

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Diagnostika a servis silničních vozidel

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití současných poznatků z oblasti tření, opotřebení a mazání
v dopravní a manipulační technice

Autor: **Jindřich Zbránek**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jaromír Horák, Csc.**

Akademický rok 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jindřich ZBRÁNEK
Osobní číslo: S11B0545P
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: Diagnostika a servis silničních vozidel
Název tématu: Využití současných poznatků z oblasti tření, opotřebení a mazání v dopravní a manipulační technice
Zadávací katedra: Katedra konstruování strojů

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

Základní požadavky:

Cílem práce je posoudit současné poznatky z interdisciplinárního oboru tribologie (tření, opotřebení a mazání), včetně pronikání nanotechnologií do uvedené oblasti. Po provedené rešerši uplatnit získané poznatky pro konkrétní aplikační příklad.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše
2. Aplikační příklad využití
3. Návrh konstrukčního řešení
4. Závěrečné hodnocení včetně ekonomického přínosu

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

HASEGAVA, T. *Tribology Research Trends*. New York: Nova Science Pub Inc, 20

SULLIVAN, T. *LUBES'N'GREASES EUROPE-MIDDLE EAST- AFRICA MAGAZIN*
Virginia: LNG Publishing Co, Inc, 2009. ISSN1935-8490

AUGUSTÍNOVÁ, Z. *Tribotechnika*. Žilina: Techpark, o.z., 2008. ISSN1337-0022

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

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.

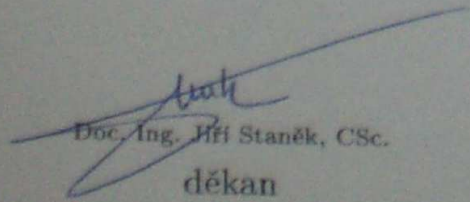
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.

Katedra konstruování strojů

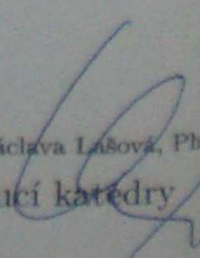
Datum zadání bakalářské práce: 19. září 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2012


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.

děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.

vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Doc. Ing. Jaromír Horákovi, Csc. za vedení a konzultace, které mi v rámci této bakalářské práce poskytl a všem kteří mi pomohli doplnit znalosti o problematice řešené v mé bakalářské práci.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Zbránek	Jméno Jindřich	
STUDIJNÍ OBOR	B 2341 „Diagnostika a servis silničních vozidel“		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Horák, Csc.	Jméno Jaromír	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Využití současných poznatků z oblasti tření, opotřebení a mazání v dopravní a manipulační technice		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	48	TEXTOVÁ ČÁST	41	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje přehled o novinkách v oblasti tribotechniky, aplikaci tribologických zásad na uložení kola s integrovaným elektromotorem a konstrukční řešení uložení kol elektromobilu včetně ekonomického přínosu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">centrální mazací systémy, ložisko, tribodiagnostika, ložiskové jednotky, Active Wheel, eCorner</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Zbránek	Name Jindřich	
FIELD OF STUDY	B 2341 “ Road Vehicles Diagnostics and Service“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Horák, Csc.	Name Jaromír	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Application of actual knowledge in the field of friction, wear and lubrication in transport vehicles and handling machinery		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	48	TEXT PART	41	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis disserts about news of tribotechnics, application of tribological principles on the wheel bearing with integrated electric engine in wheel and design solutions electromobile's wheel bearing, including economic profit.
KEY WORDS	central lubrication systems, bearings, tribodiagnostics, bearing units, Active Wheel,eCorner

Obsah

Seznam příloh.....	4
Seznam obrázků	4
Seznam tabulek	5
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	6
1 Vypracování rešerše.....	7
1.1 Úvod	7
1.2 Vývoj v oblasti mazání	8
1.2.1 Automatické maznice	8
1.2.2 Centrální mazací systém.....	8
1.2.3 Filtrace maziva	9
1.3 Vývoj v oblasti konstrukce ložisek.....	10
1.3.1 Inovace kuličkových ložisek	11
1.3.2 Kombinovaná ložiska	11
1.3.3 Inovace soudečkových ložisek	11
1.3.4 Inovace magnetických ložisek.....	12
1.3.5 Dělená ložiska	12
1.4 Vývoj v oblasti materiálů	12
1.4.1 Vysokoporézní polymer	12
1.4.2 Keramika	13
1.4.3 Kompozitní materiály.....	13
1.5 Vývoj v oblasti tribodiagnostiky	13
1.5.1 Moderní senzory.....	14
1.5.2 Integrace snímačů.....	15
1.5.3 Moderní spektrometry	16
1.5.4 Software pro diagnostiku	16
1.6 Olejová Aditiva.....	17
1.6.1 Modifikátory tření	17
1.6.2 Přísady proti opotřebení	17
1.6.3 Přísady pro extrémní tlaky	17
1.6.4 Inhibitory koroze	18
1.6.5 Antioxidanty.....	18
1.6.6 Detergenty a disperzanty	18
1.6.7 Přísady zlepšující bod tuhnutí (depresanty)	18
1.6.8 Modifikátory viskózního indexu	19
1.6.9 Přísady zamezující pění	19
1.7 Příklady některých komerčních aditiv:	19
1.7.1 Technologie RVS Master	19
1.7.2 CERATEC.....	20
1.8 Nanotechnologie.....	20

2	Aplikační příklad využití tribologických zásad	22
2.1	Integrované hnací ústrojí v kole vozidla.....	22
2.2	Aplikace tribotechniky.....	23
2.3	Ložiskové jednotky.....	24
3	Návrh konstrukčního řešení	27
3.1	Zatížení ložisek.....	27
3.1.1	Průměr kol	27
3.1.2	Počet otáček kola potřebných k ujetí požadované vzdálenosti	27
3.1.3	Maximální otáčky kola	28
3.1.4	Normálová síla na celý automobil.....	28
3.1.5	Tíhová síla na kolo	29
3.1.6	Boční síla na automobil.....	29
3.1.7	Osová síla na kolo	29
3.1.8	Rozložení sil v uložení	30
3.1.9	Výpočet síly F_A	30
3.1.10	Výpočet síly F_B	30
3.1.11	Doba provozu ložisek.....	31
3.1.12	Celková doba provozu.....	31
3.1.13	Průměrné otáčky.....	31
3.2	Předběžný výpočet ložiska v místě A.	31
3.2.1	Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska	32
3.2.2	Výpočet základní dynamické únosnosti	32
3.3	Předběžný výpočet ložiska v místě B	33
3.3.1	Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska	33
3.3.2	Výpočet základní dynamické únosnosti	33
3.4	Zahrnutí sil vznikajících v ložiskách vlivem zatížení.....	34
3.4.1	Externí axiální síla zachycována Ložiskem A	35
3.4.2	Externí axiální síla zachycována Ložiskem B.....	36
3.4.3	Výpočet ložiska v místě A.	36
3.4.4	Výpočet ložiska v místě B.....	37
3.5	Určení oteplení ložisek	38
3.5.1	Přibližný třecí moment valivých ložisek	38
3.5.2	Ztrátový výkon	38
3.6	Využití ložiskové jednotky	39
3.6.1	Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem.....	39
4	Závěrečné hodnocení, včetně ekonomického přínosu	42
4.1	Ekonomický přínos.....	42
4.1.1	Ložisková jednotka	42
4.1.2	Volba maziva.....	43
4.1.3	Vhodná konstrukce ložiska	43

4.1.4	Integrované prvky ložiska	44
4.2	Závěrečné hodnocení	45
5	Použitá literatura	46

Seznam příloh

-Příloha č. 1 - *Autodesk Inventor Professional 2008 – Model uložení kola s integrovaným elektrickým hnacím ústrojím na dvou kuličkových ložiskách s kosouhlým stykem*

-Příloha č. 2 - *Autodesk Inventor Professional 2008 – Výkres sestavy: BP KKS 11 01/1 - Uložení hřídele kola s integrovaným el. Motorem*

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Schéma centrálního mazacího systému [3].....	9
Obr. 1.2 - Inovované kuličkové ložisko[4].....	11
Obr. 1.3 - Kombinované ložisko [5]	11
Obr. 1.4 - Posun klece ložiska [6]	11
Obr. 1.5 - Dělené ložisko [7].....	12
Obr. 1.6 - Ložiska Solid Oil [8]	12
Obr. 1.7 - Izolovaná ložiska[9].....	13
Obr. 1.8 - Kluzné ložisko z kompozitních materiálů [10].....	13
Obr. 1.9 – Magnetický senzor znečištění [11].....	14
Obr. 1.10 - Ložiskové těleso s integrovanými snímači [12]	15
Obr. 1.11 - Graf vibrodiagnostiky [13]	15
Obr. 1.12 - Přenosný spektrometr [14].....	16
Obr. 1.13 - Monitorování funkce větrné elektrárny [15].....	16
Obr. 1.14 – Struktura detergentu [16]	18
Obr. 1.15 – technologie RVS [17].....	20
Obr. 1.16 – nanostruktury [18].....	21
Obr. 2.1 - Systém Active Wheel [19].....	22
Obr. 2.2 - Kolo Active Wheel [20].....	22
Obr. 2.3 - Ložisková jednotka první generace [21].....	25
Obr. 2.4 - Ložisková jednotka druhé generace [21].....	25
Obr. 2.5 - Ložisková jednotka třetí generace [21].....	25
Obr. 2.6 - Ložisková jednotka čtvrté generace[22]	26
Obr. 3.1 - Síly na kolo	28
Obr. 3.2 - Síly v uložení kola	30
Obr. 3.3 - Katalog jednořadé kuličkové ložisko [23]	34
Obr. 3.4 - Přídavné síly na ložisku	34

Obr. 3.5 - Graf závislosti C na R [23]	35
Obr. 3.6 - Katalog dvouřadá ložiska s kosoúhlým stykem [23]	39
Obr. 3.7 - Katalog dvouřadá ložiska s kosoúhlým stykem [23]	40
Obr. 3.8 - Katalog ložisek pro motorová ložiska - Škoda Fabia [24]	41

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - Zaměření tribotechniky	7
Tabulka č. 2 - Parametry vozu.....	27
Tabulka č. 3 - Zatěžovací spektrum	31
Tabulka č. 4 - Porovnání vozů.....	40
Tabulka č. 5 – Ceny ložiskové jednotky Škoda Fabia 1.2 HTP	42
Tabulka č. 6 - Cena uložení jednotlivými ložisky	42
Tabulka č. 7 - Porovnání ceny jednotlivých ložisek oproti ložiskovým jednotkám	42
Tabulka č. 8 - Volba maziva	43
Tabulka č. 9 - Volba ložiska.....	43
Tabulka č. 10 - Ušetřené náklady integrací prvků.....	44

