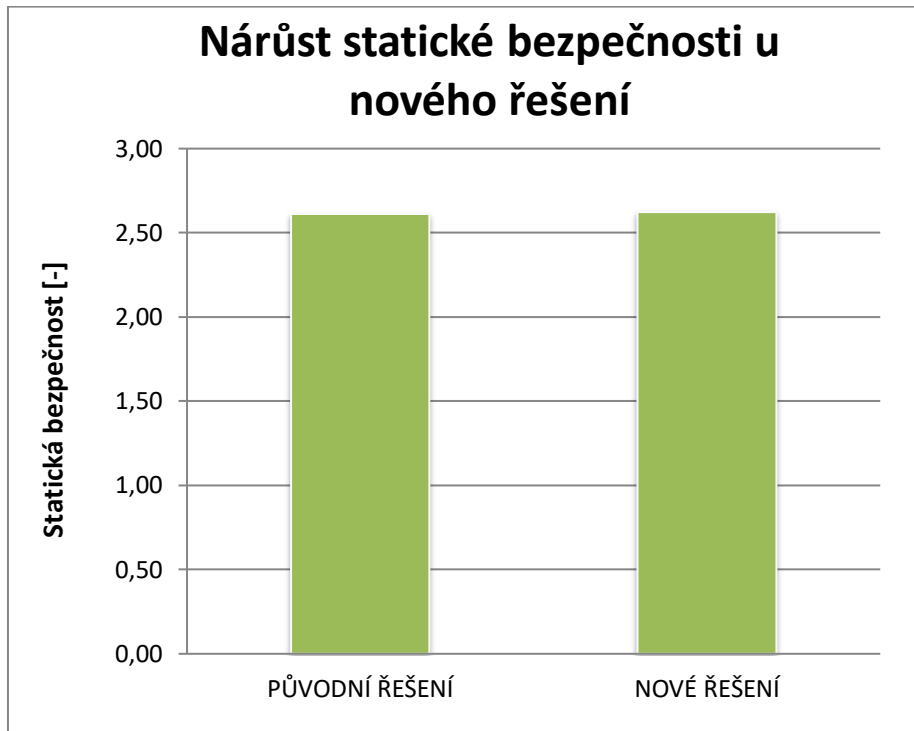
Tabulka 5 Výsledky základní trvanlivosti jednotlivých řešení¹⁰

<u>Popis</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>
Základní trvanlivost původního řešení – vnější řada	605 936	km
Základní trvanlivost původního řešení – vnitřní řada	727 373	km
Základní trvanlivost navrhovaného řešení – vnější řada	728 451	km
Základní trvanlivost navrhovaného řešení – vnitřní řada	728 099	km
Nárůst v km	122 163	km
Nárůst v %	16,8	%

Jednotlivé výsledky statických bezpečností původního a inovovaného řešení jsou uvedeny v následujících grafech a tabulkách. Zároveň byla provedena kontrola statické bezpečnosti při mezních stavech – na mezi adheze v zatáčce a při vertikálním přetížení způsobeném například nájezdem na hup a podobně.

⁹ Existují výpočtové algoritmy, které stanovují přesnější porovnání celkových životností jednotlivých řešení, rozdíl oproti zde uvažovanému postupu je však pro účely této práce zanedbatelný. [4]

¹⁰ Hodnoty základní trvanlivosti jsou patrně vyšší, než bývají v praxi. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že model výpočtu nezahrnuje všechny jízdní stavy, případně nepřesné stanovení procentuálního zastoupení kilometrového proběhu pro jednotlivé jízdní cykly. Vliv na výsledek také může mít nepřesné odhadnutí některých parametrů. Je možné také možné, že výslednou životnost v praxi snižují poruchy ložisek, které vznikají během provozu od rázů, vniku nečistot a podobně. Tyto vlivy mohou výslednou životnost ložiska ovlivnit nezávisle na teoretické základní trvanlivosti. Procentuální nárůst by ovšem měl být pro porovnání řešení v reálu vypovídající.



Obrázek 124 Graf - Nárůst statické bezpečnosti u nového řešení



Obrázek 125 Graf - Procentuální nárůst statické bezpečnosti u nového řešení

Tabulka 6 Statické bezpečnosti daných řešení v jednotlivých jízdních cyklech

PŮVODNÍ ŘEŠENÍ	<u>s0 1</u>	<u>S0 2</u>	<u>s0 3</u>	<u>s0 4</u>
Vnější řada	5,05	5,69	6,02	2,68
Vnitřní řada	5,80	6,54	2,61	4,65
NOVÉ ŘEŠENÍ	<u>s0 1</u>	<u>S0 2</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	5,40	6,10	6,09	2,86
Vnitřní řada	5,66	6,40	2,62	5,23

Tabulka 7 Porovnání výsledků statické bezpečnosti

<u>Popis</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>
Nejmenší statická bezpečnost původního řešení	2,61	-
Nejmenší statická bezpečnost navrhovaného řešení	2,62	-
Nárůst - absolutní	0,01	-
Nárůst v %	0,43	%

Tabulka 8 Hodnoty statických bezpečností při mezních stavech

ZATÁČKA	<u>s0 1</u>	<u>S0 2</u>	<u>s0 3</u>	<u>s0 4</u>
Vnější řada	4,84	5,47	1,54	1,27
Vnitřní řada	5,07	5,73	1,10	1,41
PŘETÍŽENÍ	<u>s0 1</u>	<u>S0 2</u>	<u>s0 2</u>	<u>s0 3</u>
Vnější řada	1,246	1,252	1,278	1,141
Vnitřní řada	1,305	1,310	1,002	1,695

Mezní stav v zatáčce odpovídá stavu, kdy odstředivá síla působící na ložisko je rovna adhezní síle v příčném směru. Její hodnota byla vypočtena na 17 000 N.

Kontrola na přetížení byla provedena pro součinitel svislého přetížení 7.

5.2.3.2 Vyhodnocení navržené inovace

Navrhované řešení vykazuje významné zlepšení základní trvanlivosti – až o 17 %. Zlepšení v ohledu statické bezpečnosti je nulové.¹¹

Z hlediska hmotnostního opět nelze hovořit o změně k lepšímu ani horšímu.

Ekonomicky toto řešení znamená úpravu stávající ložiskové jednotky, její částečně nový vývoj. Výsledná ložisková jednotka by se však z ekonomického, výrobního i vývojového hlediska neměla oproti původní příliš lišit. Lze předpokládat, že podobně modifikované ložiskové jednotky na trhu jsou a nejsou jen používány u modelu Škoda Octavia. Jelikož automobilové jednotky nejsou uvedeny v katalogích, nelze v této práci toto tvrzení ani prokázat ani vyvrátit.

Naopak zde jde spíše o snahu poukázat, jaké úpravy na ložiskové jednotce by za dané koncepce uložení kola mohly vést ke zvýšení životnosti ložiska.¹²

¹¹ Tuto inovaci by bylo lze aplikovat i pro již inovované řešení zadního kola. I tam by změna vzdálenosti působíště síly a středu symetrie řad vedla k dalšímu zvýšení životnosti. Zároveň by ale bylo vhodné celkově zhodnotit velikost životnosti předního i zadního kola a navzájem je sjednotit tak, aby doba jejich životnosti byla obdobná. S tímto trendem však již dále pracováno není.

¹² Podobně jako u zadního kola by zvýšená životnost navrhovaného řešení, mohla vést k dosažení takové životnosti, která bude vyšší, než životnost zbylých komponent, respektive celého vozu. Ložisko by tudíž vykazovalo známky předimenzování. Ve výsledku by proto mohlo být nahrazeno menším, levnějším ložiskem, tak aby byla zaručena dostatečná životnost a bylo dosaženo snížení ceny a hmotnosti. S tímto vývojem však již není v této práci více počítáno.

6 Srovnávací měření vybraných automobilových ložisek

Přesnost výroby ložiska má vliv na jeho následnou funkci a životnost. Přesnost výroby jednotlivých komponent ovlivňuje například lícování uložení kroužků, dosažení potřebné vůle a tím i jeho trvanlivost. Přesnost vyrobených dílů má rovněž vliv na kvalitu utěsnění ložiska a tím i na to, zda neuniká mazivo nebo zda do ložiska nevnikají cizí částice. Parametry drsnosti a harmonické složky kruhovitosti profilu ovlivňují například hlučnost ložiska.

Ve spolupráci se společností Škoda Auto a.s. tak byla provedena řada měření různých parametrů ložisek.

Iniciativa této části práce vznikla důsledkem vznikajících poruch ložisek při transportu vozů nebo v oblastech s horšími klimatickými podmínkami.

Pro ověření kvality vyrobených jednotek bylo vytipováno 5 ložiskových jednotek od různých výrobců a ty byly následně mezi sebou porovnány.

Jelikož není možné zveřejnit konkrétní označení kusů a výrobců, jsou ložiska označena písmeny A – E.

Pod označením A, B a C jsou moderní ložiskové jednotky 3. generace od 3 různých výrobců. Písmeny D a E jsou označeny 2 ložiskové jednotky 1. generace od 2 výrobců.

Měření probíhalo pod záštitou útvaru metrologie a laboratoře speciálního a přesného měření společnosti Škoda Auto a.s. a pod odborným dohledem pana ing. Františka Kopřivy.

Jelikož jsou ložiskové jednotky na pevně seřízené a nerozebíratelné, podařilo se s jistotou bez poškození získat pouze dělené vnitřní kroužky ložisek, na jejichž oběžných drahách měření probíhalo.

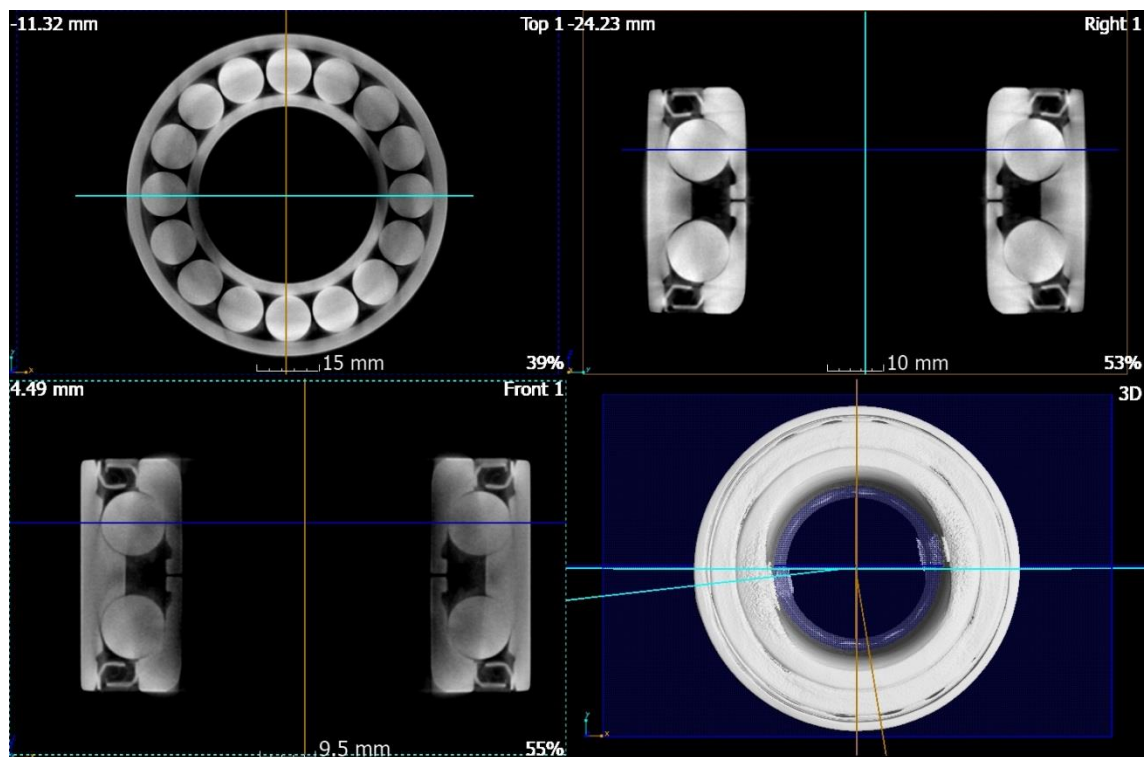
6.1 Měření na počítačové tomografii (CT)

V rámci měření byla u vybraných zástupců provedena i analýza vnitřního uspořádání ložiska pomocí počítačové tomografie. Měření nepřineslo zásadní poznatek, velmi hezky však ukázalo stavbu ložiska uvnitř, aniž by došlo k jeho rozebrání.

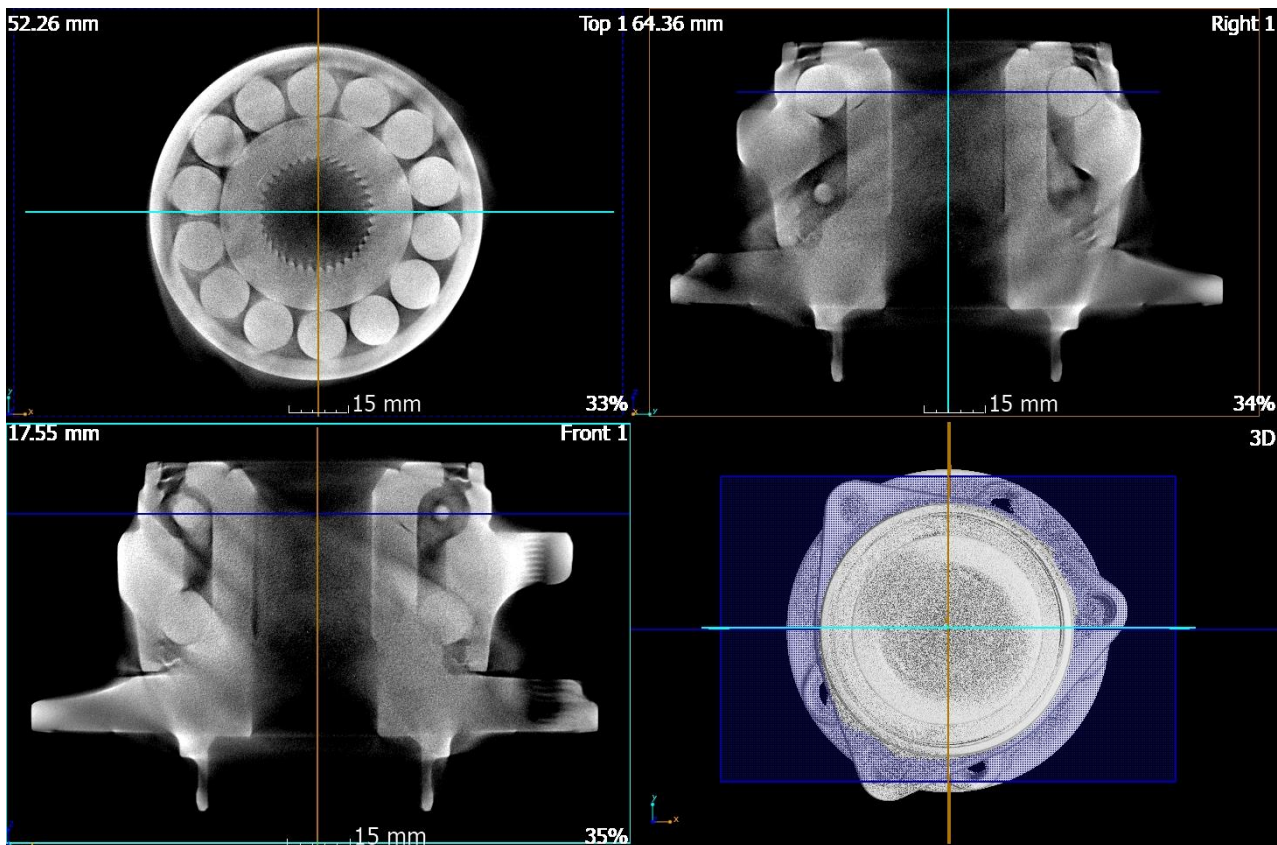
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler



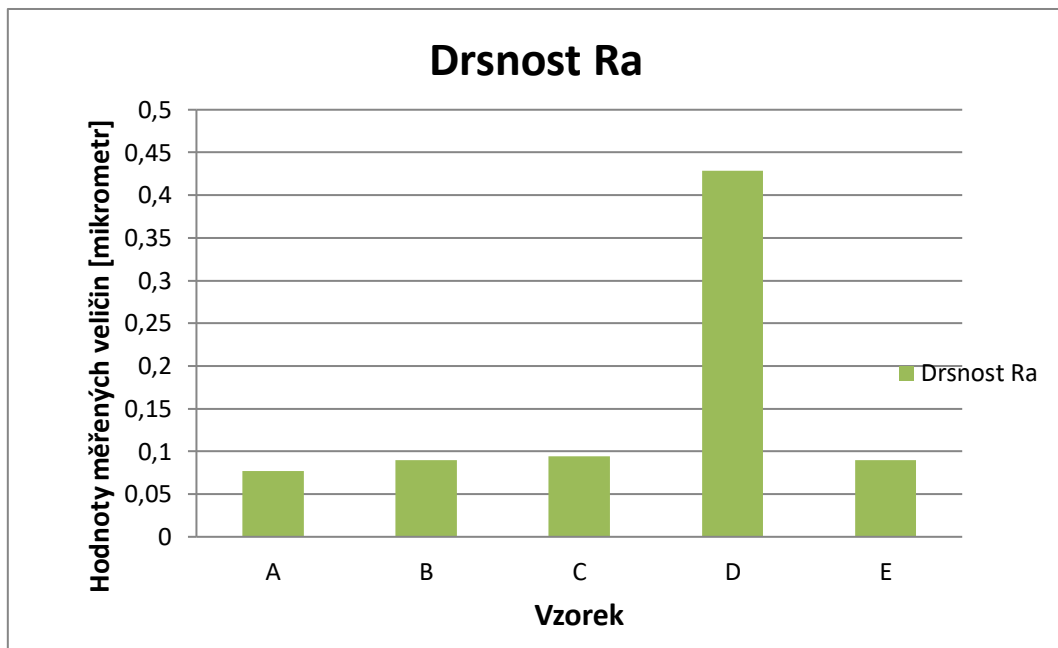
Obrázek 127 Ložisková jednotka 1. generace na CT