Přehled použitých zkratk a symbolů

PTFE	-	Polytetrafluorethylen
CAN	-	Controller area network
IR	-	Infrared radiation
ESP	-	Electronic stability program
ABS	-	Anti-lock brake system
HTP	-	High torque performance
Ra	-	Drsnost [1]

1 Vypracování rešerše

1.1 Úvod

Každý z nás jistě ví, že povrch má určitou drsnost. Drsnost můžeme popsat jako odchylky od požadovaného tvaru povrchu dané součásti. Tyto odchylky jsou stopy od nástroje, které ani dokončovacími operacemi nedokážeme odstranit a vytvořit absolutně hladký povrch (superfinašování $Ra=3,2 - 0,025$). Při pohybu tělesa po jiném se jejich povrchy dotýkají a nerovnosti povrchů se o sebe vzájemně třou. Odpor proti pohybu dvou povrchů, které se vzájemně dotýkají, se nazývá tření. To je statické, pokud je těleso v klidu a uvádí se do pohybu působením síly, nebo dynamické, při pohybu tělesa. Tření je nežádoucím jevem, protože při něm vzniká teplo, zpomaluje se pohyb a dochází k opotřebením. Je děleno na tři základní druhy dle mazání: suché, kapalinné a mezní. Když jsou povrchy v kontaktu, tak se jedná o tření suché, pokud jsou povrchy odděleny mazivem, jedná se o tření kapalinné a je-li mazací vrstva místy porušena, tudíž dochází k částečnému dotyku povrchů, potom se tření nazývá mezní. Tření můžeme dělit i dle pohybu povrchů na valivé, kluzné, vrtné atd.. Třecí odpor je ovlivněn mnoha faktory, např.: drsností a materiálem kluzných ploch, zatížením, mazáním, apod. Kvůli řešení těchto problémů vznikl obor zvaný Tribologie.

Tribologie - (z řeckého $\tau\rho\iota\beta\omega$ - třít) je mezioborová věda, zabývající se obecně vzájemným působením povrchů tuhých těles při jejich relativním pohybu nebo při pokusu o vzájemný pohyb a s tím související technologií.[1]

Tribotechnika - (z řeckého *tribos* - tření) se zabývá komplexně, praktickým řešením otázek, týkajících se tření, opotřebením a mazání.[1]

Rozsah tribotechniky je patrný ze vznikajících problémů při pohybu povrchů po sobě viz. Tabulka č.1.

	Problém	Řešení	Související
Interakce pohybu dvou povrchů po sobě.	Tření	Mazivo	Výběr, Testování
	Teplo	Organizace techniky mazání	Zahrnout do konstrukce čerpadla a chladiče
	Opotřebením	Konstrukce, Volba materiálů	Vývoj technologických postupů na zvýšení odolnosti
	Kontrola funkčnosti	Tribodiagnostika	Výzkum tření a opotřebením
	Ostatní (např. hluk)	Konstrukce, speciální řešení	

Tabulka č. 1- Zaměření tribotechniky

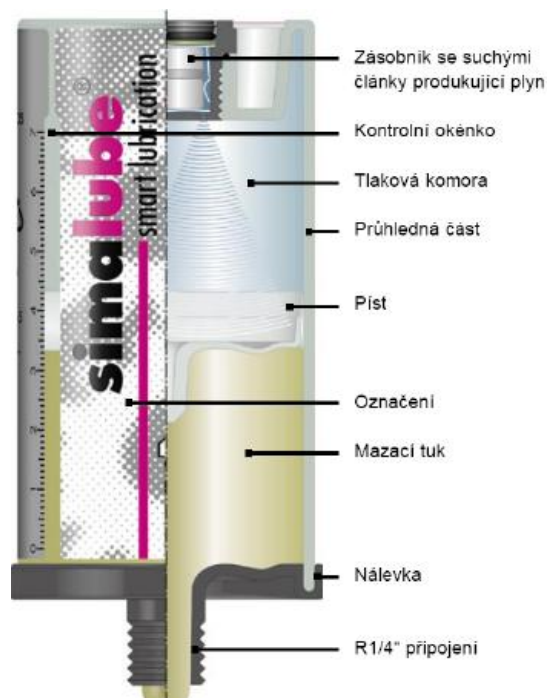
Při správném využití tribotechnického řešení, nejen že zabráníme poškození mechanického systému, ale toto řešení se pro nás stane výhodné také z hlediska ekonomického. Někdy totiž není pro provozovatele stroje finančně náročná samotná oprava, ale spíše prostoj stroje. Dále se snažíme o co nejnížší ztráty vlivem uložení (hřídel v ložiskách), snažíme se také snížit popř. úplně vynechat údržbu a také usilujeme o cenově nejvýhodnější řešení, např. ve volbě ložisek, maziva a podobně.

1.2 Vývoj v oblasti mazání

Modernizace tribotechniky spočívá převážně v modernizaci užitých materiálů a vývoji nových technologií jejich aplikace. Chceme-li od systému co nejmenší údržbu, snažíme se zvolit takové mazivo, aby vydrželo po celou dobu životnosti stroje. Samozřejmě bereme zřetel na ekonomické hledisko, protože zvolené mazivo může být násobně dražší než jiné i s výměnou a pracovní silou s tím spojenou. Od maziva jako takového chceme požadovanou lubrikační schopnost, u složitějších oběžných systémů i čisticí a chladičí. Maziva nesmí být více, než je předepsáno (vznik tepla u ložisek větším valivým odporem, porušení těsnosti), ani méně (špatné mazací vlastnosti).

1.2.1 Automatické maznice

Automatizace samozřejmě zasáhla i do oblasti tribotechniky. Ruční mazání strojů záviselo na jejich obsluze a jak známo lidský faktor stojí již za řadou selhání. Docházelo tedy často k přemazávání nebo k nedostatečnému mazání, vynechávání mazacího bodu, odstávkám strojů při špatné dostupnosti a nepravidelnému mazání. Po nepřesném manuálním mazání se začali používat spolehlivější pružinové maznice, které jsou ovlivněny množstvím maziva a také teplotou. Po nich, především díky rozvoji elektrotechniky, přišly elektrochemické maznice (vyvíječ plynu, jenž vytlačuje mazivo) a maznice elektromechanické (např. elektromotor). Jako příklad moderní maznice si uvedme patentovaný švýcarský výrobek: automatickou maznici Simalube, fungující na principu suchých článků produkujících plyn. (viz obrázek 1.1) Na maznici se nastaví intenzita mazání a následně ze suchých článků se uvolňuje plyn, jenž vytlačuje mazivo k mazanému místu.



Obrázek 1.2.1 - Automatická maznice [2]

Výkonnější maznice mohou mazat i více bodů. Tento systém byl doveden k dokonalosti vývojem tzv. Centrálních mazacích systémů.

1.2.2 Centrální mazací systém

Centrální mazací systém je systém, kde je proud maziva dopravován k více místům v požadovaném čase a tlaku. Ze zásobníku je pod tlakem mazivo dopravováno k rozdělovači, kde je dále vedeno v jednotlivých větvích, přičemž každá větev má vlastní regulaci tlaku a doby mazacího cyklu.

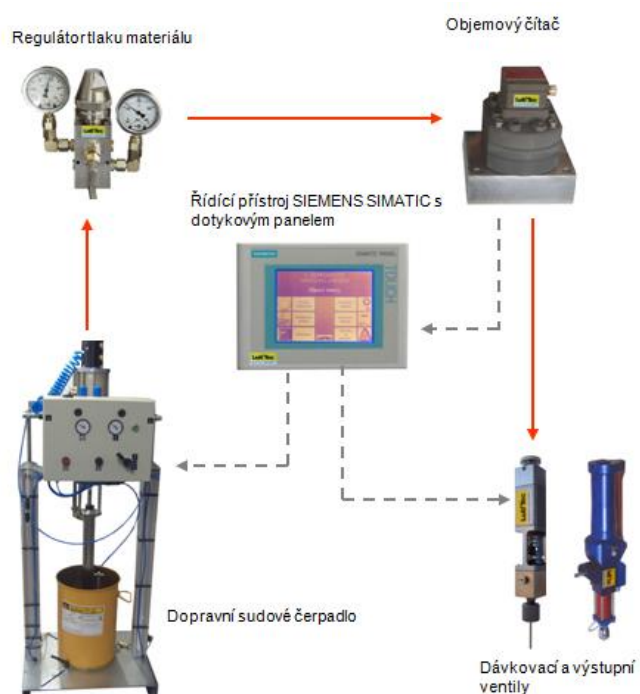
Mazací systémy mohou mít různé principy vedení a aplikace maziva. Mazivo může být dopravováno proudem vzduchu, přičemž proud vzduch nám působí příznivě, protože ochlazuje mazané místo a vlastním tlakem zabraňuje vnikání nečistot. Mazivo je díky tlaku dopravováno v drobných kapkách, což je samozřejmě úspornější. U převodových skříní či u mazání vodicích ploch je používána postřikovací metoda. Mazivo je do tlakového vzduchu přísáváno až v koncové trysce. Další z metod je metoda směšovací, ta má rovnoběžně dopravované mazivo, proto je vhodná pro uzavřené systémy. Mazivo je dávkováno do stlačeného vzduchu ve směšovači, kudy je směs vedena armaturami k mazanému místu. Zajímavá metoda je metoda, kdy je mazací médium podtlakově přísáno do vzduchu. Médium je v podobě olejové mlhy vedeno až k místu aplikace, kde se nachází kondenzační tryska. V kondenzační trysce (slouží jako dávkovač) se mlha vysráží v kapky, ty jsou tlakovým vzduchem přivedeny do mazaného místa. U uzavřených mazaných míst, musíme zajistit odchod přebytečné směsi.

Ukázka moderního mazacího systému na schématu od firmy Lubtec.

- **Čerpadlo** - doprava maziva.
- **Regulátor tlaku** – usměrnění tlaku na pracovní.
- **Objemový čítač** – měření množství látky.
- **Řídicí přístroj** – regulace na základě naměřených hodnot.
- **Výstupní ventil** – přesné dávkování média

Automatizované systémy jsou schopny správné funkce jen díky kontrolovatelnosti. Jsou vybaveny digitálními průtokoměry, snímači cyklu a řídicími jednotkami na vyhodnocování provozních dat. Řídicí jednotka může být vybavena dokonce GSM vysílačem, díky kterému informuje obsluhu o závadách.

Automatizovat lze i plnění zásobníků za pomoci automatických plničů, které se upevňují na nádobu (sud) s mazivem. Dochází tak k minimálnímu znečištění maziva při manipulaci.



Obr. 1.1 - Schéma centrálního mazacího systému [3]

1.2.3 Filtrace maziva

Čistota maziva je pro provoz stroje důležitým faktorem. Pouze čistý olej si uchovává svou mazací schopnost. Jednoduché filtry se do dnešní doby vyvinuly ve složitá filtrační zařízení, které zachycují usazeniny, nečistoty a vodu, to vše při ponechání olejových aditiv. Největší podíl nečistot nám vzniká při provozu stroje.

Mechanické nečistoty

Malé nečistoty nám ulpívají na stěnách a při delším hromadění mohou i zanášet jednotlivá zařízení. Velké nečistoty jsou nebezpečné pro přesná zařízení např. ventily. Při cirkulaci oleje systémem nám fungují tvrdé částičky nečistot jako brusivo a vzniká tzv. pískový efekt. Ten má za následek zvýšení počtu nečistot, kvůli rozrušování ploch. To vede k velkému množství poruch, protože aditiva nestíhají nečistoty pokrývat a tím je pro systém dělat méně škodlivými.

Znečištění vodou

Voda se do oleje dostane působením teplotních změn, které mají za následek kondenzaci. Dále o znečištění mluvíme jako o oxidaci oleje. Ta je díky příměsi vody až 10krát rychlejší. Oxidaci chápeme jako vznik nových vazeb v oleji, které jsou následkem změny jeho vlastností: vznik viskóznějších vměstků a tím usazenin, s následnou celkovou změnou viskozity oleje. Vměstky vedou k většímu zanášení filtru, přičemž zanesený filtr má za následek kolísání tlaku v systému. Vazby v oleji mohou tvořit kyseliny, které rozrušují součásti olejového systému.

Jednoduché filtry fungující na principu zachytávání nečistot ve struktuře filtračních materiálů (celulóza, skelná vlákna), které jsou především u složitých moderních mazacích systémů (viz výše zmiňované v bodě 1.2.2 Centrální mazací systémy) nahrazovány pracovanějšími filtračními zařízeními.

U filtrů dochází k rozvoji tzv. adsorpce. Metoda je určena pro filtraci nejmenších nečistot, hlavně olejových usazenin. Adsorpci si můžeme představit jako fyzikální nebo chemické vázání molekul na daný povrch. Adheze může být vyvolána elektrostaticky nebo přitažlivostí molekul. Materiál absorbentu se snažíme využít i jako obyčejný filtr k filtraci. Adsorpce je závislá na provozních podmínkách média, hlavně na rychlosti proudění oleje a teplotě.

Metoda je používána na větvích zapojených do systému při provozu mazací sítě, nebo při její odstávce tzv. off-line filtry, které jsou určeny pro hodně znečištěné a okysličené oleje. Off-line filtr funguje na principu přefiltrování oleje a následovně znovu zavedení do provozu.

Adhezivní filtr bývá zpravidla z celulózy. Např. u filtrů značky CJCTM má filtrační vložka 3 600 - 4 500 [g] celulózy. Při rozložení gramu celulózy na vlákno dostaneme plochu cca 13 000 [m²].

Konkurent adhezivnímu filtrování je elektrostatické odlučování. Metoda je funkční při nízkém průtoku média. Částice v oleji jsou elektricky nabitý a následovně zachyceny na opačně nabitým filtračním materiálem. Metoda je prozatím finančně nákladná a potýká se s problémy při větším obsahu vlhkosti v oleji

1.3 Vývoj v oblasti konstrukce ložisek

Za snížení tření a valivých odporů nemůže jenom mazivo, proto inovace nastala i v konstrukci ložisek. Inovace byly možné hlavně kvůli vývoji nových materiálů a výrobních operací.

1.3.1 Inovace kuličkových ložisek

I obyčejné kuličkové ložisko se dočkalo řady vylepšení, díky kterým šetří náklady na provoz. Jako příklad uvedu jednořadé radiální ložisko firmy NKE. Jeho nové dokonalejší mazivo v ložisku může prodloužit dobu použitelnosti, snížit hlučnost a také snížit rozběhový moment. Mazivo je určeno pro teploty $-50 - 150[^\circ\text{C}]$ a je na celou dobu životnosti ložiska. Kuličky v ložisku jsou podrobeny přísným kontrolám jakosti. Valivá dráha ložiska má dokonalejší úpravu povrchu a ta má za následek menší opotřebení. Mazivo je v kuličkovém ložisku utěsněno integrovaným labyrintovým těsněním se zdvojenou manžetou.



Obr. 1.2 - Inovované kuličkové ložisko[4]

1.3.2 Kombinovaná ložiska

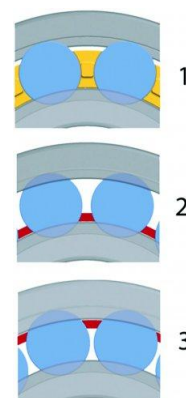
Vzhledem ke konstrukčním řešením může nastat problém s velikostí místa, proto byla vyvinuta speciální kombinovaná ložiska. Jsou zde využity výhody válečkových, soudečkových či jehličkových ložisek na zachycování velkých radiálních sil v kombinaci s axiálními ložisky kuličkovými a válečkovými. Kombinovat můžeme i kluzná ložiska s valivými, kombinací je mnoho, vždy závisí na řešeném problému. Využití je vidět na ložisku SLB, kde dochází ke kombinaci kluzného a valivého ložiska. Kluzné ložisko slouží pro naklopení dvouřadého válečkového ložiska při velkých průhybech, kdy rozsah běžných naklápěcích ložisek není dostačující. Cena ložiska je vyšší, proto je jeho použití otázkou konstrukce s ohledem na ekonomickou hodnotu.



Obr. 1.3 - Kombinované ložisko [5]

1.3.3 Inovace soudečkových ložisek

S ohledem na uspořené místo a zvětšení únosnosti byly inovovány i soudečková ložiska jmenovitě firmou SKF. Klec ložiska byla posunuta ze středu valivých elementů, k vnějšímu (označení JA) nebo vnitřnímu kroužku (označení JB). Tímto řešením jsme získali více místa, přiblížili jsme se k ložisku s plným počtem valivých těles, tím se zvýšila únosnost, ale přesto jsme si ponechali výhody klece, které jsou v zabránění prokluzu mezi valivými tělesy a v jejich dotyku. Ložiska SKF Explorer dosáhla zvýšené trvanlivosti oproti obyčejným ložiskům s klecí (o 43%) či ložiskům s plným počtem valivých těles (o 35%). Další výhodou posunuté klece je zlepšení průtoku maziva. Takto upravená ložiska se používají převážně u převodovek větrných elektráren, kde je požadavek na ušetření místa i zvýšení únosnosti.



Obr. 1.4 - Posun klece ložiska [6]

1.3.4 Inovace magnetických ložisek

Rozvoj zaznamenaly, ze speciálních ložisek, také ložiska magnetická, která díky rozvoji výpočetní techniky mohou přenášet větší výkony než dříve. Princip těchto magnetických radiálních ložisek je na principu elektromotoru. Stator těchto ložisek tvoří 8 pólů (cívek – průchodem proudu vzniká magnetické pole) a každá dvojice má svoji vlastní ovládací jednotku. Rotor je sestaven z masivu nebo plechů z feromagnetického materiálu. Únosnost je dána počtem pólů, jejich výkonem a dalšími faktory ovlivňujícími sílu magnetického pole. Problematikou magnetických ložisek se zabývá firma Revolve Magnetic Bearings Inc., která se zabývá elektromagnetickými ložisky se schopností regulace pohybu hřídele za pomoci proměnného magnetického pole. Pro řízení polohy hřídele musíme mít snímače polohy (indukční). Dochází k eliminaci tření, ale ložiska jsou dražší.

1.3.5 Dělená ložiska

V moderních aplikacích se také více setkáme s dělenými ložisky, ty jsou díky moderním metodám výroby finančně dostupnější. Jejich největší výhodou je však snadná údržba, kontrolovatelnost a montáž na špatně dostupná místa. U větších hřídelí není k jejich výměně potřeba manipulace. Velké ložisko je snadno manipulovatelné při montáži a dopravě, a to díky své rozložitelnosti. Hlavní ekonomický přínos těchto ložisek je v rychlé údržbě, která značně zkracuje prostoje. Výhodou jsou i jejich dobré těsnicí vlastnosti. V předchozích letech se kvůli vyšší ceně a horší těsnosti však používaly méně.



Obr. 1.5 - Dělené ložisko [7]

1.4 Vývoj v oblasti materiálů

Konstrukci ložisek zásadně ovlivnily objevy nových materiálů. Maziva se obohatila o nová aditiva nebo se skládají z nových látek. Zlepšení vlastností plastů mělo za následek jejich integraci do konstrukce ložisek, kde je využito jejich výhod. Vynalezené nové kompozitní materiály s výhodnými vlastnostmi také nahradily mnohé slitiny.

1.4.1 Vysokoporézní polymer

Díky vývoji v oblasti plastických hmot můžeme kombinovat výhody plastického vysoce porézního polymeru, s potřebou mazání valivých ložisek. Příkladem této metody jsou ložiska výrobce SKF s mazáním Solid Oil. V pórech polymeru je zachyceno mazivo, které se postupně uvolňuje a dochází tak k rovnoměrnému mazání elementů ložiska. Systém Solid Oil reaguje na teplotní změny.

Teplotní roztažnost oleje je větší než polymeru, proto při zvýšení teploty je olej vylučován na povrch polymeru. Po zastavení chodu se olej vrací zpět do polymeru. V ložisku je až čtyřikrát více oleje (náplň je na celou dobu životnosti), než u běžných



Obr. 1.6 - Ložiska Solid Oil [8]

plastických maziv, protože vyplňuje celý vnitřek ložiska. To má za následek i zabraňování vniknutí nečistot. Vzhledem k úschově maziva v polymeru není třeba těsnění. Metoda má však několik omezení: je vhodná jen pro válečková a kuličková ložiska, polymer není chemicky odolný vůči některým látkám, trvalá provozní teplota ložiska je do 85[°C] a minimální rozběhová do -40[°C].

1.4.2 Keramika

Dalším prvkem integrací funkcí jsou izolovaná ložiska. Využívá se zde keramiky. Ložiska vznikly pro elektrická kolejová vozidla, u kterých, vlivem působení olejového čerpadla a usměrňovačů, se na valivých ložiskách čerpadla vyskytovaly nepřipustné proudy. K řešení problému nabídla společnost NKE svoje ložiska pro hybridní vozidla. Valivá tělesa jsou vyrobena z keramiky, pro jistotu je ještě vnější kroužek izolován oxidovou



Obr. 1.7 - Izolovaná ložiska[9]

keramickou izolací. Izolace odolává 1000[V] proudu stejnosměrného nebo střídavého napětí. Tyto ložiska mají široké využití v elektrických systémech, kde je potřeba systém izolovat.