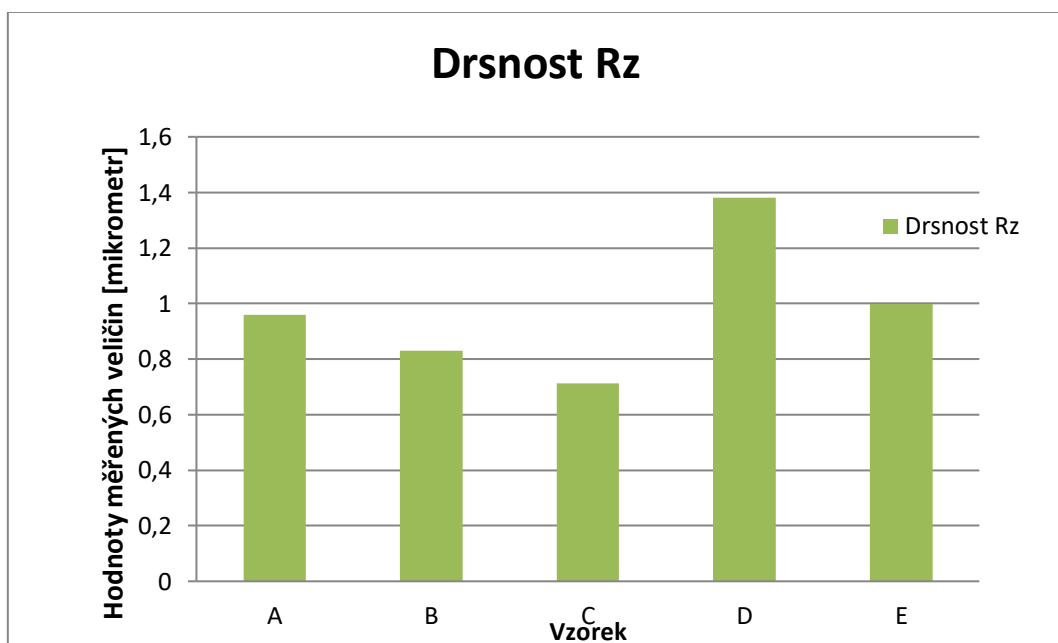
Obrázek 126 Ložisková jednotka 3. generace na CT

6.2 Měření drsnosti

Drsnost byla měřena dvěma parametry, a sice parametrem Ra a parametrem Rz. Byla provedena na drsnoměru Taylor Hobson.



Obrázek 128 Výsledky měření drsnosti Ra



Obrázek 129 Výsledky měření drsnosti Rz

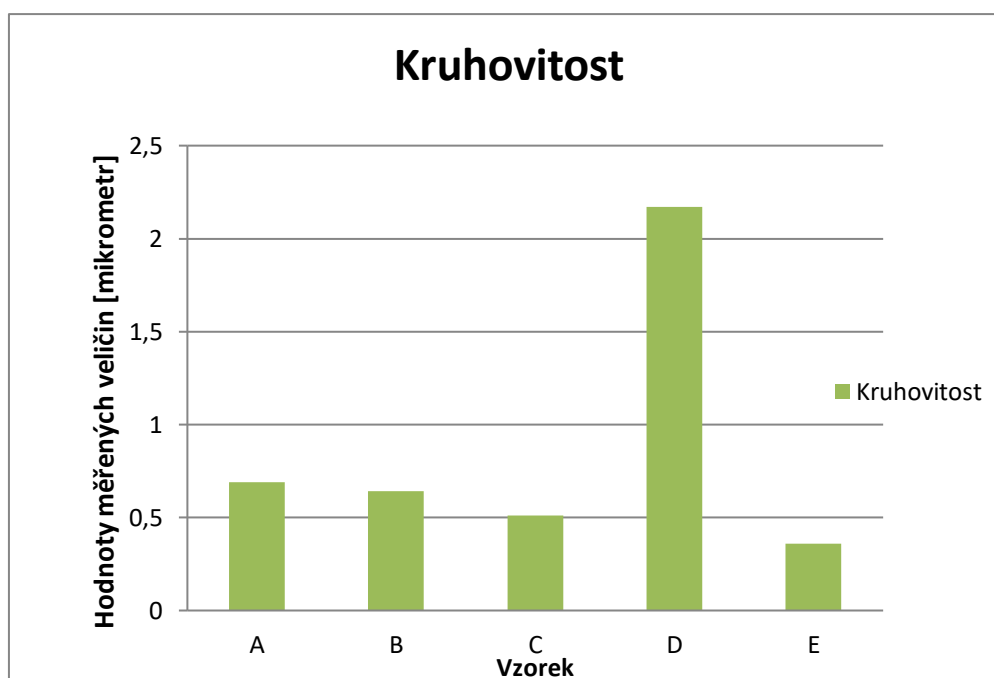
Z výsledků je patrné, že nejhůře si vede v obou případech vzorek D. V parametru drsnosti Ra si nejlépe vedl vzorek A, v parametru Rz naopak vzorek C. Jelikož parametr Rz

má největší vypovídající hodnotu lze konstatovat, že z hlediska drsnosti dopadl nejlépe vzorek C.

V Příloze 7 – kapitola 9.3, této práce jsou uvedeny protokoly měření drsnosti všech dílů.

6.3 Měření kruhovitosti

Kruhovitost byla změřena na kruhoměru Taylor Hobson.



Obrázek 130 Výsledky měření kruhovitosti

Z výsledků je patrné, že nejlepší výsledek byl zaznamenán u vzorku E, rapidně nejhorší výsledek vykazuje naopak vzorek D. Z jednotek 3. generace si vedla nejlépe ta označená písmenem C.

Protokoly z měření kruhovitosti jsou uvedeny v Příloze 8 – kapitola 9.4.

6.4 Měření harmonické analýzy

Harmonická analýza, kterou vyhodnocuje software měřicího stroje Taylor Hobson, tkví v „hodnocení úchylek kruhového tvaru je určení jejich velikostí i počtu a třídění podle frekvencí. Při otáčení součásti kruhového tvaru a snímání profilu povrchu v jednom bodě projde během jedné otáčky každá nerovnost místem kontroly jen jednou.

Profil povrchu lze nahradit řadou sinusoid, jejichž frekvence se vyjádří počtem vln (nerovností) na otáčku UPR (Undulation Per Revolution) - 1, 2,, n - součásti. Uvedené sinusoidy představují harmonické složky ("harmonics") profilu povrchu. Rozdělení harmonických složek profilu povrchu podle frekvencí, stanovení amplitud a fází se provádí metodou nazvanou Rychlá Fourierova transformace.

Aplikace této matematické metody vyžaduje datové soubory obsahující 2n bodů. Původně používané metody doplnění souborů, např. interpolací, někdy nepříznivě ovlivnily vlastnosti profilu povrchu. Taylor Hobson využívá k úpravě souborů Winogradovu transformaci, která neovlivňuje objektivitu hodnocení harmonických složek profilu. Analýzy harmonických složek umožňují posuzovat vztahy mezi výsledky měření kruhovitosti a nepřesnostmi výrobních procesů nebo funkčními charakteristikami povrchů, např. hlučností ložisek.

Malé frekvence harmonických složek se zpravidla vztahují k chybám seřízení a nastavení. Např. 1. harmonická (1 UPR) je způsobena nesoustředností os součásti a rotace. Běžně se tato nesouosost odstraňuje a příp. hodnota úchyly se zaznamenává před zobrazením profilu. 2. harmonická (2 UPR) představuje ovalitu, která může být výsledkem chybného obrábění nebo naklonění válcové součásti. Další harmonické nízkých hodnot mohou vzniknout upínáním součástí ve sklíčidlech. V případě, že sklíčidlo součást při upínání deformuje, má součást po obrobení válcový tvar. Uvolněním ze sklíčidla se tvar součásti "mění" v závislosti na počtu upínacích čelistí sklíčidla. Další harmonické složky s nízkými až středními frekvencemi mohou vznikat chvěním ve výrobním procesu.

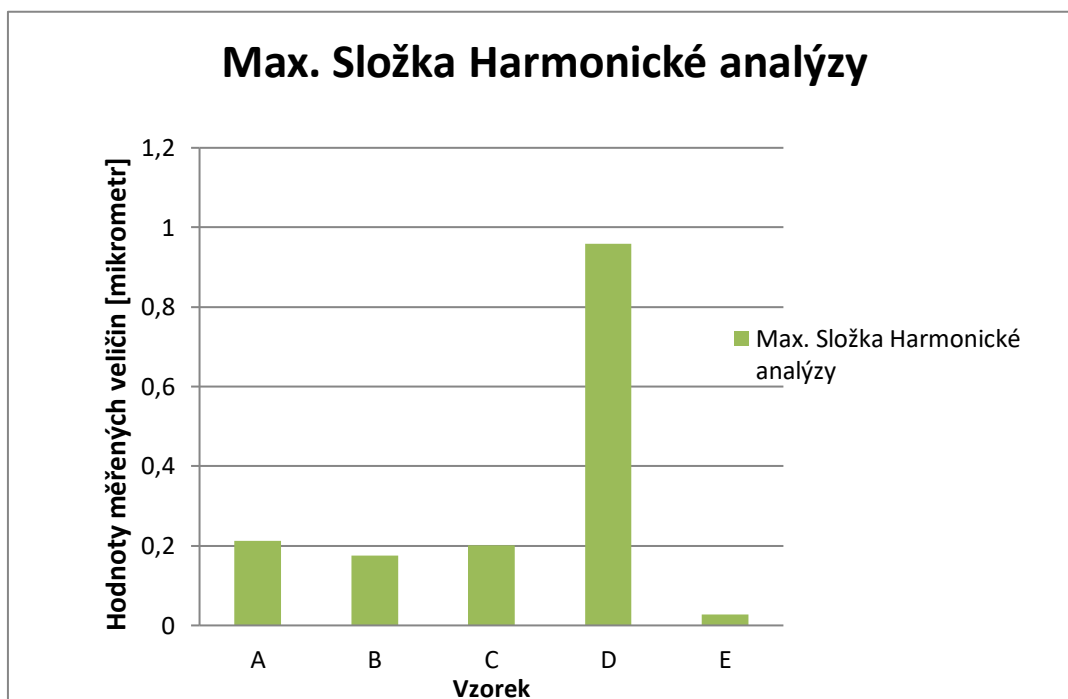
Vyšší frekvence harmonických složek se obvykle spojují se stopami, které na povrchu zanechávají řezné nástroje. Obvykle jsou harmonické složky profilu povrchu využívány implicitně.

Volbou filtru pro analýzu jsou cíleně vyřazeny určité harmonické složky z hodnocení. Např. filtr 1-15 UPR lze použít k vyřazení stop po nástroji a zlepšit tak rozlišení chyb způsobených seřízením a případným chvěním. Využitím filtru 50-500 UPR lze potlačit projevy chvění a umožnit hodnocení stop po nástroji.

V některých případech, např. při měření ložisek, je výhodné sledovat harmonické složky ve více rozsazích. Každý rozsah totiž představuje a umožní hodnotit jiné funkční

charakteristiky (třeba hlučnost nebo pískání ložisek). Amplitudy frekvencí při určitých rychlostech otáčení ložisek jsou často využívány jako kontrolní parametry. Společnost Taylor Hobson vyvinula speciální program "Velocity Analysis" pro hodnocení harmonických složek valivých ložisek. Program umožní posuzovat vliv jednotlivých harmonických složek profilu povrchu na funkční charakteristiky a stanovení mezních tolerancí pro každý rozsah frekvencí.“ [6]

Na základě doporučení pracovníků měrového střediska, má vypovídající hodnotu pro srovnání nejvyšší harmonická složka celého průběhu, bez ohledu na pořadí. V tomto duchu je tedy porovnání provedeno. (Porovnání probíhá až od druhé harmonické složky).



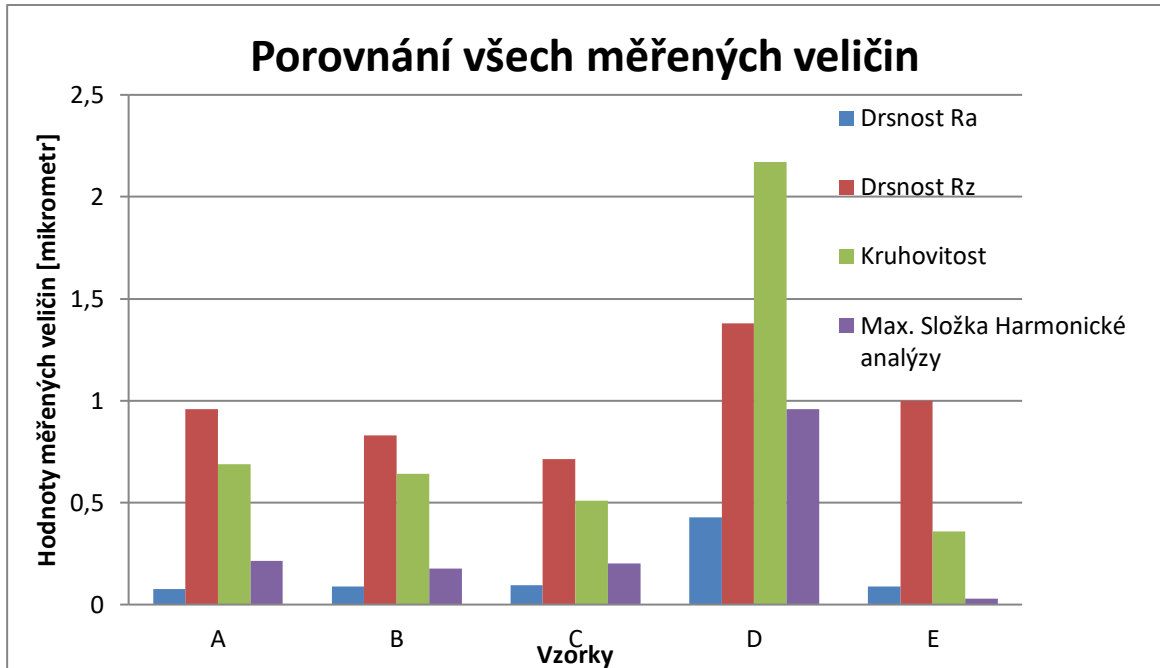
Obrázek 131 Porovnání maximálních složek harmonických analýz

V porovnání největších složek harmonických analýz si nejlépe vedl vzorek E. Z jednotek 3. generace vychází nejlépe vzorek B. Nejhůře dopadl opět vzorek D.

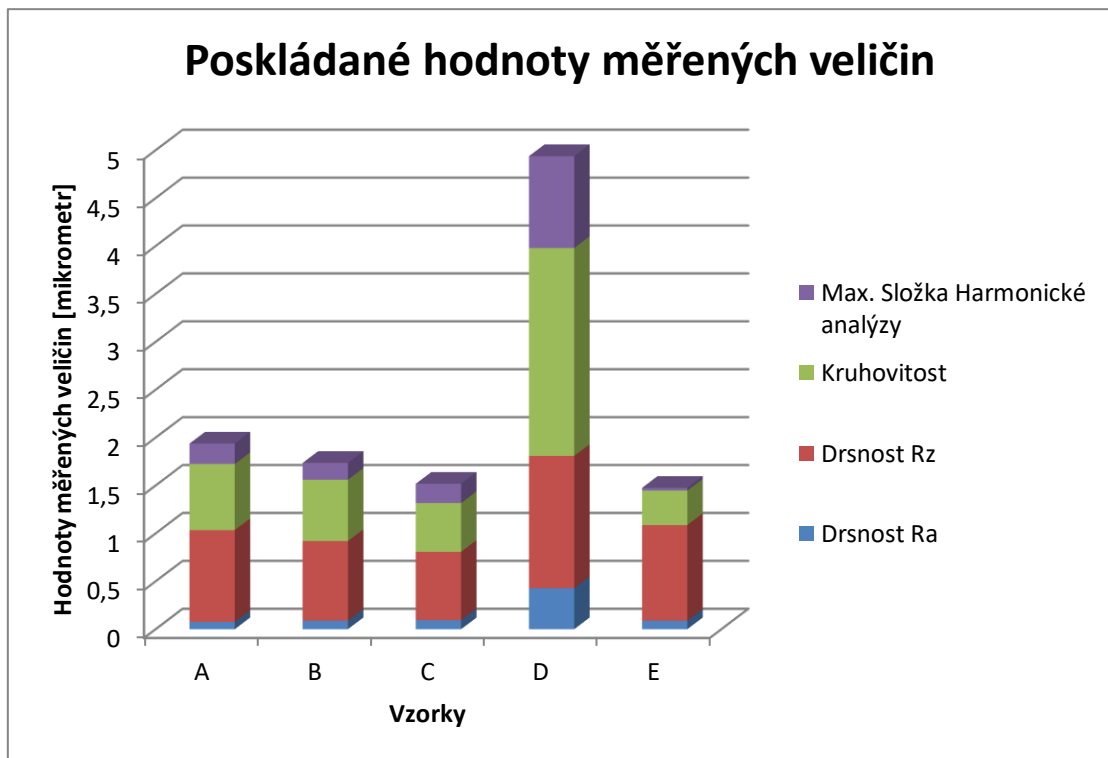
Protokoly o měření harmonické analýzy jsou uvedeny v příloze 9 – kapitola 9.5.