1.4.3 Kompozitní materiály

Novinky se nevyhnuly ani kluzným ložiskům, převážně kvůli kompozitním materiálům. Nová kluzná ložiska vyvinula firma GGB, jejichž materiálem je kompozit s vinutými vlákny GAR-MAX spojenými pryskyřičným pojivem se samomaznými přísadami. Jejich hlavní výhodou je, že jsou bezúdržbová a jsou vhodná pro náročné podmínky. Při nepotřebě údržby se ušetří finance za prostoj při údržbě. Povrch tvoří kluzný PTFE, ložisko je dále opatřeno i vlastním těsněním, proti vnikání nečistot. Odolávají zatížení až 620 [MPa], jsou rozměrově stálá, mají minimální opotřebení a jsou odolná proti rázům.

Toto ložisko ušetří 390 euro za pět let provozu oproti mazanému ocelovému ložisku. Z toho 280 euro na výměnu ložiska včetně práce a 110 euro za ztráty vzniklé prostojem.



Obr. 1.8 - Kluzné ložisko z kompozitních materiálů [10]

1.5 Vývoj v oblasti tribodiagnostiky

Diagnostikování tribotechniky tzv. tribodiagnostika se dělí na dvě základní části, na diagnostiku strojů a diagnostiku mazacích médií.

Tribodiagnostika strojů je diagnostika bez nutnosti rozebírání kontrolovaného systému, která monitoruje stav stroje (funkčnost, opotřebení). U složitých zařízení je zabudována z důvodu předcházení poškození. U ostatních přístrojů je dělána v časových intervalech, ty závisejí na provozních hodinách nebo na čase. Výsledkem této diagnostiky jsou data o opotřebení, získaná hlavně z výskytu mechanických a feromagnetických částí.

Tribodiagnostika maziv se zabývá jejich vlastnostmi. Jak již bylo řečeno, olej mění své vlastnosti v závislosti na znečištění. Odebere se tedy vzorek maziva, ten se poté podrobuje ve specializovaných laboratořích zkouškám. Zjišťují se hlavně hodnoty, které vyjadřují vztah mezi degradací oleje a změnou jeho vlastností. Většinou se měří nečistoty a obsah vody, množství otěrových částic, bod vzplanutí, číslo kyselosti, obsah oxidačních prvků, stupně degradace (oxidační, termická) a viskozita při 40[°C].

Oba výše zmíněné obory spolu souvisejí, proto se při odhalování závad porovnává kvalita maziva po opotřebení.

Abychom mohli zajistit funkčnost maziva, musíme znát jeho stav. Oběhové mazání prochází celým mechanismem, proto má využití i jako čisticí. My musíme poznat, kdy je natolik zaneseno, aby došlo k jeho výměně či filtraci. U cenově nákladnějších strojů či strojů pro výrobu nenahraditelných výrobků se vyskytuje několik snímačů přímo integrovaných. Snímače nám neinformují jenom stav oleje, ale i závady na součástkách, vzhledem k velmi častému rotačnímu pohybu se jedná především o ložiska. Diagnostik stroje může při lehkém náznaku poruchy informovat management, který ve spolupráci s ním naplánuje ekonomicky vhodnou odstávku stroje pro údržbu.

1.5.1 Moderní senzory

Senzory pro zjišťování znečištění maziva u cirkulačních systémů jsou stacionární pro kontinuální měření (na principu světelné závery). Princip spočívá v prozařování kapaliny monochromatickým zářením, to je na principu laseru u nejpřesnějších senzorů. Běžné senzory pracují pouze s infračerveným zářením. Naproti zdroji je snímač, přítomnost nečistot vede k blokadě záření, což je podle doby generováno na puls. Podle doby a počtu těchto pulsů se určuje velikost nečistot a jejich výskyt v mazivu. Na display přístroje se nám ukazuje třída čistoty oleje. Hodnotu ze snímače získáváme přes rozhraní RS 485 a RS 232. Jestli snímač signalizuje jen mezní stav, senzor je vybaven pouze binárními výstupy. U laserových přístrojů jsme schopni zjistit absolutní počet nečistot.

Přibližné parametry senzorů: průtok 30-300 [cm³/min], tlak v systému kolem 30[bar] a maximální tlak 350[bar]. Přístroje mohou být součástí mazacího systému, nebo připojeny jen při kontrole.

Pro mechanismy v hrubším strojním průmyslu využíváme znalost magnetické indukce, protože nebezpečné pro takové mechanismy jsou právě kovové nečistoty. Za tímto účelem vznikly tzv. senzory kovového znečištění, jak název napovídá senzor nepovažuje neferomagnetické vměstky a vodu za nečistoty. Princip využívá několika (zpravidla 3) cívek za sebou, jejichž indukce se mění v závislosti na průchodu kovových částic. Senzor je v provozu přizpůsoben použití, cívky



Obr. 1.9 – Magnetický senzor znečištění [11]

jsou odrušeny v hliníkovém tělese, které se přímo montuje na výtlak čerpadla. Senzor má použitelnost do 20[bar] a rozsahu průtoku 10-200 [l/min], pracuje v teplotách -40 – 80[°C], nejmenší registrované částice senzorem jsou feromagnetické částice velikosti 200[μm] a neferomagnetické kovové velikosti 400[μm] s vzorkovací frekvencí až 100 částic/s.

1.5.2 Integrace snímačů

Při konstrukci ložiskových těles se vždy muselo počítat s odměrnými místy pro diagnostiku. Při nízké ceně elektroniky a její velikosti se měřiče přímo integrují do ložiskového tělesa. Tato inovace má výhody především ve zlepšení přesnosti, vzhledem k upevnění senzoru a stínění samotným materiálem ložiskového tělesa. V ložiskovém tělesu je zabudovaný i plošný spoj, který zpracovává signály z čidel a zesiluje je. Následně jsou signály posílány na konektory v přední části tělesa, ke kterým je připojen monitorovací systém. Na jednotlivé konektory jsou přivedeny dané informace o měřených veličinách (teplota, vibrace a otáčky). Výrobce těchto těles je firma SKF, těleso se jmenuje Smart Housing. První konektor přenáší informace o otáčkách a teplotě a druhé dva vibrační signály, ty jsou axiální či radiální, dle měření.

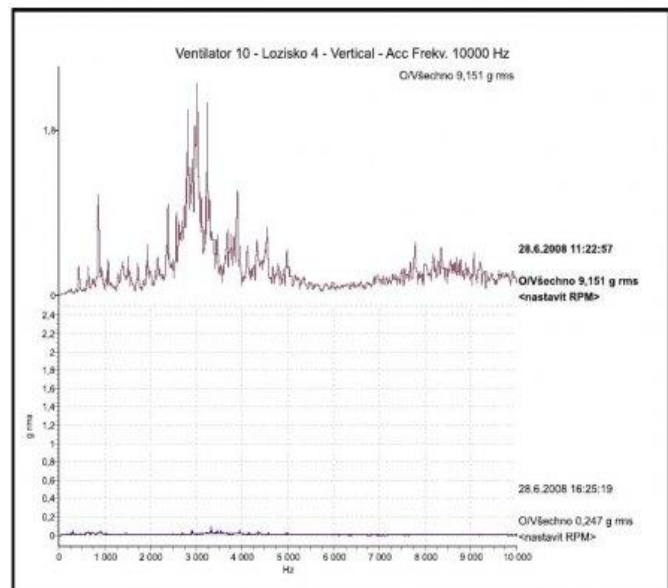


Smart Housing Z DST SNL 518 with two output connectors

Obr. 1.10 - Ložiskové těleso s integrovanými snímači [12]

Do ložisek se integrují i jiná měřicí zařízení důležitá pro provoz daného stroje. Jedním z nich je i snímač polohy natočení tzv. rotační snímač, uplatňující se u obráběcích, měřicích, kontrolních strojů či motorů automobilů. Snažíme se o jeho umístění co nejbližší pohonu, pro zvýšení tuhosti a tím odstranění rezonance. Nejrozšířenější jsou magnetické, protože konstruktérům se podařilo minimalizovat počet součástek o polovinu.

Díky těmto sensorům můžeme sestavit tzv. vibrodiagnostiku, která je nejlepším nástrojem pro rychlé diagnostikování ložisek za provozu. Nevyváženost hřídele nebo vada v ložisku generuje při rotaci vibrace, které jsou zachycovány snímači, a dále zpracovávány v počítači do přehledného grafu (viz. obr. 1.11). Na obrázku je vidět, v horní polovině nevyváženost rotoru ventilátoru, tím jsou generovány zvýšené vibrace, které dosahují maxima při rezonanci systému (v krajních případech může dojít až k destrukci prvků), a ve spodní části obrázku se nachází již vyvážený rotor, je zde vidět přijatelný rozsah vibrací, které vznikají i za správného chodu vyváženého ventilátoru.



Obr. 1.11 - Graf vibrodiagnostiky [13]

1.5.3 Moderní spektrometry

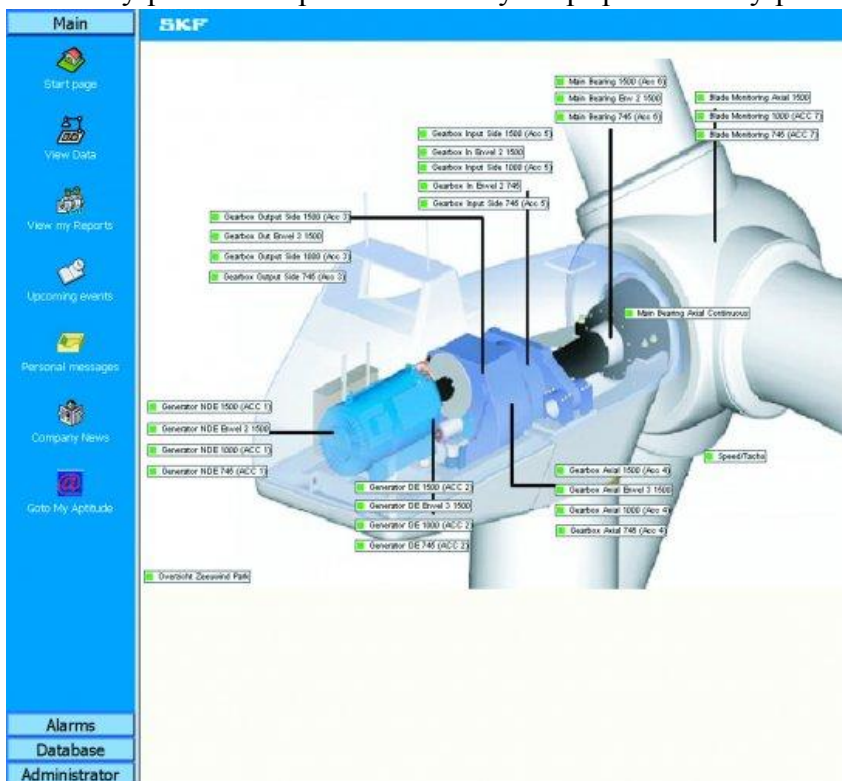
Detailnější chemická analýza se provádí v laboratořích za pomoci speciálních přístrojů. Využívá se například spektroskopie (atomová emisní, atomová absorpční nebo rentgenová fluorescenční). Jedním z moderních spektrometrů je spektrometr FT IR TruDefender od firmy Ahura Scientific. Spektrometr má velikost malé knížky a je snadno obsluhovatelný. Tím se z analýzy stává velmi snadné a rychlé měření. Spektrometr funguje na principu pevně-látkového laseru a speciálního detektoru a nepotřebuje ani žádný předehřívací čas, díky novému konstrukčnímu řešení přípravku pro reprodukovatelné přitlačení vzorku. Přístroj je velmi odolný, vyhovuje vojenským normám MIL 810F. Vzhledem k rozměrům podobným starším mobilním telefonům je vysoce mobilní a ze složitého laboratorního měření se tak stává přesná mobilní metoda do provozu.



Obr. 1.12 - Přenosný spektrometr [14]

1.5.4 Software pro diagnostiku

Rozvoj počítačů vedl i k rozvoji softwaru pro účely tribotechniky. Samozřejmě se používá u zařízení ve vyšší cenové relaci nebo u zařízení důležitých pro chod celku (turbíny, atd.). Jako příklad si uveďme software SKF WindCon, pro bezdemontážní diagnostiku pro větrné elektrárny. CAN sběrnice nám sjednocuje měřené provozní parametry větrné elektrárny, jakožto hodnoty z centrálního mazacího systému, měřiče klepání, monitorování lopatek, otáčky rotoru aj., a softwarové hodnoty převádí do přehledné formy. V případě závady podá varovné hlášení a tak snadno odhalíme např.: stav ložiska, rezonanci v systému, průhyby, nevyvážené lopatky, poškození ozubených kol, závadu elektrotechniky či problém s mazáním. Kvůli tomuto systému můžeme přesně plánovat údržbu, aniž bychom museli opustit monitorovací místnost. Přínos programu je i v uchování dat, ty jsou pro nás směrodatná při odhalování příčiny závady. Program je schopný monitorovat více větrných elektráren, což by bylo za normálních podmínek složité i kvůli jejich dostupnosti. Šetří náklady za pracovní sílu a předchází závadám mechanismu.



Obr. 1.13 - Monitorování funkce větrné elektrárny [15]

1.6 Olejová Aditiva

Jsou to přídavné látky (příměsi) zlepšující vlastnosti maziv, kterých by samotné mazivo těžko dosahovalo. Aditiva jsou volena dle použití daného oleje, jejich podíl v mazivu může být až kolem 30%. Oleje tak mohou vymezovat vůle, eliminovat škodlivý vliv nečistot, mít větší životnost díky oxidační stabilitě a další příznivé vlastnosti.

Výzkum aditiv byl zahájen ve 30. letech 20. století a jednalo se o chlórové přísady. Při druhé světové válce se zájem o aditiva značně zvýšil. Důvod je zřejmý z letecké bitvy o Anglii, kde díky aditivaci leteckého oleje siričkem molybdeničitým, byl letoun s poškozeným mazáním schopen návratu na základnu.

Aditiva se přidávají do oleje při samotné výrobě (tzv. výrobní aditiva), z důvodu dosažení daných norem, které olej musí splňovat. Další aditiva tzv. komerční aditiva se přidávají do maziv samotným uživatelem za účelem zlepšení některých parametrů a pro zlepšení funkce systému. Při tomto zlepšení uživatel musí vzít potaz vzájemnou spolupráci aditiv, protože při jejím narušení může dojít až k rozpadu oleje jako mazacího média.

Rozdělení dle funkce:

1.6.1 Modifikátory tření

Jsou to látky snižující tření. Jedná se o polární sloučeniny, ty se jedním koncem naváží na kovový povrch a druhý konec je vázán s olejem. U grafitu se jedná o destičky naskládané na sebe, které zlepšují tření vlivem posuvu po sobě.

- Látky používány jako modifikátory tření: estery, mastné kyseliny a některé pevné materiály (Nitrid bóru, Polytetrafluorethylen, Grafit, Molybden disulfid...)

1.6.2 Přísady proti opotřebení

Tyto látky zabraňují kontaktu povrchů třecí dvojice. Na nerovném povrchu vytvoří film, který se stane kluznou plochou. Při pohybu nerovností po sobě vzniká v lokálních bodech teplota, ta je potřeba ke vzniku penetrantní chemisorpce. Látka zaběhne do mezikrystalických prostor, kde vytváří zpevněnou třecí plochu. Tyto přísady jsou většinou na bázi fosforu či zinku. Používají se pro méně namáhané součásti např. automobilové motory.

- Látky používány jako přísady proti opotřebení: zinek dithiofosfát (ZDP), zinek dialkyldithiofosfát (ZDDP), Tricreyl fosfát (TCP), Kyselina stearová...

1.6.3 Přísady pro extrémní tlaky

Jejich funkce je stejná jako u přísad proti opotřebení, ale musí odolávat vysokým tlakům. Použití je hlavně u převodových olejů, kde se setkáme s extrémními tlaky i s velkým rozsahem provozních teplot. Na povrchu v mikro nerovnostech, dochází ke zvýšení teploty až na cca 1000[°C], proto se využívá síry a fosforu. Obě látky se aktivují vysokou teplotou a na povrchu vytvoří soli, které pokryjí tento lokální extrém jako kluzná vrstva. Nevýhodou je vznik kyselin, které způsobují korozi, hlavně u měděných slitin.

- Látky používány jako přísady pro extrémní tlaky: sířené tuky, molybdenové sloučeniny, polymerní estery, zinek dialkyldithiofosfát (ZDDP)...

1.6.4 Inhibitory koroze

Je to látka zabraňující nebo zmírňující korozi systému. Povrch pokryjí filmem, jenž zabraňuje látkám způsobující korozi kontakt s povrchem.

- Látky používány jako inhibitory koroze: zásadité sloučeniny, estery, organické kyseliny...

1.6.5 Antioxidanty

Přidávají se do oleje pro zlepšení ochrany oleje před oxidací, ta má za následek změnu vlastností oleje (viskozita) nebo tvorbu kalů. Oxidaci inicializují vysoké provozní teploty, kontakt s odpadními produkty, nečistoty z opotřebení fungující jako katalyzátor. Antioxidanty mají funkci opačnou tj. ukončovat reakce radikálů, omezovat vznik nežádoucích látek a tím zpomalit stárnutí oleje.

- Látky používány jako antioxidanty: aromatické sirníky, alkyl sulfidy, zinek dithiofosfát...

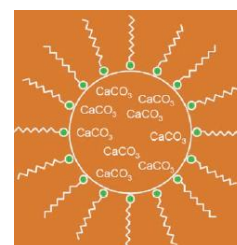
1.6.6 Detergenty a disperzanty

Každá z těchto látek má jiný úkol, ale jsou uváděna společně, kvůli funkci udržování čistoty. Pokud jsme zabránili oxidaci je nutné se vypořádat s nečistotami vzniklými provozem.

Detergenty

Mají v oleji podobnou funkci jako čisticí prostředky. Odstraňují usazeniny, kaly aj. z kovových povrchů. Neutralizují kyseliny a tvoří film zabraňující opětovnému usazení nečistot. Také se pokouší rozpustit v oleji málo mísitelné látky tzv. solubizace.

- Látky používány jako detergenty: sulfonáty, prvky kovů alkalických zemin tj. hořčík, sodík, vápník...



Disperzanty

Obr. 1.14 – Struktura detergentu [16]

Jsou to molekuly s jedním polárním koncem. Ten se přichytí k nečistotě, tak aby se nemohla dále shlukovat. Druhý konec je dokonale rozpustný v oleji. Takto zakonzervované mikročástice v oleji díky svým rozměrům neškodí.

- Látky používány jako disperzanty: dlouhé řetězce uhlovodíků...

1.6.7 Přísady zlepšující bod tuhnutí (depresanty)

Bod tuhnutí je teplota, při které se přestává olej pohybovat. Tento bod je závislý na množství parafinu v oleji, ten se při nižších teplotách snaží oddělit, tímto může zabránit proudění oleje. Parafin je v olejích ponecháván pro dosažení požadované viskozity.

- Látky používány jako přísady zlepšující bod tuhnutí: kopolymer polyalkyl metakrylátů

1.6.8 Modifikátory viskózního indexu

Viskozita olejů je závislá na teplotě, roste při nízkých a klesá při vysokých teplotách. Modifikátory viskozity jsou dlouhé řetězce molekul, ty při nízkých teplotách kladou minimální odpor, který se se vzrůstající teplotou zvyšuje (molekuly se staví, aby byly v jakési síti), aby olej měl potřebnou viskozitu. Tato technologie umožňuje výrobu multigrádních olejů, splňující požadavky více viskózních tříd.

- Látky používány jako modifikátory viskózního indexu jsou polymetalkryláty, olefinické kopolymery...

1.6.9 Příspěvy zamezující pění

Látky snižují povrchové napětí oleje, aby nedocházelo k tvorbě pěny na povrchu oleje nebo vzduchových bublin. Vzduch v oleji podporuje oxidaci a může dojít k jeho nasátí do mazací soustavy místo oleje.

- Látka používána jako přísada zamezující pění: dimethylsilikon atd.

Pozn: Při volbě látky fungující jako aditivum musíme vzít v potaz i její negativní účinky. Např. zinkdialkylditiofosfátu je v motorovém oleji 0,1%-0,2%, protože zvýšený obsah zinku u spalovacích motorů má za následek tvorbu úsad na dílech motoru (trysky, svíčky).

U halogenderivátů (chlórové uhlovodíky a fluorové uhlovodíky) vznikají při správné funkci chlórové soli. Bohužel soli nejsou stabilní, rozpadají se a tvoří kyselinu chlorovodíkovou. Kyselina znehodnocuje olej a rozpouští tenkou vrstvu povrchu, tím dochází ke změnám vůli a postupné destrukci mechanismu.