6.5 Vyhodnocení měření

Na následujících grafech je porovnání všech měřených veličin a vzorků dohromady.



Obrázek 132 Porovnání všech měřených veličin



Obrázek 133 Poskládané hodnoty měřených veličin

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Z výsledků je patrné, že po všech stránkách s dramatickým odstupem dopadl nejhůře vzorek označený D.

Stanovení dalšího pořadí není možné jednoznačně určit, v každé z měřených veličin dominoval jiný vzorek, zjednodušeně však lze tvrdit, že nejlépe dopadla jednotka 1. generace označená E a jednotka 3. generace označená C.¹³

¹³ Po vydání této práce bude ještě probíhat měření tvrdosti jednotlivých komponent ložisek, jeho výsledky se bohužel do této diplomové práce již nestihnou vložit. Pro společnost Škoda Auto by však měli mít přínos.

7 Závěr

V úvodní části této práce jsou podrobně představeny konstrukční řešení uložení kol u osobních automobilů. Důraz je věnován automobilovým, ložiskovým jednotkám a rešerši trendů v používání a vývoji těchto jednotek. Pozornost je také věnována jednotlivým, konstrukčním uspořádáním jednotek, jejich komponentům, mazání, těsnění, integrovaným snímačům a poruchám. Součástí úvodní části je i rešerše konceptů zavěšení kol a jednotlivých koncepčních řešení kolových jednotek. Z první části vyplývá, že se dnes v automobilovém průmyslu používají především ložiskové jednotky druhé a třetí generace s tím, že převládá použití jednotek druhé generace pro kola nepoháněná a jednotek třetí generace pro kola poháněná. Trend u moderních automobilů vede zároveň k používání speciálních jednotek třetí generace i na kola nepoháněná. U poháněných kol trend naopak vede k použití moderních jednotek s integrovaným čelním drážkováním pro přenos krouticího momentu.

Druhá pasáž představuje návrh inovace uložení zadního i předního kola vybraného modelu osobního automobilu. Je vytvořen univerzální výpočtový program a metodika výpočtů a všechny potřebné algoritmy jsou v práci představené jako komplexní postup výpočtu. Zároveň jsou specifikovány principy navrhované inovace, nutná konstrukční opatření, výhody i nevýhody a vše je podloženo výkresovou dokumentací. Z výsledků druhé části vyplývá, že navrhované konstrukční úpravy zvýší znatelně základní trvanlivost použitých ložiskových jednotek. V případě zadního kola pak i zjednoduší montáž a lze spekulovat i o přínosu v možnosti snížení počtu druhů zadní, víceprvkové nápravy vybraného vozu ze dvou dosavadních typů na jeden.

V této části je také věnována pozornost vlivu axiální síly na trvanlivost ložiska, a jaký vliv na jeho trvanlivost má uložení kola na vnitřním nebo vnějším kroužku ložiska. Výpočtem bylo prokázáno, že u kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem dosahuje integrace uložení kola na vnější ložiskový kroužek vyšší životnosti, než integrace na vnitřní kroužek (při obvyklém uložení řad kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem do „O“).

Závěrečná pasáž se věnuje měření jednotlivých komponent ložiska s ohledem na vliv přesnosti výroby na jeho funkci a životnost. Na přesné souřadnicové, měřicí technice společnosti Škoda Auto a.s. byla provedena série měření profilu oběžných drah, kruhovitosti, drsnosti a harmonické analýzy vybraných ložisek. Výsledné hodnoty byly navzájem porovnány. Výsledky jednoho vzorku vychází celkově nejlépe, dílčí výsledky jednotlivých měřených parametrů však ukazují, že v některých parametrech dominovaly i jiné vzorky než vzorek vítězný. Měření zároveň ukázalo, že jeden ze zkoumaných vzorků dopadl s výrazným, až řádovým odstupem od ostatních nejhůře. Tyto výsledky byly prezentovány zástupcům společnosti Škoda Auto a.s., kteří s nimi budou nadále pracovat.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

8 Seznamy

8.1 Seznam použité literatury

[1] *Front Hub and Wheel Bearing Replacement, 2000-2011 Ford Focus and Other Vehicles (With Video)*[online]. Copyright © 2019 HubPages Inc. and respective owners. Other product and company names shown may be trademarks of their respective owners. HubPages® is a registered Service Mark of HubPages, Inc. HubPages and Hubbers (authors) may earn revenue on this page based on affiliate relationships and advertisements with partners including Amazon, Google, and others. HubPages Inc, a part of Maven Inc. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <https://axleaddict.com/auto-repair/00-11-Ford-Focus-Front-Hub-and-Wheel-Bearing-Replacement>

[2] KNOTEK, Jiří. Valivá ložiska ve čtyřdobých spalovacích motorech. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 36 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Drápal.

[3] SKF [online]. Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, katalog. [vid. 1. 4. 2017]. Dostupné z: https://www.dolezal-pe.cz/data/cf0/000010_000013.pdf

[4] Konzultace diplomové práce a předmětů PRO 2, PRO 3, PRO 4

[5] KOLÁŘ, Josef. *Úvod do dopravní techniky a Teorie vozidel*. [přednáška]. Praha: FS ČVUT, akademický rok 2016/2017.

[6] Novák, Zdeněk. Optimalizace měření kruhovitosti povrchu. In: *MM spektrum* [online]. © 2019 www.mmspektrum.com, 2007. [vid. 30.7.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-mereni-kruhovitosti-povrchu.html>

[7] FRÖHLICH, Jan. *Technika uložení s valivými ložisky*. 2. uprav. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1980.

[8] Pitting on the inner ring surface of spherical roller bearing. In: *Researchgate* [online]. © ResearchGate 2019. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Pitting-on-the-inner-ring-surface-of-spherical-roller-bearing_fig1_325363456

[9] Pitting 2. In: *Pitting* [online]. © NSK AMERICAS 2019. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: <https://www.nskamericas.com/en/services/troubleshooting/damage-by-type/pitting.html>

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

[10] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory : hnací charakteristika : brzdění : odpružení : říditelnost : ovladatelnost : stabilita*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5273-6.

[11] Standardní kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem dvouřadé cut. *Coroll* [online]. Coroll s.r.o., Hostovského 525, 549 31 Hronov. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.coroll.cz/standardni-kulickova-loziska-s-kosouhlym-stykem-dvourada.html>

[12] Typická rozsáhlá síť bíle naleptaných trhlin ve velkém soudečkovém ložisku. In: *Bíle naleptané trhliny* [online]. © SKF Evolution 2018. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: <http://evolution.skf.com/cs/bile-naleptane-trhliny-nasledek-ne-hlavni-pricina-selhani-lozisek/>

[13] RÜCKER, J. Měření hmotnostních parametrů vozidel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2011. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.

[14] Vadné ložisko. In: *Jawablázní* [online]. Copyright © 2001-2019 Motorkáři.cz | ISSN 1214-7125. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/tema/?t=102467&pgr=1630>

[15] *Podvozkové centrum APM Bilstein – 7. díl: Kola (náboje kol)* [online]. © APM Automotive s.r.o. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.apm.cz/podvozkove-centrum-apm-bilstein-7-dil-kola-naboje-kol/>

[16] Schaeffler KG, Eichelmann, F., Reuter M. [elektronická pošta]. *Radlager Basiswissen*. 2007. [vid. 2. 4. 2019].

[17] SKF [online]. *SKF hub bearing units for automotive and industrial applications*. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: http://www.skfmultipurposehbu.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FHBU%20Catalogue%20for%20IM%20and%20AM_LoRes.pdf

[18] 2 Front Wheel Bearing & Hub Assembly BMW 3 Series 5 Series 7 Series Z3 Z4 M3 2. In: *2 Front Wheel Bearing & Hub Assembly BMW 3 Series 5 Series 7 Series Z3 Z4 M3* [online]. PicClick Search eBay Faster Copyright © 2008 – 2019 PicClick Inc. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <https://picclick.com/2-Front-Wheel-Bearing-Hub-Assembly-BMW-161218936630.html>

[19] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: Pneumatiky a kola. Zavěšení kol, nápravy. Odpružení. Řídicí ústrojí. Brzdové soustavy*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5274-4.

[20] *Vyznáte sa v nápravách?* [online]. Autoviny.sk - Copyright 2019. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.autoviny.sk/novinky/15518/vyznate-sa-v-napravach>

[21] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN isbn802396464x*.

- [22] zadní tuhá náprava s Panhardskou tyčí. In: *Autolexikon net* [online]. Copyright © 2019 autolexicon.net. All rights reserved. ISSN 1804-2554. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/tuha-naprava/>
- [23] VALDECKÝ, Marek. *Návrh podvozku osobního automobilu*. Praha: ČVUT 2016. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.
- [24] přední náprava typu MacPherson. In: *Autolexikon net* [online]. Copyright © 2019 autolexicon.net. All rights reserved. ISSN 1804-2554. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>
- [25] Toyota MacPherson strut front suspension. In: Maybach [online]. Maybach 30. 9. 2012. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <http://maybach300c.blogspot.com/2012/09/mcpherson-struts-and-strut-damper.html>
- [26] Schema McPherson. In: *Matteo Di Lallo* [online]. Copyright © 2019 Matteo Di Lallo. [vid. 23. 7. 2019]. Dostupné z: <http://matteodilallo.tech/schema-mcpherson/>
- [27] *Škoda Octavia 2017 do posledního šroubku: technická data, nové fotky, video* [online]. Copyright ©1996-2019 MotorCom s.r.o. [vid. 4. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/predstaveni/skoda-octavia-2017-do-posledniho-sroubku-technicka-data-nove-fotky-video/>
- [28] Štěpánek T. Měření polohy těžiště vozidla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 57 s. Vedoucí diplomové práce Ing.Ondřej Blafák.
- [29] Škoda Auto a. s. [online]. Dílenská příručka, Octavia III 2013, Octavia III 2014, Nápravy, řízení. 2014.[vid. 4. 4. 2018]. Dostupné z: http://www.skoda-club.net/manual_download.php?id=721
- [30] Škoda Auto a. s. [online]. Dílenská příručka, Octavia III 2013, Octavia III 2014, Brzdové systémy. 2014. [vid. 5. 4. 2018]. Dostupné z: http://www.skoda-club.net/manual_download.php?id=713
- [31] Náboj předního/zadního kola s ložiskem FAG (8V0 598 625 B). In: *škoda díly* [online]. © Škoda-díly.cz, 2005–2019. [vid. 20. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.skoda-dily.cz/nahradni-dil/8v0598625b-naboj-predniho-zadniho-kola-s-loziskem-fag-23528.html>
- [32] Ložisko kola s nábojem. In: *autodilyweb.cz* [online]. E-shop system: E-commerce PRO 4.0 © 2019 GlobeWeb Czech s.r.o. [vid. 20. 4. 2018]. Dostupné z: https://www.autodilyweb.cz/servis_mode

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

- [33] VALDECKÝ, Marek. *Návrh podvozku osobního automobilu*. Praha: ČVUT 2016. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.
- [34] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Octavia II: Octavia, Octavia Combi, 4x4, Octavia RS, Scout. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-2962-6.*
- [35] Lichoběžníkové zavěšení kol. In: *CAD.cz* [online]. CAD - ISSN 1802-6168. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/4188-predni-naprava-osobniho-automobilu.html>
- [36] zadní náprava s vlečenými rameny - VW POLO. In: *Autolexikon net* [online]. Copyright © 2019 autolexikon.net. All rights reserved. ISSN 1804-2554. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.autolexikon.net/cs/articles/klikova-naprava/>
- [37] Kliková náprava. In: *ŠKODA techweb* [online]. © 1999-2012, Petr Váňa a Insidea s.r.o. [vid. 10. 3. 2019]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=219>
- [38] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN isbn802396464x.*
- [39] *Outstanding Invention Offers Numerous Advantages* [online]. UNITED NEWS NETWORK GmbH 2002 - 2019, All rights reserved. [vid. 15. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.pressebox.com/pressrelease/schaeffler-ag/Outstanding-Invention-Offers-Numerous-Advantages/boxid/331693>
- [40] *Určení velikosti ložiska* [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [vid. 15. 4. 2019]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska>
- [41] *Trvanlivost ložiska* [online]. Vedení skupiny SKF, SE-415 15 Göteborg, Švédsko. [vid. 22. 7. 2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/footer/site-ownership.html>
- [42] Excessive heat caused this bearing to seize. In: *Machine Design* [online]. © 2019 Informa USA, Inc. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/mechanical-drives/selecting-lubricant-ball-screws>
- [43] LUŠTINEC, Ladislav. *Návrh ložiskového uložení kola nákladního automobilu*. Praha: ČVUT 2018. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.
- [44] *Typy ABS snímačů* [online]. ©Autodíly MJauto 2019. [vid. 6.8.2019]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/typy-abs-snimacu>

8.2 Seznam obrázků

Obrázek 1	Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem	14
Obrázek 2	Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a děleným vnitřním kroužkem [11].....	14
Obrázek 3	Schéma uložení kola s jednotkou 1. generace [15].....	15
Obrázek 4	Schéma rozložené jednotky [16]	15
Obrázek 5	Ložisková jednotka 2. Generace pro nehnanou nápravu	16
Obrázek 6	Typy jednotek druhé generace od společnosti SKF	17
Obrázek 7	Typy jednotek druhé generace od společnosti FAG	18
Obrázek 8	Ložiskové jednotky 3. generace – pro nehnané a hnané kolo	19
Obrázek 9	Ložiskové jednotky 3. Generace od firmy SKF	20
Obrázek 10	Ložiskové jednotky 3. generace od firmy FAG [16]	21
Obrázek 11	Ložisková jednotka FAG s čelním drážkováním.....	22
Obrázek 12	Ložisková jednotka FAG s čelním drážkováním a připojeným kloubovým hřídelem [39].....	22
Obrázek 13	Pitting na vnitřním kroužku.....	26
Obrázek 14	Pitting na valivém elementu	26
Obrázek 15	Trhliny v ložisku.....	27
Obrázek 16	Koroze na ložisku	28
Obrázek 17	Poškození klece ložiska.....	29
Obrázek 18	Pasivní indukční senzor a jeho průběh.....	30
Obrázek 19	Aktivní senzor a jeho průběh.....	31
Obrázek 20	Senzor a kroužek umístěné v ložisku	31
Obrázek 21	Senzor a kroužek umístěné na jednotce	32
Obrázek 22	Test magnetického kroužku [44]	32
Obrázek 23	Senzor s magnetickým kroužkem	33
Obrázek 24	Schéma závislého (vlevo) a nezávislého (vpravo) zavěšení kola	37
Obrázek 25	Tuhá náprava	38
Obrázek 26	Schéma nápravy McPherson [19].....	39
Obrázek 27	Schéma nápravy McPherson [19].....	40
Obrázek 28	Schéma nápravy McPherson [19].....	41

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Obrázek 29	Náprava McPherson	41
Obrázek 30	Náprava McPherson	42
Obrázek 31	Ložisková jednotka 3. generace od firmy FAG	43
Obrázek 32	Rameno nápravy McPherson u Škody Octavie.....	43
Obrázek 33	Schéma uložení předního kola Škoda Octavia.....	44
Obrázek 34	Schéma uložení předního kola Škoda Octavia	44
Obrázek 35	Schéma uložení předního kola Škoda Octavia	45
Obrázek 36	Ukázka hnacího hřídele, připojeného na vnitřní kroužek ložiskové jednotky	46
Obrázek 37	1. generace ložiskové jednotky a náboj kola s vnitřním drážkováním	47
Obrázek 38	Ložiskové uložení Ford Focus 2000-2011 [1].....	47
Obrázek 39	Ložisková jednotka z BMW 3 Series	48
Obrázek 40	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	49
Obrázek 41	Lichoběžníková náprava	49
Obrázek 42	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	50
Obrázek 43	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	50
Obrázek 44	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	51
Obrázek 45	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	51
Obrázek 46	Schéma lichoběžníkové nápravy.....	52
Obrázek 47	Schéma lichoběžníkové nápravy [19].....	53
Obrázek 48	Lichoběžníková náprava	53
Obrázek 49	Lichoběžníková náprava Mercedes Benz řady C.....	54
Obrázek 50	Schéma klikové nápravy [19].....	54
Obrázek 51	Schéma klikové nápravy.....	55
Obrázek 52	Schéma klikové nápravy [19].....	56
Obrázek 53	Schéma klikové nápravy.....	56
Obrázek 54	Kliková náprava	57
Obrázek 55	Ložisková jednotka druhé generace, použitá u zadní vlečené nápravy Škoda Octavia.....	58
Obrázek 56	Schéma uložení zadního nepoháněného kola Škoda Octavia s vlečenou nápravou	59
Obrázek 57	Schéma zadní vlečené nápravy Škoda Octavia [29].....	60
Obrázek 58	Schéma zadní vlečené nápravy Škoda Octavia	60

Obrázek 59	Schéma uložení zadního nepoháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia	62
Obrázek 60	Schéma uložení zadního poháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia	63
Obrázek 61	Schéma uložení zadního poháněného kola na víceprvkovou nápravu Škoda Octavia	64
Obrázek 62	Základní rozměry vozu a působící síly [28]	69
Obrázek 63	Základní rozměry vozu a působící síly	70
Obrázek 64	Síly působící na kolo a ložiska	70
Obrázek 65	Kóty rozměrů uložení ložiska	71
Obrázek 66	Síly působící na kolo a ložiska	72
Obrázek 67	Graf pro určení proměnné R	73
Obrázek 68	Základní rozměry vozu a působící síly	77
Obrázek 69	Základní rozměry vozu a působící síly	78
Obrázek 70	Síly působící na kolo a ložiska	79
Obrázek 71	Kóty rozměrů uložení ložiska	80
Obrázek 72	Síly působící na kolo a ložiska	80
Obrázek 73	Graf pro určení proměnné R	81
Obrázek 74	Výpočet axiální síly v ložisku	82
Obrázek 75	Základní rozměry vozu a působící síly	87
Obrázek 76	Základní rozměry vozu a působící síly	88
Obrázek 77	Síly působící na kolo a ložiska	89
Obrázek 78	Kóty rozměrů uložení ložiska	90
Obrázek 79	Síly působící na kolo a ložiska	90
Obrázek 80	Graf pro určení proměnné R	91
Obrázek 81	Výpočet axiální síly v ložisku	92
Obrázek 82	Graf - Porovnání základní trvanlivosti nového a původního řešení	97
Obrázek 83	Graf - Nárůst základní trvanlivosti u nového řešení	98
Obrázek 84	Graf - Procentuální nárůst základní trvanlivosti u nového řešení	98
Obrázek 85	Graf - Nárůst statické bezpečnosti u nového řešení	100
Obrázek 86	Graf - Procentuální nárůst statické bezpečnosti u nového řešení	100
Obrázek 87	Rozdíl základní trvanlivosti u daných řešení	105
Obrázek 88	Závislost základní trvanlivosti ložiska na velikosti axiální síly	105

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Obrázek 89	Poměr rozdílu základní trvanlivosti obou řešení a základní trvanlivosti 2. generace	106
Obrázek 90	Průběh základní trvanlivosti - 2. generace	107
Obrázek 91	Průběhy trvanlivosti jednotlivých řad - 2. generace - bez zastoupení přímé jízdy	107
Obrázek 92	Průběh základní trvanlivosti - 3. generace	108
Obrázek 93	Průběhy trvanlivosti jednotlivých řad - 3. generace - bez zastoupení přímé jízdy	108
Obrázek 94	Závislost základní trvanlivosti na vzdálenosti roviny symetrie řad ložiska a osy zatěžující síly	110
Obrázek 95	Základní rozměry vozu a působící síly [28]	113
Obrázek 96	Základní rozměry vozu a působící síly	114
Obrázek 97	Síly působící na kolo a ložiska	114
Obrázek 98	Kóty rozměrů uložení ložiska	115
Obrázek 99	Síly působící na kolo a ložiska	116
Obrázek 100	Graf pro určení proměnné R	117
Obrázek 101	Základní rozměry vozu a působící síly [28]	121
Obrázek 102	Základní rozměry vozu a působící síly	122
Obrázek 103	Síly působící na kolo a ložiska	122
Obrázek 104	Kóty rozměrů uložení ložiska	123
Obrázek 105	Síly působící na kolo a ložiska	124
Obrázek 106	Graf pro určení proměnné R	125
Obrázek 107	Základní rozměry vozu a působící síly	129
Obrázek 108	Základní rozměry vozu a působící síly	130
Obrázek 109	Síly působící na kolo a ložiska	131
Obrázek 110	Kóty rozměrů uložení ložiska	132
Obrázek 111	Síly působící na kolo a ložiska	132
Obrázek 112	Graf pro určení proměnné R	133
Obrázek 113	Výpočet axiální síly v ložisku	134
Obrázek 114	Základní rozměry vozu a působící síly	139
Obrázek 115	Základní rozměry vozu a působící síly	140
Obrázek 116	Síly působící na kolo a ložiska	141
Obrázek 117	Kóty rozměrů uložení ložiska	142

Obrázek 118	Síly působící na kolo a ložiska	142
Obrázek 119	Graf pro určení proměnné R.....	143
Obrázek 120	Výpočet axiální síly v ložisku	144
Obrázek 121	Graf - Porovnání základní trvanlivosti nového a původního řešení	149
Obrázek 122	Graf - Nárůst základní trvanlivosti u nového řešení	150
Obrázek 123	Graf - Procentuální nárůst základní trvanlivosti u nového řešení.....	150
Obrázek 124	Graf - Nárůst statické bezpečnosti u nového řešení.....	152
Obrázek 125	Graf - Procentuální nárůst statické bezpečnosti u nového řešení	152
Obrázek 126	Ložisková jednotka 3. generace na CT	156
Obrázek 127	Ložisková jednotka 1. generace na CT	156
Obrázek 128	Výsledky měření drsnosti Ra.....	157
Obrázek 129	Výsledky měření drsnosti Rz.....	157
Obrázek 130	Výsledky měření kruhovitosti	158
Obrázek 131	Porovnání maximálních složek harmonických analýz.....	160
Obrázek 132	Porovnání všech měřených veličin	161
Obrázek 133	Poskládané hodnoty měřených veličin.....	161

8.3 Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres 1/4 – Zadní_původní

Příloha 2 – Výkres 2/4 – Zadní_návrh

Příloha 3 – Výkres 3/4 – Přední_původní

Příloha 4 – Výkres 4/4 – Přední_návrh

Příloha 5 – Hodnoty výpočtů zadní nápravy – původního a nového řešení

Příloha 6 – Hodnoty výpočtů přední nápravy – původního a nového řešení

Příloha 7 – Protokoly měření drsnosti

Příloha 8 – Protokoly měření kruhovitosti

Příloha 9 – Protokoly měření harmonické analýzy

Příloha 10 – Obrázky CAD sestav

Příloha 11 – Obrázky rozmontovaných ložisek pro měření

Příloha 12 – Parametry vozu Škoda Octavia

Příloha 13 – DVD – Univerzální výpočtové programy v Microsoft Excel, CAD data modelů a výkresů, elektronická verze Diplomové práce

9 Přílohy

9.1 Příloha 5 - Hodnoty výpočtů zadní nápravy – původního a nového řešení

Tabulkové hodnoty vychází z programů v Excelu, které jsou součástí příloh práce.

9.1.1 Vstupní a vypočtené údaje – zadní kolo původní řešení

9.1.1.1 Režim Jízdy 1 – jízda po rovině

9.1.1.2

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	v	80	km/h	odhad
rychlost m/s	v	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
Označení	C0	41500	N	[3]
SKF Explorer	X	0,57	1	[3]
7309 BECBY	Y1	0,93	0,55	[3]
	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,075	m	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

	v	0,0125	m	
	b	0,05	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,9	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	0	N	
Svislá na ložisko	Fzz	5672	N	
Axiální síla od zatačky	Faz	0	N	
Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	9075	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	3025	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	6050	N	
Proměnná R				
	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu				
	Faze	6050	N	
axiální síla na vnitřní řadu				
	Fazi	6050	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	2	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	7351	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	557	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	1050	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení				
	P0ze	6171	N	
statická bezpečnost	s0ze	6,7	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,000	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	9378	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	269	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	506	1000 km	

Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	9196	N	
statická bezpečnost	s0zi	4,513	-	

9.1.1.3 Režim jízdy 2 – jízda zatáčkou – vnější kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	v	80	km/h	odhad
rychlost m/s	v	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
Označení	C0	41500	N	[3]
SKF Explorer	X	0,57	1	[3]
7309 BECBY	Y1	0,93	0,55	[3]
	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,075	m	
	v	0,0125	m	
	b	0,05	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	0	N	
Svislá	Fzz	5672	N	
Axiální	Faz	1713	N	
Radiální přitěžující / odlehčující	Frzat	793	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	10344	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	3405	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	13749	N	
poměr	Faz/C	0,028	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	10386	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	12099	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	3,050	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	11599	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	142	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	267	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	8805	N	
statická bezpečnost	s0ze	4,71	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	20403	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	26	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	49	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	20040	N	
statická bezpečnost	s0zi	2,07	-	

9.1.1.4 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou – vnitřní kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	v	80	km/h	odhad
rychlost m/s	v	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
	C0	41500	N	[3]
Označení	X	1	0,57	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,93	[3]
7309 BECBY	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,075	m	
	0	0,0125	m	
	0	0,05	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fx	0	N	
Tangenciální síla Fx Ano/ne	1 / 0	0	0	
Svislá	Fzz	5672	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Axiální	Faz	1713	N	
přítěž / odlehčení	0/-1/1	-1	0	
Radiální přítěžující / odlehčující	Fr od	-793	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	7807	N	
poměr	Faz/C	0,028	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	9455	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	1648	N	
axiální síla na vnější řadu	Faze	8320	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	6607	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	14031	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	80	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	151	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	13781	N	
statická bezpečnost	s0ze	3,01	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	4,009	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	7084	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	623	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	1174	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	5084	N	
statická bezpečnost	s0zi	8,16	-	

9.1.2 Vstupní a vypočtené údaje – zadní kolo - nové řešení

9.1.2.1 Režim jízdy 1 – přímá jízda

Popis	Značka	Hodnota	Jednotka	Odkaz
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
	C0	41500	N	[3]
Označení	X	1	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,55	[3]
7309 BECBY	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,075	m	
	v	-0,0041	m	
	b	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový	Epsilon	0,9	-	[4]

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

proběh				
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	0	N	
Svislá na ložisko	Fzz	5672	N	
Axiální síla od zatáčky	Faz	0	N	
Radiální přitěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	9075	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	5034	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	4042	N	
Proměnná R	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	5034	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	5034	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	7802	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	466	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	878	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	7651	N	
statická bezpečnost	s0ze	5,4	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,246	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	6810	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	701	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	1321	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	6659	N	
statická bezpečnost	s0zi	6,232	-	

9.1.2.2 Režim jízdy 2 – jízda zatáčkou – vnější kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
	C0	41500	N	[3]
Označení	X	0,57	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,93	0,55	[3]
7309 BECBY	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,075	m	
	0	-0,0041	m	
	0	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	0	N	
Svislá	Fzz	5672	N	
Axiální	Faz	1713	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	793	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	10344	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	1115	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	11459	N	
poměr	Faz/C	0,028	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	11797	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	10084	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	10,579	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	11607	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	142	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	267	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	7250	N	
statická bezpečnost	s0ze	5,72	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	17005	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	45	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	85	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	16703	N	
statická bezpečnost	s0zi	2,48	-	

9.1.2.3 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou – vnitřní kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost přední - těžiště	Lp	1,35	m	[28]
vzdálenost zadní těžiště	Lz	1,16	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	60500	N	[3]
	C0	41500	N	[3]
Označení	X	1	0,57	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,93	[3]
7309 BECBY	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,075	m	
	0	-0,0041	m	
	0	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fx	0	N	
Tangenciální síla Fx Ano/ne	1 / 0	0	0	
Svislá	Fzz	5672	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Axiální	Faz	1713	N	
přítěž / odlehčení	0/-1/1	-1	0	
Radiální přítěžující / odlehčující	Fr od	-793	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	7807	N	
poměr	Faz/C	0,028	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	11183	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	3376	N	
axiální síla na vnější řadu	Faze	9841	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	11554	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	16595	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	48	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	91	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	16300	N	
statická bezpečnost	s0ze	2,55	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	3,422	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	12669	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	109	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	205	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	9384	N	
statická bezpečnost	s0zi	4,42	-	

9.2 Příloha 6 - Hodnoty výpočtů přední nápravy – původního a nového řešení

9.2.1 Vstupní a vypočtené údaje – původní řešení

9.2.1.1 Režim jízdy 1 – přímá jízda

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,075	m	
	v	-0,0041	m	
	b	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m2	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,8	-	[4]
dynamický součinitel pohon	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	4112,8425	N	
Svislá na ložisko	Fzz	4874	N	
Axiální síla od zatačky	Faz	0	N	
Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	8816	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	4890	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	3926	N	
Proměnná R	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	4890	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	4890	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	7580	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	401	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	756	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	7433	N	
statická bezpečnost	s0ze	5,0	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,246	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	6616	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	603	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	1137	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	6469	N	
statická bezpečnost	s0zi	5,797	-	

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				

Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,08	m	
	v	-0,00145	m	
	b	0,03855	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,8	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	4112,8425	N	
Svislá na ložisko	Fzz	4874	N	
Axiální síla od zatáčky	Faz	0	N	
Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	8816	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	4568	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	4248	N	
Proměnná R				
Proměnná R	R	1	-	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

axiální síla na vnější řadu	Faze	4568	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	4568	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	7080	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	492	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	927	1000 km	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,075	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	6761	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	565	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	1065	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení				
statická bezpečnost	s0ze	5,4	-	
Ekvivalentní stat.zatížení				
statická bezpečnost	s0zi	5,662	-	

9.2.1.2 Režim jízdy 2 – přímá jízda po dálnici

Popis	Značka	Hodnota	Jednotka	Odkaz
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	120	km/h	odhad
rychlost m/s	0	33,3	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				

Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	0,57	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,93	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,075	m	
	v	-0,0041	m	
	b	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21091,5	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,1	-	[4]
dynamický součinitel pohon	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	502,71975	N	
Svislá na ložisko	Fzz	4874	N	
Axiální síla od zatačky	Faz	0	N	
Radiální přitěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	7814	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	4334	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	3480	N	
Proměnná R	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	4334	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	4334	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	6718,094491	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	1087,794378	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	2049404,607	1000 km	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	6588	N	
statická bezpečnost	s0ze	6	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,246	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	6014,403	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	1567,197	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	2952599,002	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	5734	N	
statická bezpečnost	s0zi	7	-	

9.2.1.3 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou – vnější kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]

Označení	X	0,57	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,93	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,075	m	
	0	-0,0041	m	
	0	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
dynamický součinitel pohon	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	299,59475	N	
Svislá	Fzz	4874	N	
Axiální	Faz	1472	N	
Radiální přitěžující / odlehčující	Frzat	681	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	8901	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	951	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	9852	N	
poměr	Faz/C	0,026	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	10142	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	8670	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	10,664	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	9974	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	176	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	332	1000 km	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	6225	N	
statická bezpečnost	s0ze	6,02	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	14620	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	56	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	105	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	14360	N	
statická bezpečnost	s0zi	2,61	-	

9.2.1.4 Režim jízdy 4 – jízda zatáčkou – vnitřní kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	0,57	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,93	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,075	m	
	0	-0,0041	m	
	0	0,0334	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
dynamický součinitel pohon	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fx	299,59475	N	
Tangenciální síla Fx Ano/ne	1 / 0	1	0	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Svislá	Fzz	4874	N	
Axiální	Faz	1472	N	
přítěž / odlehčení	0/-1/1	-1	0	
Radiální přítěžující / odlehčující	Fr od	-681	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	6715	N	
poměr	Faz/C	0,026	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	9612	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	2898	N	
axiální síla na vnější řadu	Faze	8459	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	9931	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	14265	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	60	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	113	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	14011	N	
statická bezpečnost	s0ze	2,68	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	3,427	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	10888	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	135	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	255	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	8062	N	
statická bezpečnost	s0zi	4,65	-	

9.2.2 Vstupní a vypočtené údaje – nové řešení

9.2.2.1 Režim jízdy 1 – přímá jízda

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,08	m	
	v	-0,00145	m	
	b	0,03855	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,8	-	[4]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	4112,8425	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Svislá na ložisko	Fzz	4874	N	
Axiální síla od zatačky	Faz	0	N	
Radiální přitěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	8816	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	4568	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	4248	N	
Proměnná R	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	4568	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	4568	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	7080	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	492	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	927	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	6943	N	
statická bezpečnost	s0ze	5,4	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,075	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	6761	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	565	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	1065	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	6624	N	
statická bezpečnost	s0zi	5,662	-	

9.2.2.2 Režim jízdy 2 – přímá jízda po dálnici

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	120	km/h	odhad
rychlost m/s	0	33,3	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	a	0,08	m	
	v	-0,00145	m	
	b	0,03855	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21091,5	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	0	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	cx	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent kilometrový proběh	Epsilon	0,1	-	[4]
dynamický součinitel pohon	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	502,71975	N	
Svislá na ložisko	Fzz	4874	N	
Axiální síla od zatáčky	Faz	0	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	0	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	7814	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	4043	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	3760	N	
Proměnná R	R	1	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	4043	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	4043	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	1	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	6267,123526	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	1368,150033	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	2577594,661	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	6146	N	
statická bezpečnost	s0ze	6	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Fazi/Frzi	1,075	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	5984,238	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	1593,418	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	3001998,867	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	5863	N	
statická bezpečnost	s0zi	6	-	

9.2.2.3 Režim jízdy 3 – jízda zatáčkou – vnější kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	0,57	1	[3]
SKF Explorer	Y1	0,93	0,55	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,08	m	
	0	-0,00145	m	
	0	0,03855	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
dynamický součinitel od pohonu	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fxz	299,59475	N	
Svislá	Fzz	4874	N	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Axiální	Faz	1472	N	
Radiální přítěžující / odlehčující	Frzat	681	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	8901	N	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	908	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	9809	N	
poměr	Faz/C	0,026	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
axiální síla na vnější řadu	Faze	10104	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	8632	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	11,124	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	9915	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	179	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	338	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	6163	N	
statická bezpečnost	s0ze	6,09	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	14557	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	57	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	107	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	14298	N	
statická bezpečnost	s0zi	2,62	-	