Příspěvy obsahující částice na bázi mědi, stříbra, olova, keramických materiálů a teflonu, jsou brány jako pokusy. Není zde jako u uhlovodíkových vazeb s atomem kyslíku zajištěno trvalému přilnutí k povrchu tzv. procesu permanentní difúze. Samotný teflon se na čistý povrch nanáší ve vakuu za vysoké teploty, těžko si představit jak tento jev nastává v provozu.

1.7 Příklady některých komerčních aditiv:

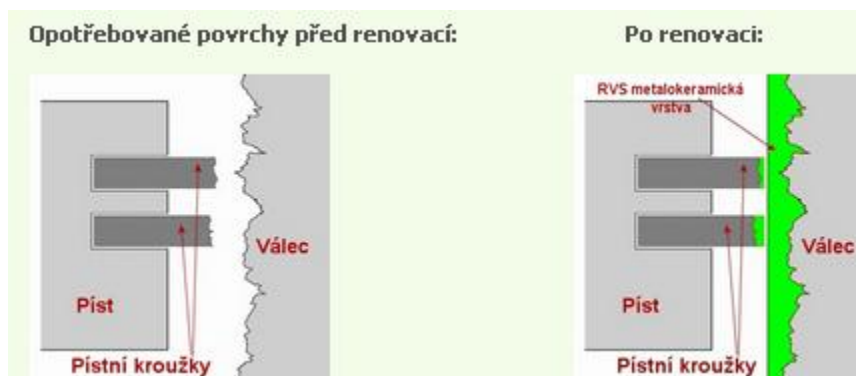
1.7.1 Technologie RVS Master

Tato technologie využívá mazivo jakožto nositel nanotechnologických aditiv, které zlepšují třecí povrch. Aditiva jsou disperzní směsi minerálů, katalyzátorů a dalších přísad. Při kontaktu mikroskopických výstupků dvou povrchů vzniká teplo, to má za následek rychlejší degradaci oleje a tím znehodnocení celé mazací soustavy. Při pohybu povrchů se výstupky o sebe třou a opotřebovávají, vzniklé nečistoty ulpívají v olejovém filmu. V místech dotyku vznikají teploty cca 1000[°C], tyto teploty podporují reakce mezi RVS směsí a materiálem daného povrchu, výsledkem je vznik kovově-keramické vrstvy, která je spojena fyzikálními a chemickými reakcemi. Proces její tvorby je automaticky ukončen snížením třením a tím i snížením teploty, jenž je pro tvorbu nutná. Nová vrstva zvětší předešlý materiál, má až několik desítek mikrometrů a mnohem lepší třecí vlastnosti. Metoda může být použita jako závěrečná technologická operace nebo pro renovaci třecích ploch mechanismů (ložiska,

čerpadla, převodovky, motory). Při této renovaci nemusíme demontovat jednotlivé členy, což je nespornou výhodou.

Výhody:

- Snížení tření (opotřebení)
- Snížení teploty mezi povrchy
- Tvrdost 63-70 HRC
- Ekologická nezávadnost
- Mazivo není chemicky ovlivněno
- Neměnná viskozita oleje
- Tepelná odolnost keramiky
- Ochrana materiálu před korozí i za působení kyselin a hydroxidů
- Ekonomické úspory vlivem zvýšení životnosti a nenutnosti odstávky mechanismu



Obr. 1.15 – technologie RVS [17]

1.7.2 CERATEC

CERATEC je suspenze keramického tuhého maziva na základě hexagonálních nitridů boru a dalších látek v minerálním oleji. Keramická přísada je teplotně a mechanicky stabilní, což je záruka klidného a bezhlučného chodu motoru i pro extrémní podmínky.

Tento přípravek se přidává do olejů u spalovacích motorů. Vlivem tření dochází k opotřebování, což je patrné při pohledu na olejový filtr extrémně namáhaného motoru. První fáze přípravku je chemická, tzv. „třecí modifikátor“ se chemicky naváže na povrch. Vrcholky se již o sebe nepoškozují, jsou zahlazeny. Další fáze vyrovná nerovnosti povrchu vyplněním mezer. Nerovnosti jsou vyrovnány díky obsahu molybdendisulfidu (pevná mazací látka) a mikrokeramických částic. Na povrchu tímto zásahem dochází k zušlechtění a snížení třecího odporu.

1.8 Nanotechnologie

Nanotechnologie je technický obor, zabývající se technologiemi v měřítku nanometrů (cca 1-100nm). Zkoumá strukturu a vlastnosti atomů daných látek. Na její význam poukázal již v roce 1959 Richard Feynman ve své přednášce „Tam dole je spousta místa“. Tento obor byl před lety pouze vizí, která nyní díky inovacím v nauce o materiálech umožňuje

dokonalejší využití materiálů. Dnes má široké uplatnění v medicíně, elektrotechnice, tribotechnice, metalurgii a dokonce i v textilním průmyslu.

Základní pojmy v nanotechnologii:

Nanočástice – je to útvar o velikosti 1-100 nm, dále se dělí podle způsobu výroby na:

- „up-to down“ (shora dolů) – obrušování, mletí, ... Vznikají amorfnní částice.
- „bottom-up“ (zespodu nahoru) – výroba synteticky z plynů, mikrovlnných částic, aerosolů, ... Vznikají nanotrubičky a fullereny (kulovité útvary podobné kopulím architekta Fullera), právě tyto struktury mají pro nás vhodné vlastnosti

Nanostruktura - jedná se o fullereny s jiným než uhlíkovým základem.

Jejich výhodou je lepší chování při vysokém zatížení, oproti grafitu či MoS₂. Používají se jako přísady do tekutých a tuhých maziv i jako mazací laky. Bývají na bázi C, MoS₂, WS₂... Nanostruktury na jiném než uhlíkovém základě objevily na Weizmannově vědeckém institutu v Izraeli, jsou to anorganické sloučeniny (známé pod zkratkou IF = Inorganic Fullerene). Nanočástice mají strukturu vnořených nanosfér, vyrábějí se ve fluidních reaktorech.

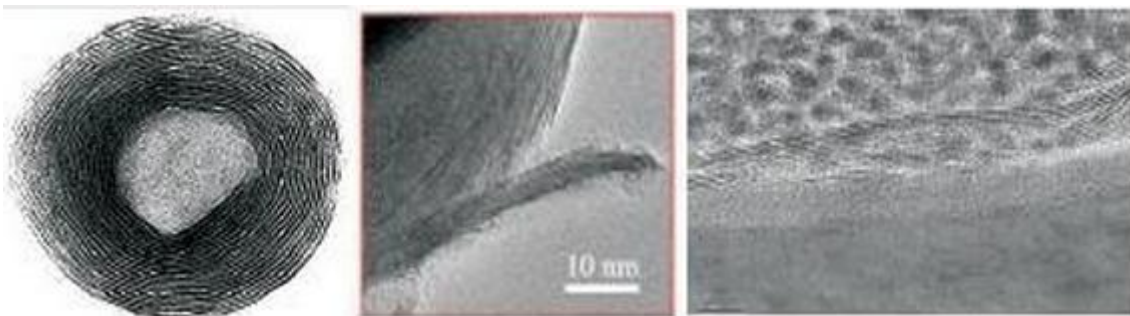
Pro mazání a oddělení třecích ploch u fullereny se uplatňují mechanismy

1. Rotování kulových nanočástic mezi mikroreliefy kluzných ploch
2. Odlupování horních vrstev nanočástic a jejich přilínání ke kluzné ploše (tribo-film)

Užitečné vlastnosti nanostruktur :

- Chemická stabilita, tvorba tribo-filmu = ochrana před korozi
- Velká funkční plocha na jednotku hmotnosti oproti konvenčním mazivům
- Nízký koeficient tření
- Pevnost a odolnost proti rázům

Tvorba tribo-filmu díky nanotechnologii je dobře patrná z obrázku, kde vidíme vnořenou nanostrukturu, z které se postupně odlupuje vrstva, která uplývá na povrchu a tvoří film.



Obr. 1.16 – nanostruktury [18]

2 Aplikační příklad využití tribologických zásad

2.1 Integrované hnací ústrojí v kole vozidla

Z názvu vyplívá, že se jedná o konstrukční řešení pohonu a to za účelem šetření místa a také hmotnosti. Tohoto řešení můžeme využít pouze u elektromotorů, především díky jejich rozměrům při zachování požadovaného výkonu a to pouze u silničních vozidel, vzhledem k velikosti vnitřního prostoru kola. Automobil již nepotřebuje místo pro převodovku, diferenciál, poloosy ani tlumiče a i odpružení vozu je součástí kola. Další nespornou výhodou je šetření času při montáži, kde je "kolo" snadno montážními roboty připevňováno ke karoserii. Snadno tak lze udělat automobil s pohonem 2x2 či 4x4. Vývoje tohoto vynálezu se ujaly dvě společnosti Siemens a Michelin, přičemž každá společnost vyvinula originální konstrukční řešení.

Active Wheel je výrobek společnosti Michelin. Je to vlastně základní kruhová deska (těhlice), na kterou jsou připevněny jednotlivé komponenty. K náboji kola je připevněno ozubené kolo, které je poháněno motorem připevněným k desce. Na této desce se ještě nachází aktivní tlumič, nastavovaný dalším elektromotorem, což má za úkol minimalizovat vyšší hmotnost neodpružených částí kola, samozřejmě kolo je odpruženo pružinami připevněnými k desce a k nápravě automobilu. Systém je samozřejmě opatřen ještě snímači (tachometr, ABS, ...).



Obr. 2.1 - Systém Active Wheel [19]

Active Wheel použitý u elektromobilu Heulez Will má tyto parametry: hmotnost celku 43[kg] z toho motor 7[kg], výkon motoru 30[kW]. Vyjádření výrobce k neodpružené hmotnosti je, že automobil má hmotnost 35[kg] (neodpruženou) na přední nápravě (hnaná) přičemž v porovnání s benzínovým vozem Renault Clio má 38[kg]. Renault Clio však není vybaven elektrickými tlumiči s reakcí 0,003 [s].

Parametry vozu:

- hmotnost, včetně lithium iontové baterie, 900[kg]
- výkon 82[hp]
- zrychlení 0-100[km/h] za 10[s]
- maximální rychlost 140[km]
- dojezd až 400[km]



Obr. 2.2 - Kolo Active Wheel [20]

eCorner je koncept firmy Siemens, který využívá válcového tvaru disku a rotoru, respektive statoru elektromotoru. Válcový tvar rotoru snadno kopíruje vnitřní tvar disku, proto si konstrukci můžeme představit jako kolo automobilu nasazené na elektromotor, který velikostí nikterak nepřesahuje rozměry kola a to je samozřejmě vybaveno i dalšími moderními technologiemi, jako je senzor v pneumatice pro kontrolu tlaku v pneumatikách. Uchycení kola k vozidlu má podobnou koncepci jako u Active Wheel. Řešení má již zcela elektronický brzdňý systém.