9.2.2.4 Režim jízdy 4 – jízda zatáčkou – vnitřní kolo

<u>Popis</u>	<u>Značka</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Odkaz</u>
Parametry vozidla				
Hmotnost	m	2150	kg	[28]
vzdálenost zadní - těžiště	Lz	1,16	m	[28]
vzdálenost přední těžiště	Lp	1,35	m	[28]
rozchod	t	1,534	m	[28]
výška těžiště	h	0,355	m	[28]
dynamický poloměr	rd	0,3	m	[5]
Parametry jízdy				
rychlost	0	80	km/h	odhad
rychlost m/s	0	22,2	m/s	
poloměr zatáčky	R	200	m	odhad
Parametry ložiska				
Základní dyn. Únosnost	C	55900	N	[3]
	C0	37500	N	[3]
Označení	X	1	0,57	[3]
SKF Explorer	Y1	0,55	0,93	[3]
7309 BEP	X0	1	-	[3]
	Y0	0,52	-	[3]
	0	0,08	m	
	0	-0,00145	m	
	0	0,03855	m	
Síly a konstanty				
gravitační zrychlení	g	9,81	m/s ²	
Svislá	Fz	21092	N	
Dynamický součinitel - radiální	kr	1,6	-	[5]
Dynamický součinitel - axiální	ka	1,2	-	[5]
Odstředivá síla	Fo	5309	N	
Hustota vzduchu	Ró	1,25	kg/m ³	
cx	0	0,3	-	
S	S	2,7	m ²	
měrný odpor valení of	of	0,01	-	
Podíl procent	Epsilon	0,05	-	[4]
dynamický součinitel od pohonu	kp	1,3	-	[5]
Síly na ložisko				
tangenciální od pohonu v x	Fx	299,59475	N	
Tangenciální síla Fx Ano/ne	1 / 0	1	0	

DIPLOMOVÁ PRÁCE

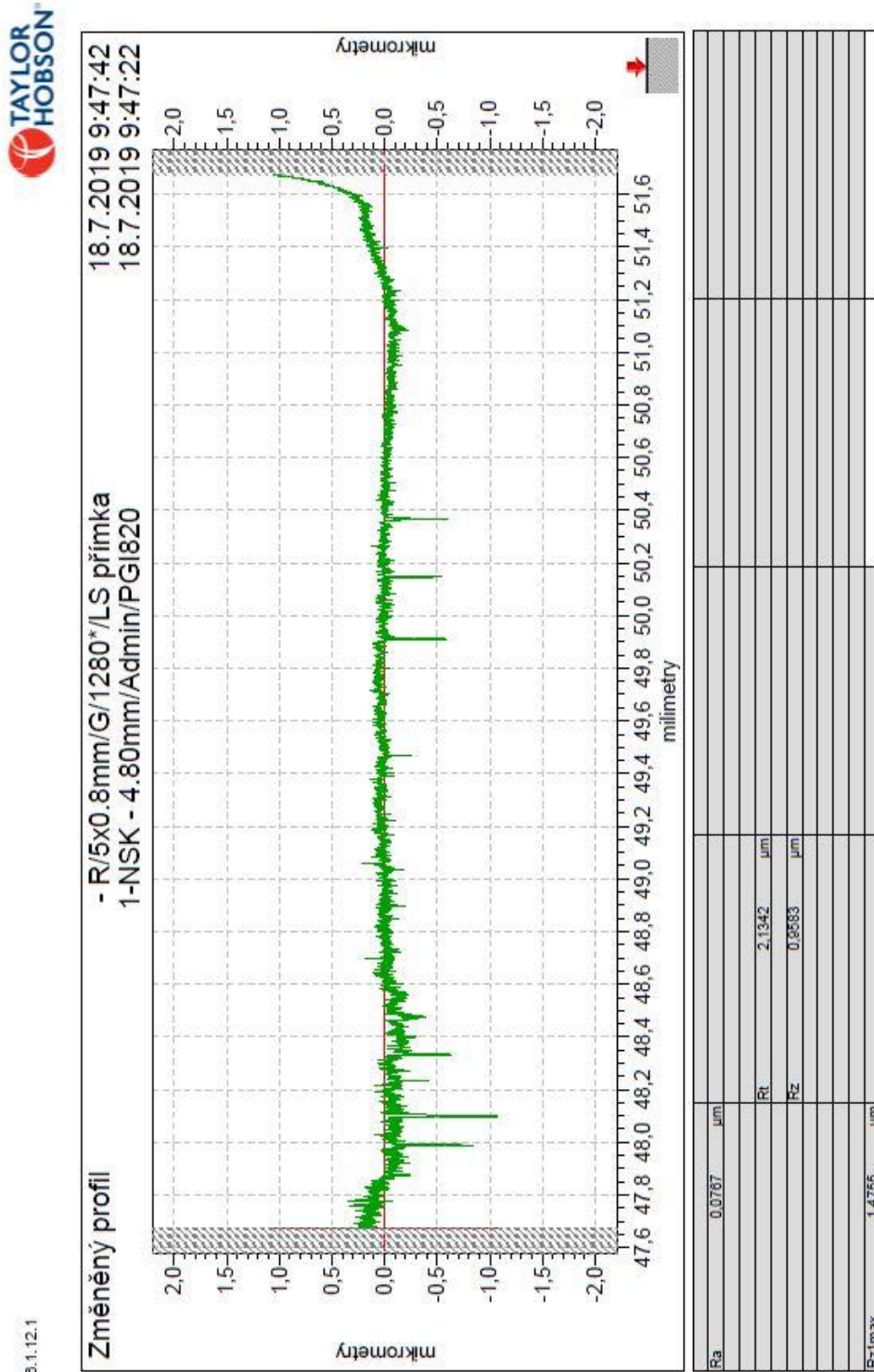
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

Svislá	Fzz	4874	N	
Axiální	Faz	1472	N	
přítěž / odlehčení	0/-1/1	-1	0	
Radiální přítěžující / odlehčující	Fr od	-681	N	
Celková vnější radiální síla	Frz	6715	N	
poměr	Faz/C	0,026	-	
Proměnná R	R	0,88	-	
Radiální síla na vnější řadu	Frze	8999	N	
Radiální síla na vnitřní řadu	Frzi	2285	N	
axiální síla na vnější řadu	Faze	7919	N	
axiální síla na vnitřní řadu	Fazi	9391	N	
Výpočet základní trvanlivosti ložiska				
Vnější řada				
Poměr Fa/Fr	Faze/Frze	0,88	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pze	13355	N	
Zkl trvanlivost	L10ze	73	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zekm	138	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0ze	13117	N	
statická bezpečnost	s0ze	2,86	-	
Vnitřní řada				
Poměr Fa/Fr	Faei/Frzi	4,111	-	
Ekvivalentní dyn.zatížení	Pzi	10036	N	
Zkl trvanlivost	L10zi	173	mil n	
Zkl trvanlivost v km	L10zikm	326	1000 km	
Ekvivalentní stat.zatížení	P0zi	7168	N	
statická bezpečnost	s0zi	5,23	-	

9.3 Příloha 7 – protokoly měření drsnosti

9.3.1 A

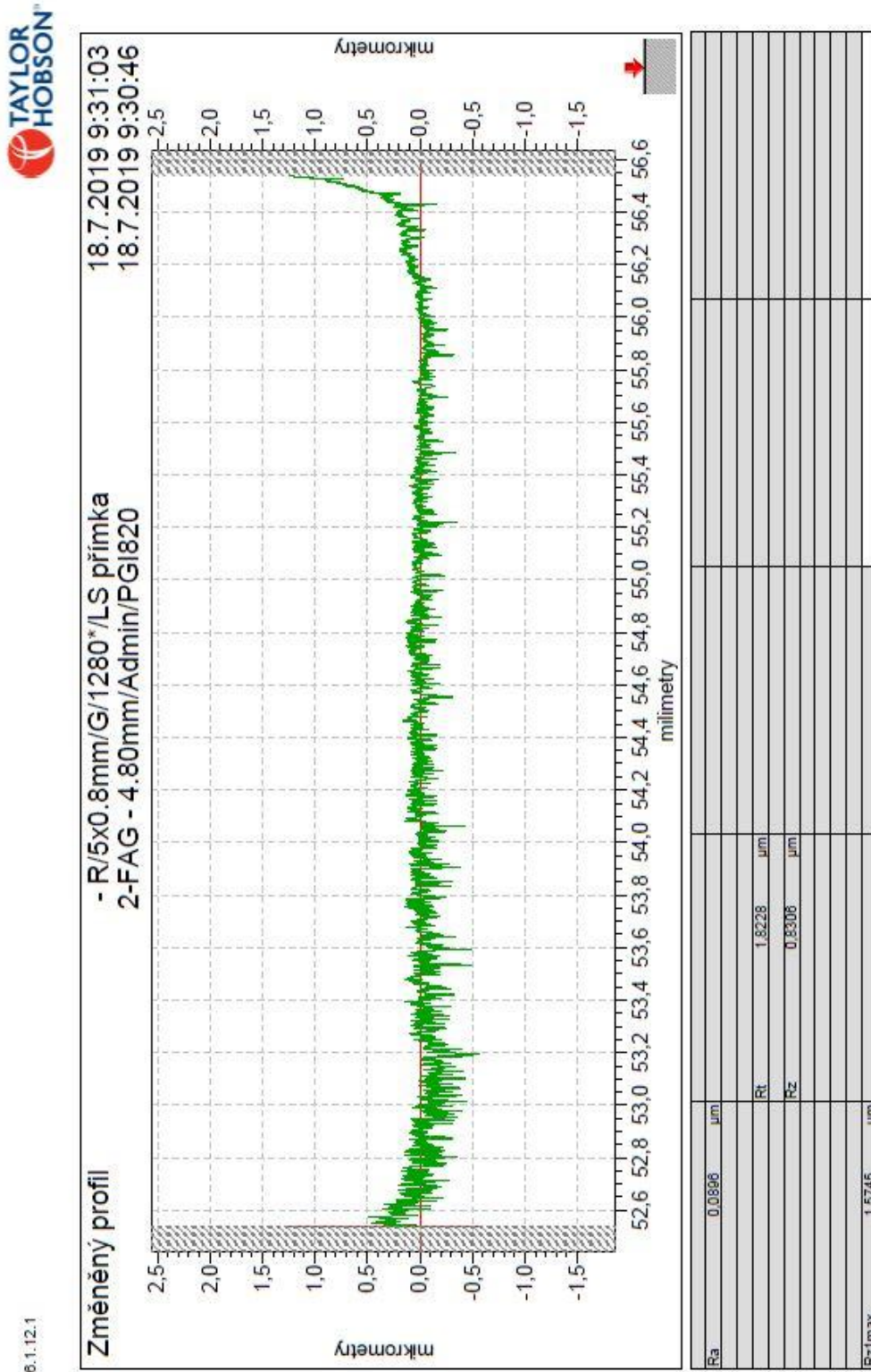


DIPLOMOVÁ PRÁCE

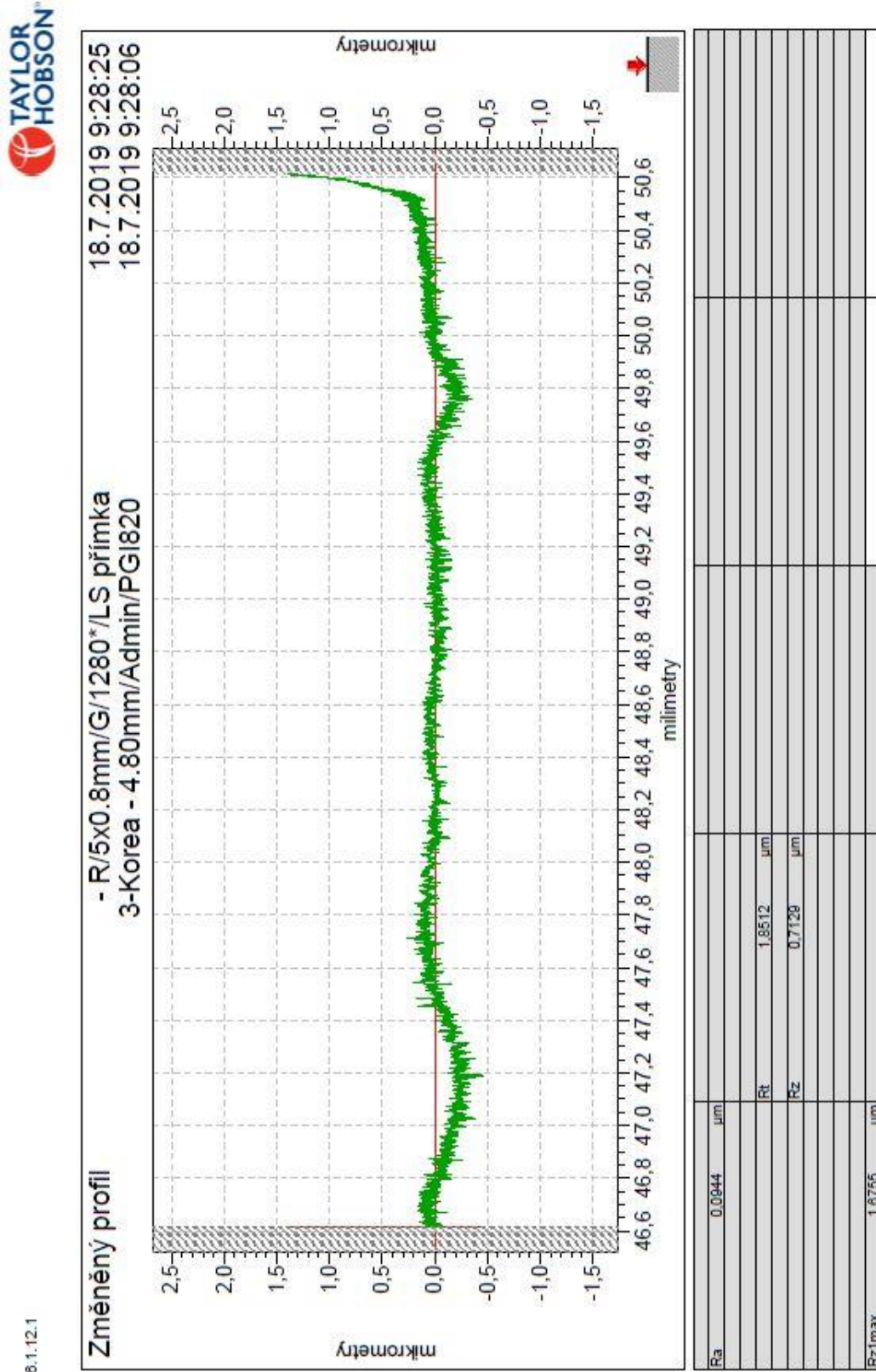
Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

9.3.2 B



9.3.3 C

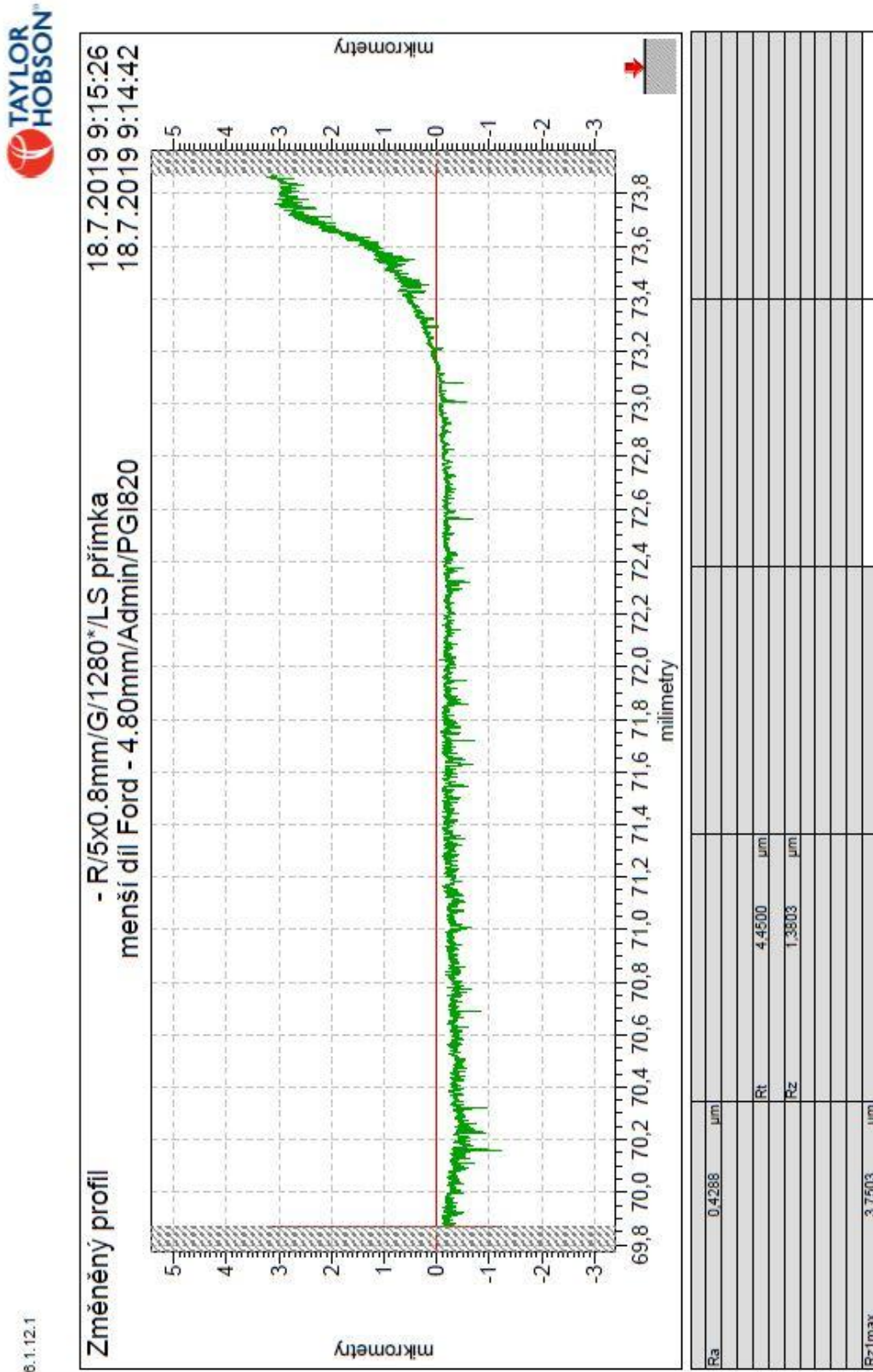


DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

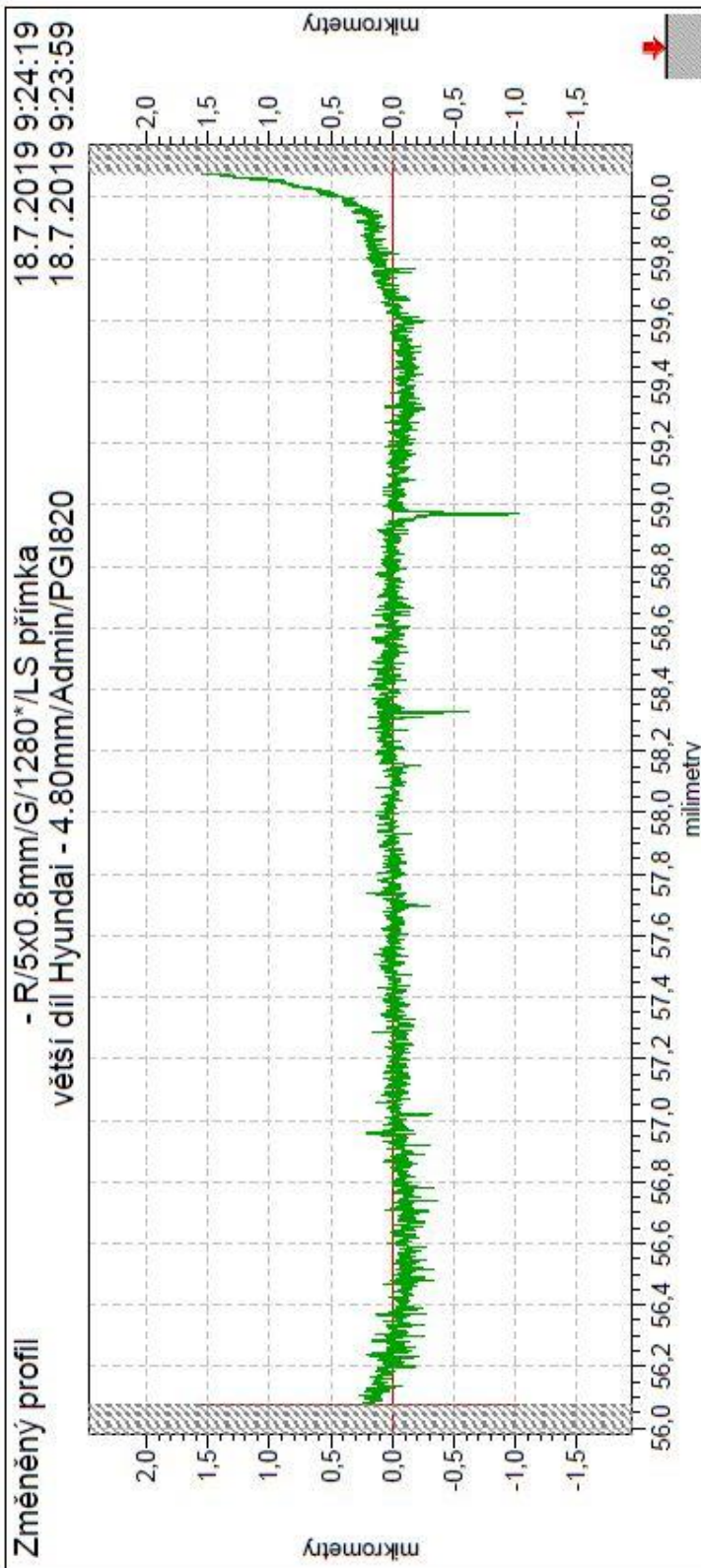
9.3.4 D



9.3.5 E



6.1.12.1



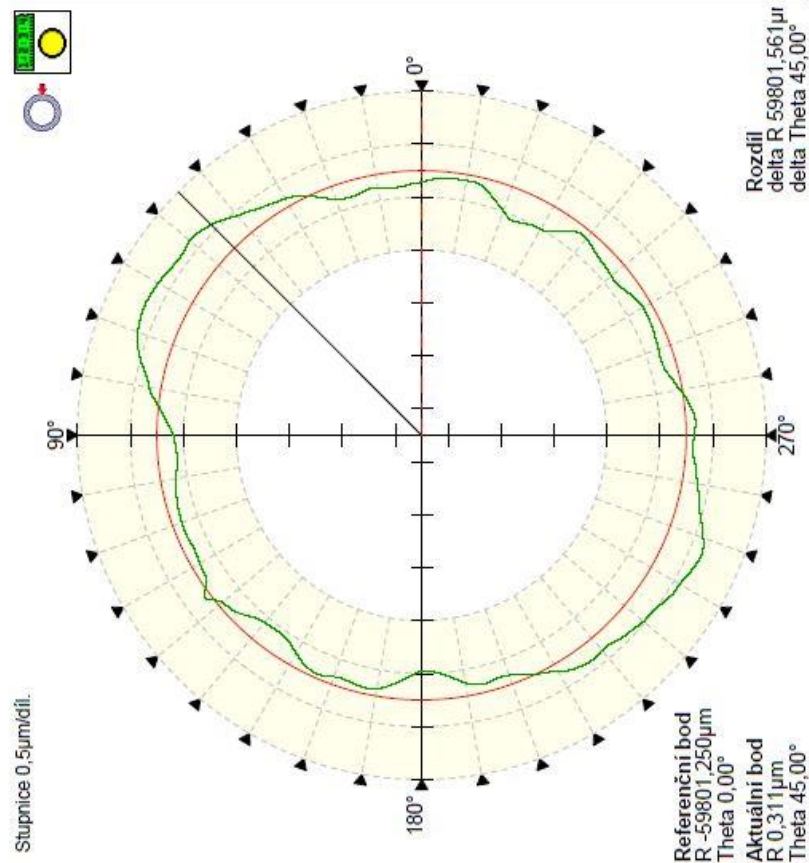
Ra	0,0898	µm
Rt	2,5773	µm
Rz	0,9880	µm
Rz1max	1,8104	µm

9.4 Příloha 8 – protokoly měření kruhovitosti

9.4.1 A



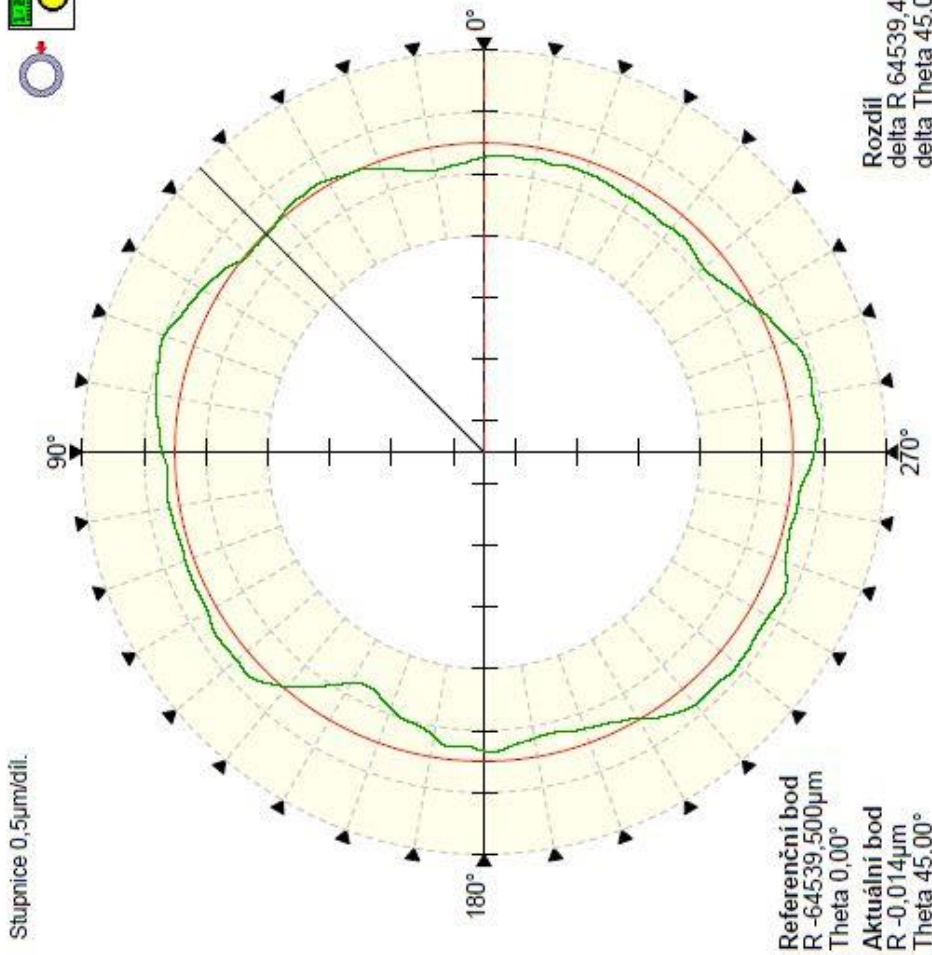
Kruhovitost	
ROM/LS kružnice/Gauss/1 - 50 vto	
2.7.2018 12:32:01	
Kružnice	
360°/Admin/ITR_665_HS	
2.7.2018 12:31:36	
Specifikace	
Typ referenc	LS kružnice
Typ filtru	Gauss
Rozsah filtru	1 - 50 vto
Zakláda	Vřeteno
Parametry	
RO/Nt (kruhovitost)	0,89 μm
Zahnutý profil	100,0 %
Ecc (excentricita)	2,17 μm
Podmínky	
Položka Z	-2,427 mm
Položka R	59,291 mm
Položka snímače	Horizontální
Směr kontaktu	R
Kontaktní rychlost	2,5 mm/s
Snímač natáčení	-44



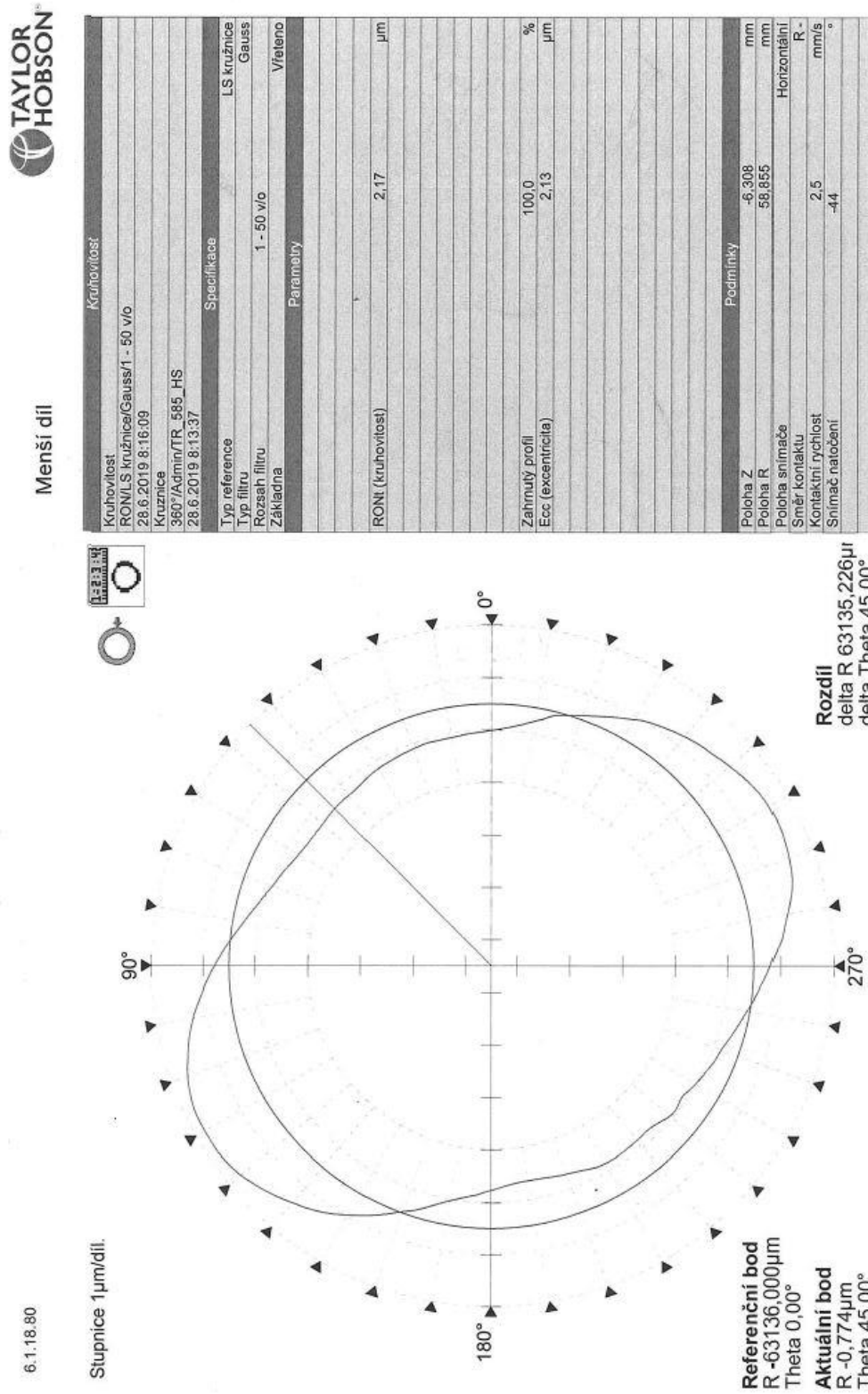
9.4.2 B



Kruhovitosť	
Kruhovitosť	
RONI.S.kružnice/Gauss/1 - 50 v/o	
2.7.2019 12:50:31	
Kružnice	
360°/Admin/TR 686 HS	
2.7.2019 12:50:12	
Typ referencie	L.S.kružnice
Typ filtru	Gauss
Rozsah filtru	1 - 50 v/o
Základina	Všeteno
Parametry	
RONI (kruhovitosť)	0,64 µm
Zahnutý profil	100,0 %
Ecc (excentricita)	4,07 µm
Podmienky	
Poloha Z	-5,423 mm
Poloha R	58,025 mm
Poloha snímače	Horizontálne
Směr kontaktu	R -
Kontaktní rychlost	2,5 mm/s
Snímač natočen	-44 °



9.4.4 D

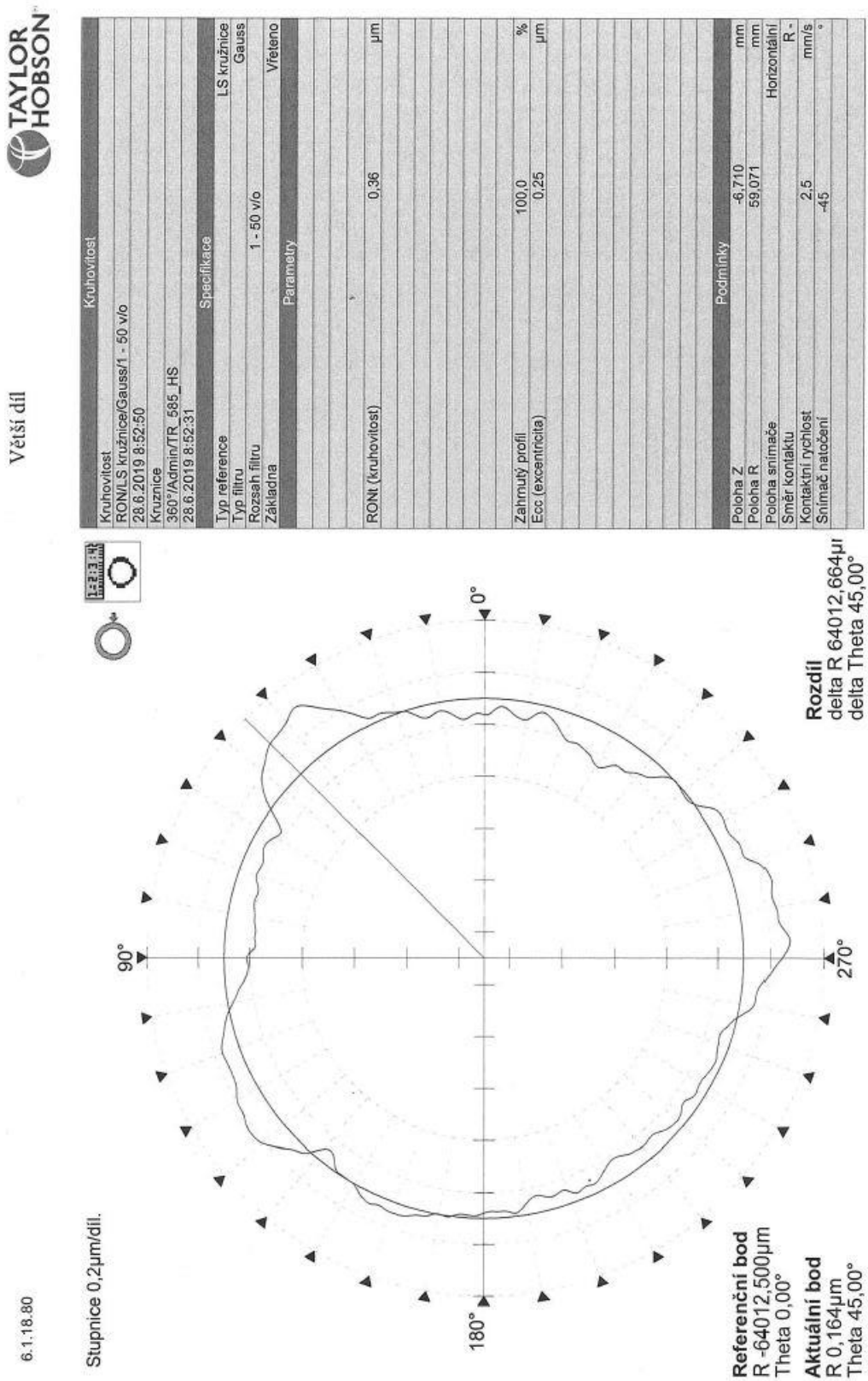


DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

9.4.5 E



9.5 Příloha 9 – protokoly měření harmonické analýzy

9.5.1 A

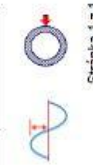


0.1.18.90

Harmonické Kruhovitost: HAR/Gauss/1-1500 v/o 2.7.2019 12:32:04
 Kružnice: 360°/Admin/TR_585_HS 2.7.2019 12:31:36