U obou řešení musíme brát v potaz výhody elektromotorů, jakožto zpětnou rekuperaci elektřiny při brzdění. Ovládání jednotlivých kol při různých situacích (přibrzdňování respektive akcelerace-ESP). I samotná konstrukce má v budoucnu výhody jak pro montáž, tak pro konstrukční řešení.

2.2 Aplikace tribotechniky

Z představení těchto konstrukčních řešení je vidět že se jedná o rotační mechanismus, proto zde bude použito ložisko. Při jeho volbě se musí dbát na tři základní druhy požadavků: funkční, ekonomické a speciální. Rozhodujeme, zda vybereme kluzné nebo valivé ložisko, jaká bude jeho konstrukce, materiál, mazání apod. Na začátku si představme výhody, respektive nevýhody valivých a kluzných ložisek.

Nevýhody kluzných ložisek:

u ložisek s kapalinným třením a s hydrodynamickým mazáním musí hřídel mít mezní rychlost, protože než jí ložisko dosáhne, pracuje v tzv. mezních stavech tření; kvůli těmto stavům mají také únosnost statickou i dynamickou menší; u mazání může docházet ke vzniku turbulentních proudění; náchylnost k zadření; při výměně ložiska musíme někdy i přebrousit čep, pokud není na hřídel čep pouze nalisovaný; nutnost dokonalého mazání; větší ztráty třením; vyžadují záběh.

Výhody kluzných ložisek:

snázejí rázová a dynamická zatížení; klidný tichý chod; tlumí vibrace; vhodné pro trvalý provoz; menší vnější průměr; bezhlučný chod; nárok na čistotu a údržbu; ložisko mazané aerodynamicky nebo aerostaticky má nejnižší ztráty třením; malé odstředivé síly; ložiska s velkou mazací vrstvou mají vysoký tlumicí účinek; nižší cena; přesné uložení hřídele.

Nevýhody valivých ložisek:

nevhodná pro rázová zatížení; drahá a složitá výroba; nižší tepelná odolnost; celkem špatně tlumí vibrace, proto bývají ukládána do speciálních objímek, které tyto vlastnosti mají; jsou hlučná; obtížnější montáž; mají větší průměr

Výhody valivých ložisek:

malá údržba; účinnost až 98%; jednoduchá výměna; lehká montáž; malý třecí moment; menší ztráty třením; malá spotřeba maziva; při nízkých teplotách je vhodnější použít valivá ložiska, protože dochází k tuhnutí maziva; velká únosnost při nízkých otáčkách.

Rozměry kluzného ložiska: průměr je menší než u valivého, ale bývají delší, délka kluzného ložiska $(0,25-1,2) \cdot$ průměr; délka valivého ložiska je $(0,25-0,75) \cdot$ průměr.

Aplikace tribologických zásad na kolomotor s ohledem na hlavní tři požadavky

- **Funkční** – Volba ložiska, aby plnilo svoji funkci.

Od ložiska kola automobilu chceme co nejmenší ztráty, malé rozměry, minimální údržbu, relativně malou hlučnost, minimální vibrace, únosnost vozu.

Ze soupisu výhod a nevýhod se bude jednat o ložisko valivé kuličkové s kosoúhlým stykem, vzhledem k jeho výhodám, pouze má menší útlum vibrací, o ty se postará odpružení vozu.

V neposlední řadě nesmíme zapomenout na montáž při výrobě nebo výměně ložiska. Důležité pro uložení ve valivých ložiskách je dodržení vůlí, přesná montáž, dodržení použití maziva dle výrobce, čisté montážní prostředí, správná poloha těsnicích kroužků, dodržení montážních postupů tj. správné natočení ložisek opatřených senzory a dodržení velikosti utahovacích momentů a lisovacích sil.

Pro vyvarování se chyb ve výše zmíněných zásadách při montáži konstruktéři vytvořili ložiskové jednotky. Ty nejenom že eliminují lidský faktor, ale i zlepšují některé ložiskové parametry např. únosnost.

- **Ekonomické** – Cenový aspekt řešení a budoucí investice do jeho provozu.

Valivé ložisko bude dražší, ale jeho náklady na provoz budou minimální. Menší tření v ložisku zajistí návratnost investic i v podobě ušetřeného paliva. Pro snadnou montáž bude využito výhod kolových ložiskových jednotek (snadná montáž, nulová údržba, šetření potřebných dílů). Mazivo bude tuhé, s životností na celou dobu životnosti jednotky. Tuk vytlačený z ložiska dále poslouží i jako těsnění do prašných prostředí.

- **Speciální** – Požadavky od individuální konstrukce nebo prostředí.

Předpokládáme provoz automobilu v běžných klimatických podmínkách na průměrných silnicích. Jedná se o elektromobil, proto nemusí být ložisková jednotka nikterak konstruována pro připojení poloos. Ložiska v jednotce chceme mít chráněna před nečistotami a únikem maziva. Těleso ložiska - vnější kroužek, nebude muset mít odměřovací body, kvůli špatné dostupnosti a rozsahu použití, ale pro ostatní využití na automobilu pro komfortní systémy a monitoring. Bude moc být vybaveno integrovanými čidly, např. pro funkci ABS (magnetický kroužek v těsnicím kroužku ložiska + snímač) nebo pro měření rychlosti.

2.3 Ložiskové jednotky

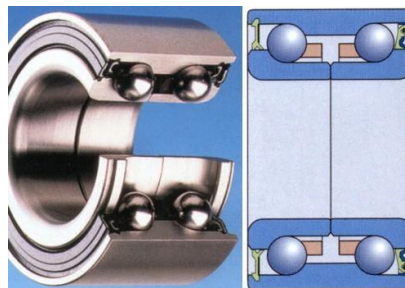
Uložení kol se řídí základními znalostmi z konstrukce. Hřídel je uložena na dvou kuželíkových ložiskách nebo na dvou kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem, která mají konstrukci takovou, aby úhel který svírají kuličky s oběžnou dráhou svíral s kolmicí 32°, a to kvůli lepšímu zachycování klopných momentů.

Novější automobily jsou již vybaveny nějakým druhem ložiskové jednotky. Tu si snadno můžeme představit. Je to ložisko s upravenými kroužky pro montáž. Snažíme se o podobné uložení jako na tuhé nápravě nákladního automobilu, která je uložena na mostě, aby ohyb od hmotnosti vozu byl přenášen na nápravu, zatímco je hřídel namáhána jenom krutem.

Ložiskové jednotky jsou od výrobce distribuovány jako sestavy, to má výhodu pro montáž, kde se nemusí vymezovat žádná vůle a nemusíme dbát na správné natočení snímaných prvků proti snímači. Mazivo uvnitř ložiskové jednotky je utěsněno, proto nedochází ke znečištění maziva při montáži, to by vedlo ke zvýšení opotřebení až zadření. Ve chvíli její poruchy dojde k její výměně za novou, tak dojde k výměně i ostatních elementů, které by při použití jednořadého ložiska byly po zkontrolování namontovány zpět, jakožto i druhé ložisko. Tento aspekt má výhodu ve zvýšení spolehlivosti uložení, ale i nevýhodu ve výměně funkčních prvků, ovšem při špatném posouzení funkčnosti prvku může dojít k nehodě, která bude mít za následek poničení celé soustavy. Všechny prvky ložiskové jednotky jsou navrhovány s podobnou životností, proto nejvyšší ekonomické ztráty vzniknou, pokud se porouchá jeden prvek dříve než je základní trvanlivost soustavy a činí tak celý mechanismus nefunkční.

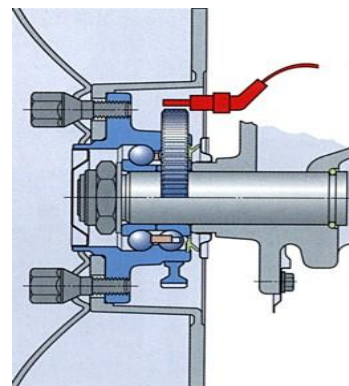
Přehled ložiskových jednotek:

- **Ložisková jednotka 1. generace:** Dvě kuličková ložiska s kosoúhlým stykem bývají nahrazena dvouřadým kuličkovým ložiskem, které má dělený vnitřní kroužek (dva vnitřní kroužky) pro zvětšení vnitřní únosnosti. Vnitřní kroužky po dotažení vymezují vůli. Jednotka má zabudované těsnicí kroužky a ložiska jsou naplněna mazivem s mazací schopností na celou životnost.



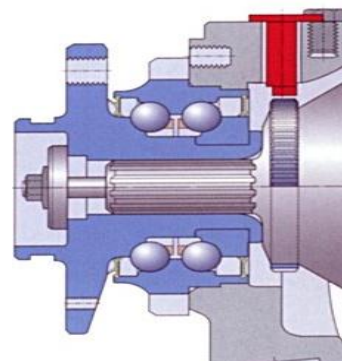
Obr. 2.3 - Ložisková jednotka první generace [21]

- **Ložisková jednotka 2. generace:** Jednotka má funkci náboje, protože vnější kroužek je osazen přírubou. Na přírubě jsou prvky pro montáž kola a brzd. Magnetický proužek pro ABS bývá na obvodu ložiska. Odpadá seřizování ložiskové vůle a dochází k odlehčení kola úbytkem dílů. Jednotka se používá pro nepoháněná kola.



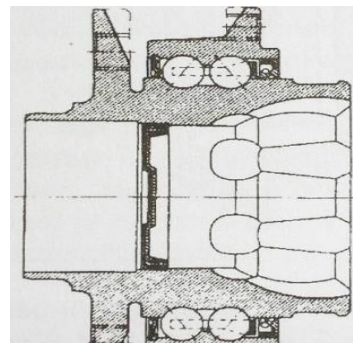
Obr. 2.4 - Ložisková jednotka druhé generace [21]

- **Ložisková jednotka 3. generace:** Vnější i vnitřní kroužek ložiskové jednotky jsou osazeny přírubou. Příruha vnějšího kroužku je přimontována k nápravě, zatímco příruha vnitřního kroužku slouží jako náboj kola.



Obr. 2.5 - Ložisková jednotka třetí generace [21]

- **Ložisková jednotka 4. generace:** Jedná se o podobné řešení jako u ložiskové jednotky 3. generace, oproti ní je však vnitřní kroužek s funkcí náboje na jedné straně vylepšen o umístění stejnoběžného kloubu na druhé. Dochází tak k dalšímu šetření hmotnosti na spojovacích prvcích.