Amplituda harmonických (µm)

v/o	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9
0		2,169	0,213	0,036	0,109	0,029	0,046	0,030	0,031	0,036
10	0,021	0,011	0,013	0,028	0,014	0,017	0,009	0,019	0,012	0,002
20	0,011	0,000	0,005	0,003	0,005	0,006	0,005	0,002	0,005	0,003
30	0,006	0,001	0,002	0,005	0,003	0,003	0,002	0,004	0,001	0,003
40	0,002	0,002	0,004	0,001	0,003	0,002	0,003	0,004	0,002	0,003
50	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
60	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004
70	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
80	0,001	0,005	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
90	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000
100	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003
110	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003
120	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001	0,003
130	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,000	0,004	0,004
140	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
150	0,002									



Stránka 1 z 1

Specifikace	Kvalifikátor	Podmínky
Typ filtru Gauss	Diskriminační úroveň 0,000	Položka Z -2,427 mm
1-1500 v/o	Úroveň upozornění % 95	Položka snímače Horizontální
	Tolerance	Směr kontaktu R-

9.5.2 B



6.1.18.80

Harmonické Kruhovitost: HAR/Gauss/1-1500 v/o 2.7.2019 12:50:32
Kružnice: 360°/Admin/TR_585_HS 2.7.2019 12:50:12

Amplituda harmonických (µm)

v/o	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9
0		4,074	0,176	0,033	0,018	0,041	0,025	0,081	0,022	0,007
10	0,037	0,009	0,004	0,011	0,008	0,004	0,008	0,005	0,007	0,001
20	0,005	0,002	0,003	0,002	0,002	0,008	0,004	0,003	0,003	0,004
30	0,004	0,002	0,003	0,001	0,000	0,004	0,001	0,002	0,004	0,002
40	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003
50	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
60	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000
70	0,001	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000
80	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001
90	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002
100	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
110	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001
120	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
130	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
140	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
150	0,001									

Specifikace	Kvalifikátor	Podmínky
Typ filtru	Gauss	Poloha Z -5,423 mm
1-1500 v/o	Diskriminační úroveň 0,000 Úroveň upozornění % 95	Poloha snímače Horizontální
	Tolerance	Směr kontaktu R-



Stránka 1 z 1

9.5.3 C



6.1.18.80

Harmonické	Kruhovitost: HAR/Gauss/1-1500 v/o	2.7.2019 13:01:11
	Kružnice: 360°/Admin/TR_585_HS	2.7.2019 13:00:50

Amplituda harmonických (µm)

V/o	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9
0		2,820	0,201	0,064	0,018	0,007	0,004	0,002	0,005	0,005
10	0,002	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,004
20	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,003	0,005	0,002	0,004
30	0,003	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,000	0,003	0,001	0,002
40	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
50	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
60	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
70	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
80	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000
100	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
110	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
120	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000
130	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003
140	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
150	0,001									

Specifikace	Kvalifikátor	Podmínky
Typ filtru	Gauss	mm
1-1500 v/o	Diskriminační úroveň	-3,160
	Úroveň upozornění %	Horizontální
	Tolerance	R -
		Směr kontaktu
		Poloha Z
		Poloha snímače
		Směr kontaktu



Stránka 1 z 1

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler

9.5.4 D

Menší díl

**TAYLOR
HOBSON**

Harmonické

Kruhovitost: HAR/Gauss/1-1500 v/o 28.6.2019 8:20:34

Kružnice: 360°/Admin/TR_585_HS 28.6.2019 8:13:37

Amplituda harmonických (µm)

v/o	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9
0		2,129	0,959	0,127	0,251	0,012	0,031	0,007	0,026	0,011
10	0,001	0,005	0,006	0,008	0,001	0,004	0,005	0,004	0,006	0,005
20	0,004	0,004	0,006	0,001	0,004	0,006	0,002	0,003	0,003	0,002
30	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002
40	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001
50	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001
60	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001
70	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001
80	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
90	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
100	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001
110	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001
120	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002
130	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
140	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
150	0,002									

Specifikace	Kvalifikátor	Podmínky
Typ filtru	Gauss	mm
1-1500 v/o	Diskriminační úroveň Úroveň upozornění % Tolerance	-6,308 Horizontální R -
	µm	Poloha Z
	95	Poloha snímače
		Směr kontaktu



Stránka 1 z 1

9.5.5 E



Větší díl

Harmonické Kruhovitost: HAR/Gauss/1-1500 v/o 28.6.2019 8:52:52
 Kruznice: 360°/Admin/TR_585_HS 28.6.2019 8:52:31

6.1.18.80

Amplituda harmonických (µm)

v/o	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9
0		0,249	0,028	0,079	0,047	0,029	0,035	0,003	0,018	0,022
10	0,006	0,006	0,011	0,013	0,003	0,006	0,005	0,001	0,004	0,006
20	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,002	0,010	0,003	0,002	0,004
30	0,001	0,003	0,003	0,004	0,006	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002
40	0,003	0,003	0,002	0,007	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,004
50	0,003	0,003	0,003	0,004	0,001	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001
60	0,001	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
70	0,003	0,000	0,002	0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
80	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
90	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	0,002	0,003
100	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001
110	0,004	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003
120	0,002	0,002	0,003	0,001	0,000	0,002	0,002	0,003	0,000	0,003
130	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,006	0,005	0,001	0,007	0,003
140	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001
150	0,001									

Specifikace	Kvalifikátor	Podminky
Typ filtru Gauss	0,000	Poloha Z mm
1-1500 v/o	95	Poloha snímače Horizontální
		Směr kontaktu R -



Stránka 1 z 1

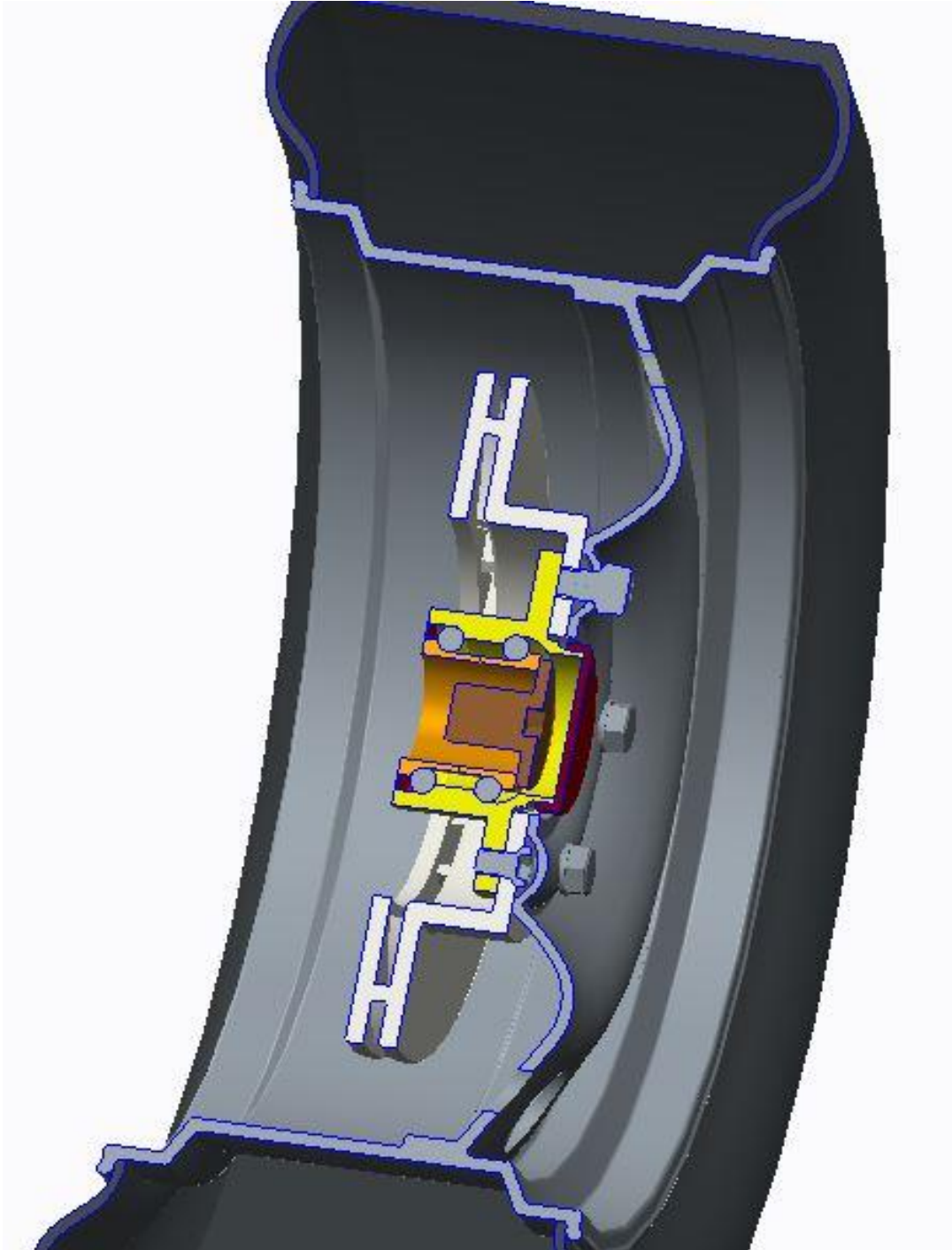
9.6 Příloha 10 - Obrázky CAD sestav

9.6.1 Celkové pohledy

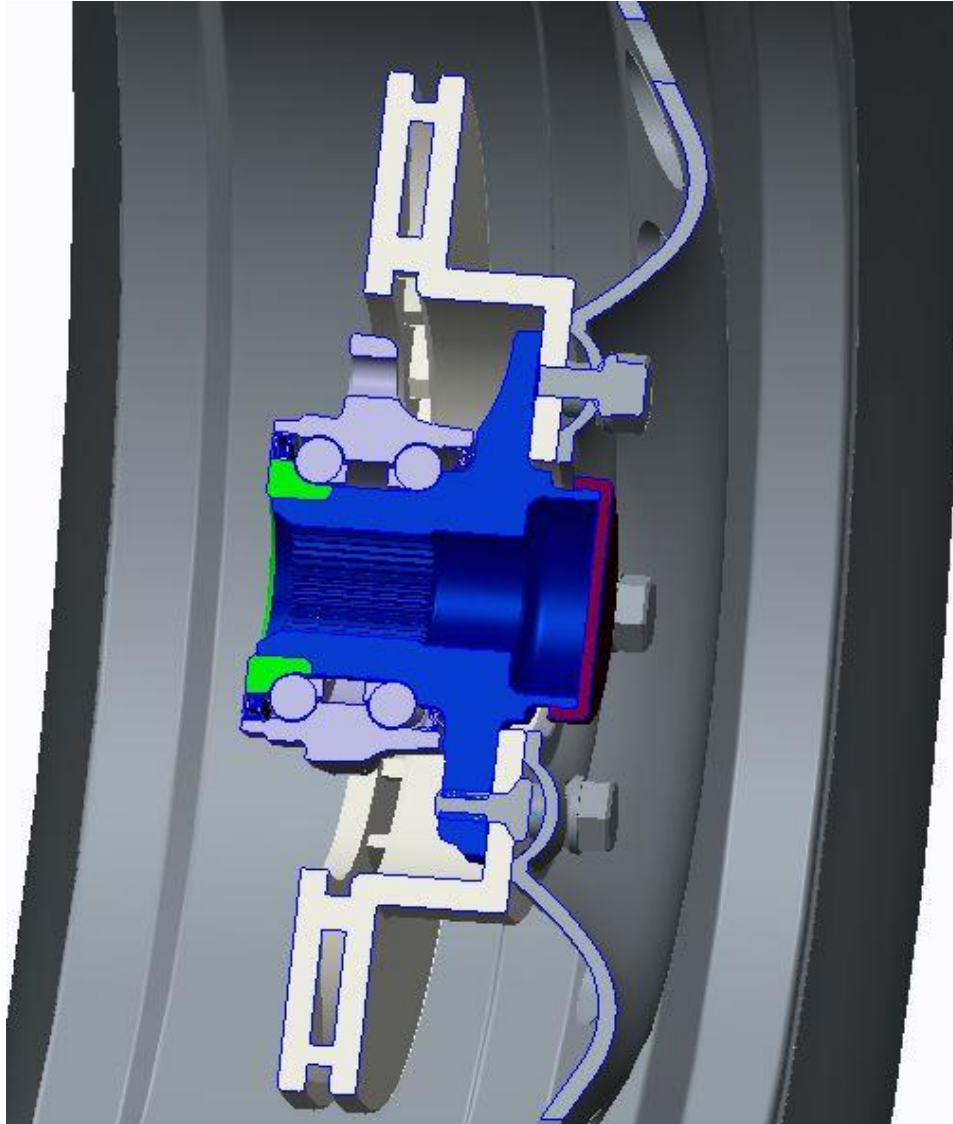




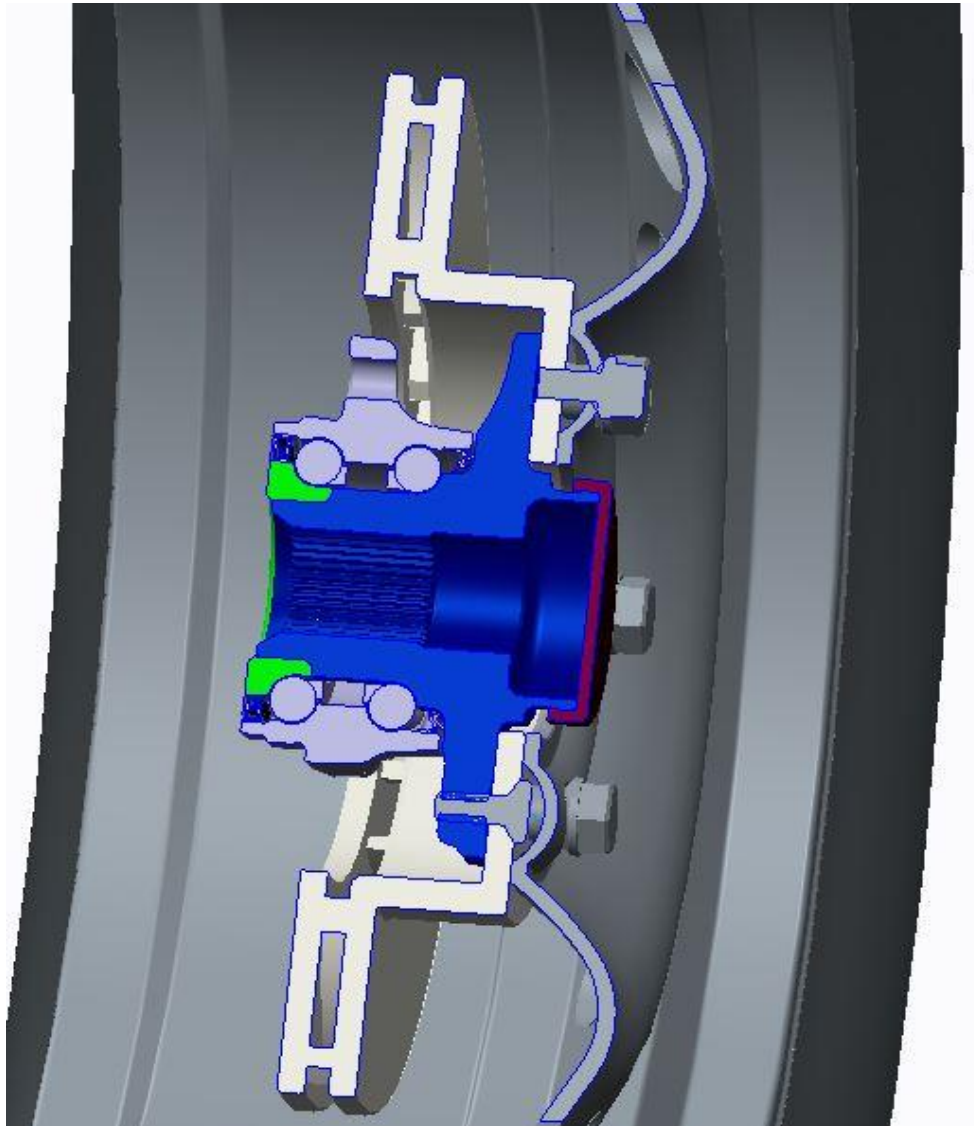
9.6.2 Řez zadní, původní



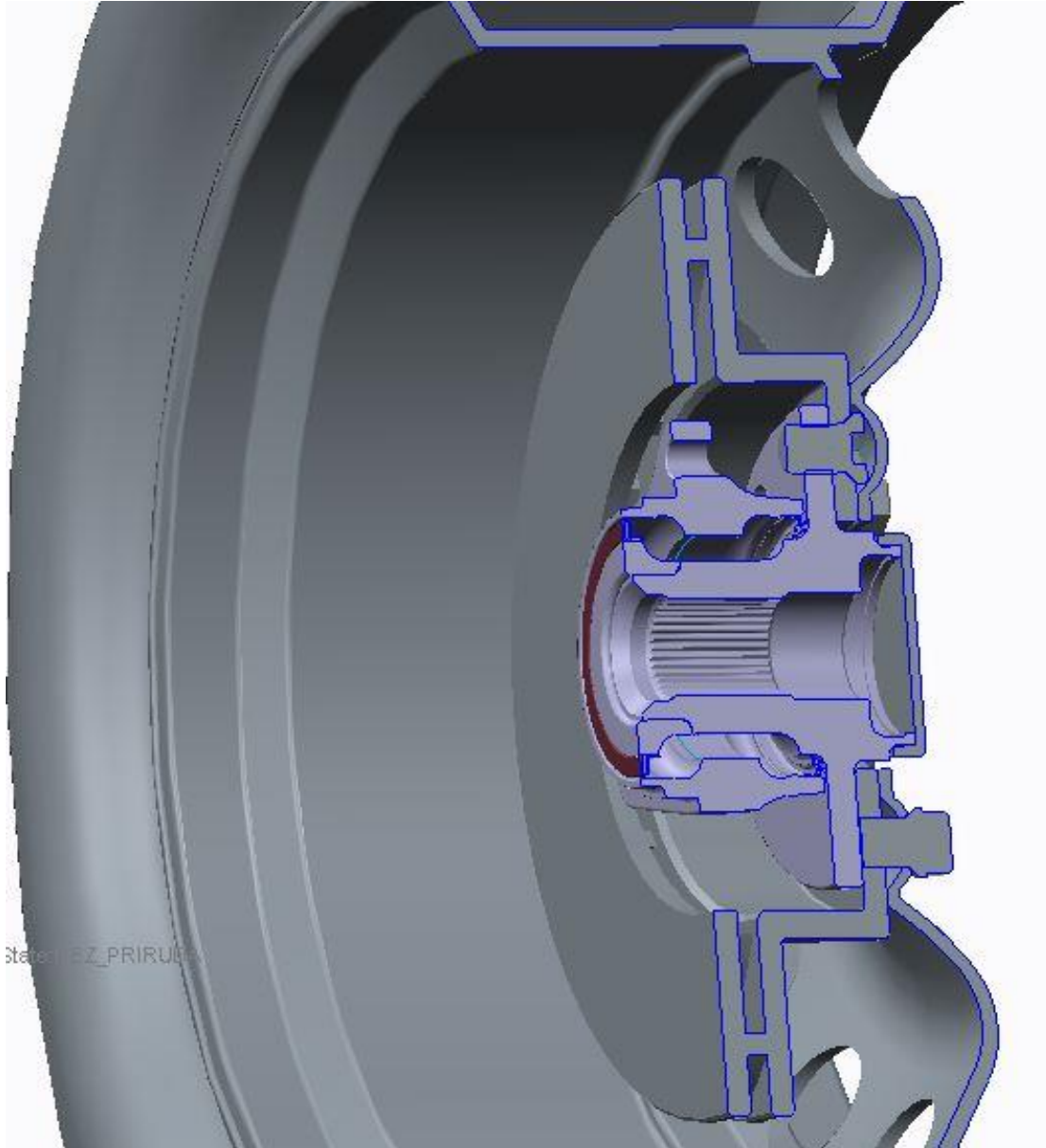
9.6.3 Řez zadní návrh



9.6.4 Řez přední, původní

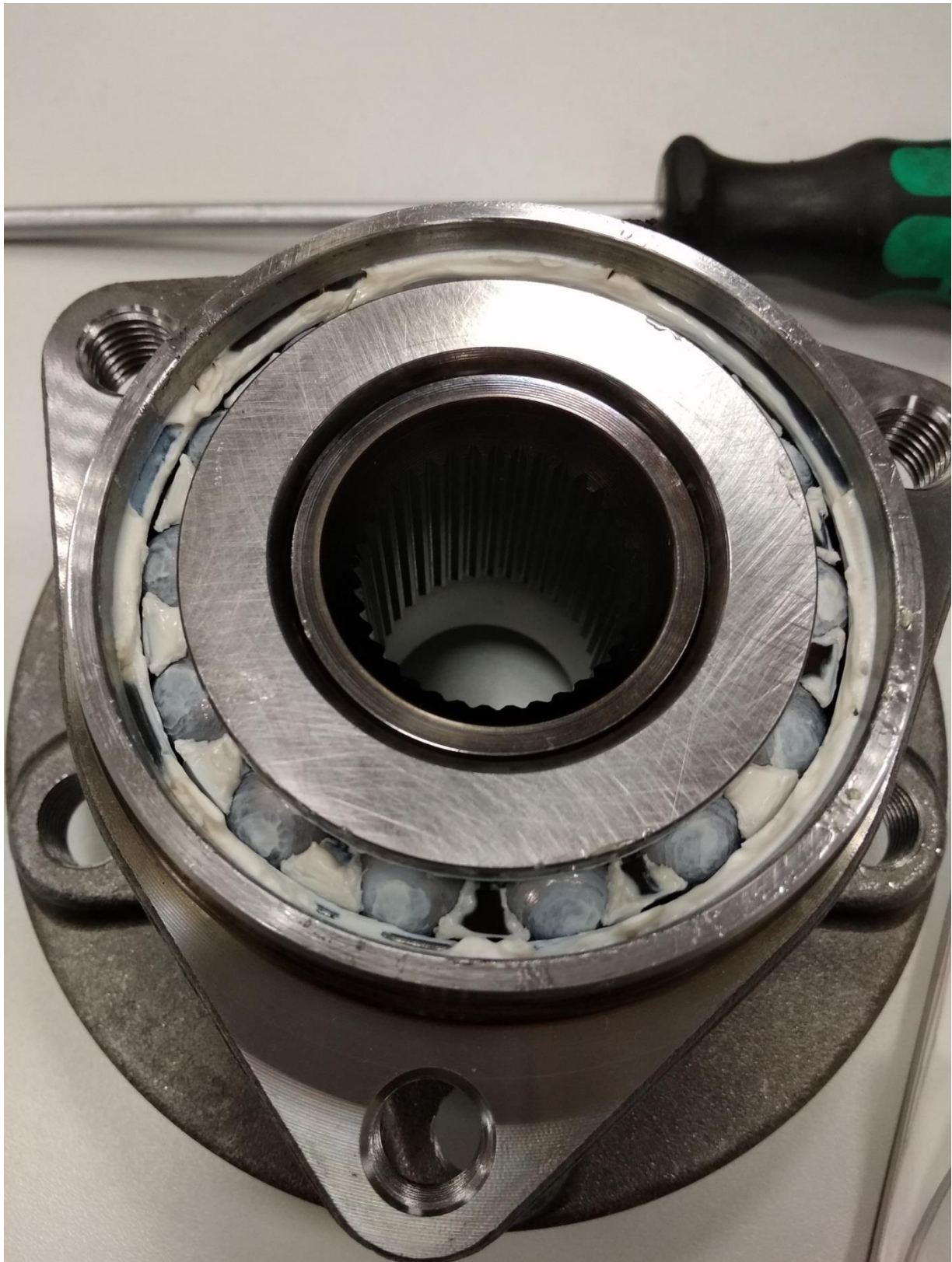


9.6.5 Řez pření návrh



9.7 Příloha 11 - Obrázky rozmontovaných ložisek pro měření





DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kolová jednotka osobního vozu a ložiskové uložení

Bc. Robert Fiedler





9.8 Příloha 12 – Parametry vozu Škoda Octavia

9.8.1 Škoda Octavia 3 – zážehové motory

Údaj / motor	1,2 TSI, 63 kW	1,0 TSI, 85 kW	1,4 TSI, 110 kW	1,8 TSI, 132 kW
Přední náprava	McPherson, spodní trojúhelníkové rameno, příčný zkrutný stabilizátor			
Zadní náprava	Kliková s vlečnými rameny			Víceprvková
odpružení	Vinuté pružiny, teleskopické tlumiče, (vzadu vně pružin)			
Přední brzdy	Kotoučové, kotouče s vnitřním chlazením, jednopístový plovoucí třmen			
Zadní brzdy	Kotoučové			
Parkovací brzda	Mechanická, na zadní kola			
Řízení	Hřebenové, přímočinné s elektromechanickým posilovačem			
Kola	6J x 15''		6,5J x 16''	
Pneumatiky	195/65 R15		205/55 R16	
Délka	4670 mm			
šířka	1814 mm			
výška	1461 mm			
Rozvor	2686 mm			2680 mm
Světlá výška	141 mm			
Rozchod vpředu	1549 mm		1543 mm	
Rozchod vzadu	1540 mm		1534 mm	1542 mm
Pohotovostní hmotnost	1225 kg	1247 kg	1269 kg	1335 kg
Celková hmotnost	1775 kg	1797 kg	1819 kg	1845 kg
Vnější průměr zatáčení	10,4 m			

[27]

9.8.2 Škoda Octavia 3 Combi – zážehové motory

Údaj / motor	1,2 TSI, 63 kW	1,0 TSI, 85 kW	1,4 TSI, 110 kW	1,8 TSI, 132 kW
Přední náprava	MacPherson, spodní trojúhelníkové rameno, příčný zkrutný stabilizátor			
Zadní náprava	Kliková s vlečnými rameny			Víceprvková
odpružení	Vinuté pružiny, teleskopické tlumiče, (vzadu vně pružin)			
Přední brzdy	Kotoučové, kotouče s vnitřním chlazením, jednopístový plovoucí třmen			
Zadní brzdy	Kotoučové			
Parkovací brzda	Mechanická, na zadní kola			
Řízení	Hřebenové, přímočinné s elektromechanickým posilovačem			
Kola	6J x 15''		6,5J x 16''	
Pneumatiky	195/65 R15		205/55 R16	
Délka	4667 mm			
šířka	1814 mm			
výška	1465 mm			
Rozvor	2686 mm			2680 mm
Světlá výška	141 mm			
Rozchod vpředu	1549 mm		1543 mm	
Rozchod vzadu	1540 mm		1534 mm	1542 mm
Pohotovostní hmotnost	1247 kg	1247 kg	1291 kg	1357 kg
Celková hmotnost	1817 kg	1839 kg	1861 kg	1867 kg
Vnější průměr zatáčení	10,4 m			

[27]

9.8.3 Škoda Octavia 3 – vznětové motory

Údaj / motor	1,6 TDI, 66 kW	1,6 TDI, 85 kW	2 TDI, 110 kW
Přední náprava	MacPherson, spodní trojúhelníkové rameno, příčný zkrutný stabilizátor		
Zadní náprava	Kliková s vlečnými rameny		
odpružení	Vinuté pružiny, teleskopické tlumiče, (vzadu vně pružin)		
Přední brzdy	Kotoučové, kotouče s vnitřním chlazením, jednopístový plovoucí třmen		
Zadní brzdy	Kotoučové		
Parkovací brzda	Mechanická, na zadní kola		
Řízení	Hřebenové, přímočinné s elektromechanickým posilovačem		
Kola	6J x 15''		6,5J x 16''
Pneumatiky	195/65 R15		205/55 R16
Délka	4670 mm		
šířka	1814 mm		
výška	1461 mm		
Rozvor	2686 mm		
Světlá výška	141 mm		
Rozchod vpředu	1549 mm		1543 mm
Rozchod vzadu	1540 mm		1534 mm
Pohotovostní hmotnost	1305 kg	1320 kg	1352 kg
Celková hmotnost	1855 kg	1870 kg	1902 kg
Vnější průměr zatáčení	10,4 m		

[27]

9.8.4 Škoda Octavia 3 Combi – vznětové motory

Zvolený vůz:

Údaj / motor	1,6 TDI, 66 kW	1,6 TDI, 85 kW	2 TDI, 110 kW
Přední náprava	MacPherson, spodní trojúhelníkové rameno, příčný zkrutný stabilizátor		
Zadní náprava	Kliková s vlečnými rameny		
odpružení	Vinuté pružiny, teleskopické tlumiče, (vzadu vně pružin)		
Přední brzdy	Kotoučové, kotouče s vnitřním chlazením, jednopístový plovoucí třmen		
Zadní brzdy	Kotoučové		
Parkovací brzda	Mechanická, na zadní kola		
Řízení	Hřebenové, přímočinné s elektromechanickým posilovačem		
Kola	6J x 15''		6,5J x 16''
Pneumatiky	195/65 R15		205/55 R16
Délka	4667 mm		
šířka	1814 mm		
výška	1465 mm		
Rozvor	2686 mm		
Světlá výška	141 mm		
Rozchod vpředu	1549 mm		1543 mm
Rozchod vzadu	1540 mm		1534 mm
Pohotovostní hmotnost	1327 kg	1342 kg	1374 kg
Celková hmotnost	1897 kg	1912 kg	1944 kg
Vnější průměr zatáčení	10,4 m		

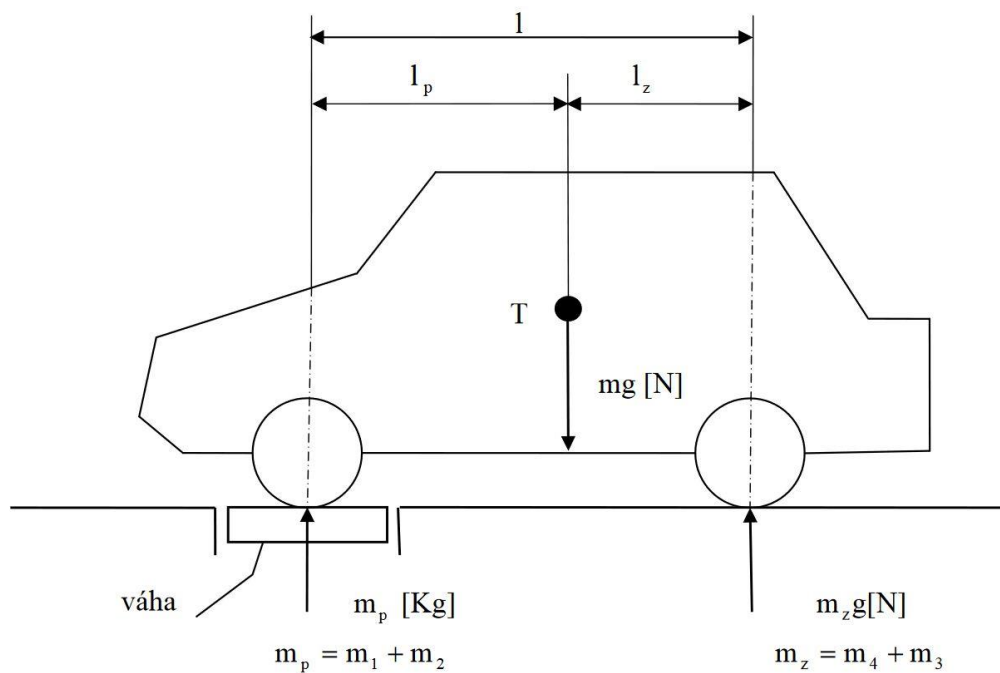
[27]

9.8.5 Poloha těžiště

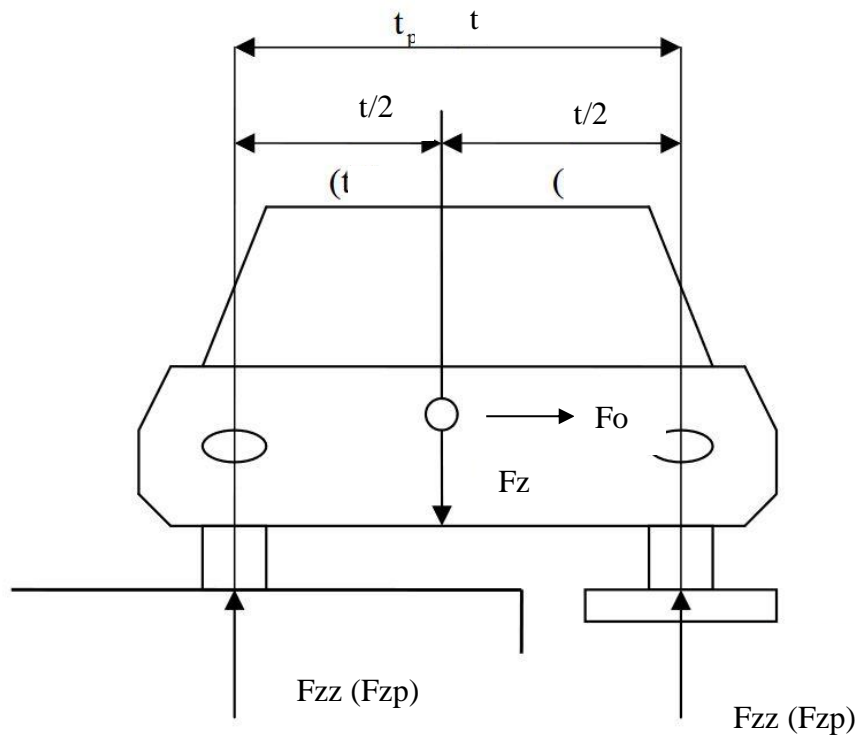
Poloha těžiště vozu Škoda Octavia 1 Combi 1,9 TDI

	Poloha těžiště [m]			
	Prázdné vozidlo	S řidičem	Řidič + 100 kg	5 osob +100 kg
h	0,444	0,364	0,355	0,477
lp	1,47	1,47	1,35	1,25
lz	1,04	1,05	1,16	1,26
t1	0,75	0,72	0,71	0,74
t2	0,77	0,79	0,8	0,78

[13]



[28]



[28]