Obr. 2.6 - Ložisková jednotka čtvrté generace[22]

3 Návrh konstrukčního řešení

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách 2.2 a 2.3, nejlepší pro uložení kola automobilu je ložisková jednotka. Tu bychom si museli pro daný příklad nechat vypočítat a vyrobit u specializovaného výrobce, proto pro názornost dimenzování ložisek provedu uložení na dvou jednořadých ložiskách.

3.1 Zatížení ložisek

- Pro výpočet uložení kol, musíme znát několik parametrů vozu:

parametr	rozměr
Hmotnost odpružených částí vozidla(m)	1200KG
Maximální rychlost(v_{\max})	150km/h
Minimální životnost($L_{10\text{km}}$)	200 000km
Rozměr pneumatik	205/40 R17

Tabulka č. 2 - Parametry vozu

- Pro výpočet se uvažuje rovnoměrné rozložení sil na kola a působí síly uprostřed šířky kola.

- Dopočtení parametrů potřebných pro návrh ložiska:

3.1.1 Průměr kol

Ze značení pneumatik se dopočte průměr kol automobilu.

$$D = R \cdot 0,0254 + h \cdot \dot{s} \cdot 2 = 17 \cdot 0,0254 + 0,40 \cdot 0,205 \cdot 2 = \underline{\underline{0,5958}}$$

kde: D je průměr kola [m]
 R průměr disku v palcích [m]
 \dot{s} šířka pneu [m]
 h koeficient výšky pneumatiky [%]

3.1.2 Počet otáček kola potřebných k ujetí požadované vzdálenosti

Ložiska budou dimenzována pro vzdálenost 200 000 [km] a mezní hodnota životnosti se nazývá základní trvanlivost. Dle ISO 281:1990 se vypočte:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

kde: L_{10} je základní trvanlivost [10⁶ ot]
 C základní únosnost ložiska [kN]
 P ekvivalentní zatížení ložiska [kN]
 p koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3,čárový 1/3) [1]

Může být udávána v následujících hodnotách: milióny otáček, provozní hodiny, ujeté miliony kilometrů, milióny oscilačních cyklů. Mezi jednotlivými hodnotami existují v tabulkách pro výpočet ložisek vztahy pro přepočet. Číselná hodnota ve značení trvanlivosti znamená, kolik procent ložisek ji nebylo schopno dosáhnout. Je ovlivněna materiálem, zatížením ložiska, tuhostí a dilatací uložených částí.

Základní únosnost ložiska může být dynamická nebo statická dle charakteru zatížení ložiska. V našem případě se ložisko otáčí a je pod zatížením, proto budu počítat se základní dynamickou únosností ložiska Co, která je dle ISO 281:1990 definována jako zatížení, při němž ložisko dosáhne základní trvanlivosti 1 000 000 otáček.

Výpočet počtu otáček kola při ujetí dané vzdálenosti:

$$n = \frac{L_{10km}}{O_{kol}} = \frac{L_{10km}}{\pi \cdot D} = \frac{0.2 \cdot 10^6 \cdot 1000}{\pi \cdot 0,5958} = \underline{\underline{106851254,2}}$$

kde: n je počet otáček kola k ujetí požadované vzdálenosti [1]
 L_{10km} základní trvanlivost (při 90% spolehlivosti) [10^6 km]
 D průměr kola [m]

3.1.3 Maximální otáčky kola

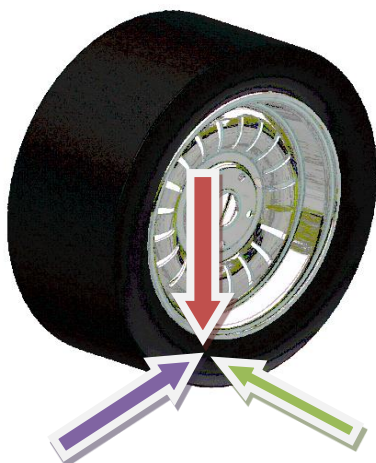
- Z maximální rychlosti se dopočtou maximální otáčky:

$$v_{\max} = 150 \text{ km/h} = 150 / 3,6 = 41,66 \text{ [m/s]}$$

$$n_{\max} = \frac{v_{\max}}{O_{kol}} = \frac{v_{\max}}{\pi \cdot D} = \frac{41,66}{\pi \cdot 0,5958} = 22,26 \text{ [ot/s]} \Rightarrow \underline{\underline{1336 \text{ [ot/min]}}}$$

kde: n_{\max} jsou maximální otáčky kola [ot/s]
 v_{\max} maximální rychlost [m/s]
 D průměr kola [m]

3.1.4 Normálová síla na celý automobil



Síly na kolo automobilu

- F_g -tíhová síla je vyvolána tíhou odpružených částí automobilu)
- F_S -boční síla je vyvolána setrvačnou silou vozu s úhlem natočení kol vzrůstá.
- F_O -obvodová síla je vyvolána pohonem vozu.

Při výpočtu sil předpokládám vůz s těžištěm uprostřed, celková hmotnost vozu 1200[kg].

-tíhová síla:

$$F_{gc} = mxg = 1200 \times 9,81 = 11772$$

kde: F_{gc} je tíhová síla na celý automobil [N]
 m hmotnost odpružených částí vozidla [kg]
 g gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

3.1.5 Tíhová síla na kolo

Předpoklad osobního vozu se čtyřmi koly.

$$F_g = \frac{F_{gc}}{4} = \frac{11772}{4} = 2943$$

kde: F_g je tíhová síla na kolo automobilu [N]
 F_{gc} tíhová síla na celý automobil [N]

3.1.6 Boční síla na automobil

Boční sílu tj. axiální sílu na automobil počítám z krajního případu tj. jízda vozu smykem s koly kolmo ke směru pohybu. Z fyzikálních tabulek volím nejhorší povrch pro tření kol guma-beton.

$$F_{ax_s} = F_{gc} \cdot \mu = 11772 \cdot 0,8 = 9417,6$$

kde: F_{ax_s} je axiální síla od pohybu na automobilu [N]
 F_{gc} tíhová síla na celý automobil [N]
 μ součinitel smykového tření [1]

Dalším konstrukčním předpokladem je volba dvou kuličkových ložisek (pro názornost příkladu) s kosoúhlým stykem, proto musím počítat i s axiálními silami vzniklými od zatížení ložisek. Ložiska k sobě budou zády tzv. "do O" pro lepší tuhost a odolnost vůči klopným momentům. Axiální sílu vzniklou od zatížení ložisek do vztahu zatím neuvažuji, protože pro její určení se nejdříve musí předběžně určit typ ložiska, aby byla známa jeho dynamická únosnost.

3.1.7 Osová síla na kolo

$$F_{ax_p} = \frac{F_{ax_s}}{4} = \frac{9417,6}{4} = 2354,4$$

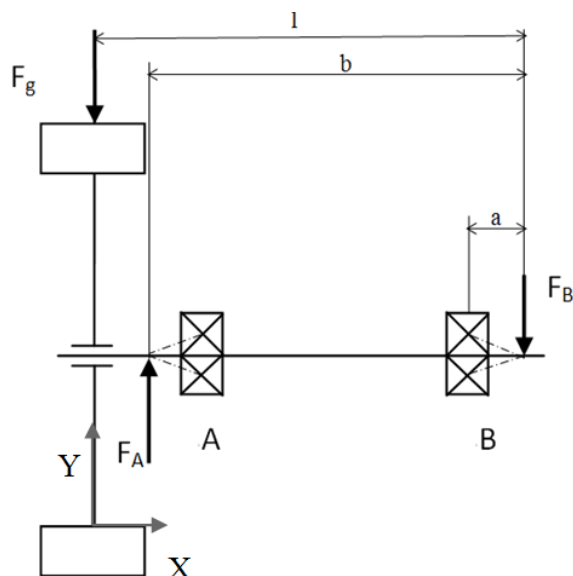
kde: F_{ax_p} je axiální síla od pohybu na kolo automobilu [N]
 F_{ax_s} axiální síla od pohybu na automobilu [N]

Při přesném výpočtu osově síly na kola by se jízda vozidla musela simulovat ve výpočetním programu. Simulovaly by se i mezní stavy vozidla, výpočty by zahrnovaly i změnu rozložení hmotnosti při průjezdu zatáčkou a také setrvačné účinky. Přílnavost vozidla

na vozovce je patrná z Kammovy kružnice přilnavosti, ta popisuje působení boční a podélné síly na automobil, přičemž vzniká reakce, která nesmí přesáhnout mez přilnavosti.

3.1.8 Rozložení sil v uložení

- Síly budou rozloženy dle základů pružnosti a pevnosti. Působíště síly na kolo se umísťuje do středu jeho šířky.



Obr. 3.2 - Síly v uložení kola

- Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jsou vhodná pro přenášení kombinovaných zatížení. Pro zachycování axiální síly v obou směrech se ložiska musí montovat do dvojic, axiální síla je tak zachycována v obou směrech, ale vždy jen jedním ložiskem. Z toho plyne $F_{ax_p} = 2355N$ na každé ložisko.

- Radiální síly si vypočteme z podmínky rovnováhy sil v Y směru a z jejich momentů k bodu B. Působíště síly u ložisek s kosoúhlým stykem je posunuto ze středu ložiska o hodnotu a , vlivem kosoúhlého styku.

3.1.9 Výpočet síly F_A

- Ze sumy momentů k bodu B:

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ F_A \cdot b - F_g \cdot l &= 0 \\ F_A &= \frac{F_g \cdot l}{b} = \frac{2943 \cdot 160}{105} = 4485\end{aligned}$$

kde:	F_A je	síla v podpoře A	[N]
	F_g	normálová síla na kolo automobilu	[N]
	l	vzdálenost mezi F_g a F_B	[mm]
	b	vzdálenost mezi F_A a F_B	[mm]

3.1.10 Výpočet síly F_B

- Z rovnováhy sil v Y směru:

$$\begin{aligned}\sum F_Y &= 0 \\ F_A - F_g - F_B &= 0 \\ F_B &= F_A - F_g = 4485 - 2943 = 1542\end{aligned}$$

kde: F_A je síla v podpoře A [N]
 F_g normálová síla na kolo automobilu [N]

3.1.11 Doba provozu ložisek

Pro určení doby provozu může být využito výpočtu zatěžovací spektra. 200 000 [km] se rozloží do 4 rychlostí, v kterých se vozidlo bude přibližně pohybovat. Čím více bychom měly spektrum podrobnější, tím přesnější by byl i výpočet. Provozní spektrum viz. Tabulka č.3.

Rychlost vozu [km/hod]	Otáčky [1/min]	Vzdálenost [km]	Doba provozu [hod]
50	445,22	48 000	960
90	801,4	100 000	1112
130	1157,6	50 000	385
150	1336	2 000	13

Tabulka č. 3 - Zatěžovací spektrum

3.1.12 Celková doba provozu

$$t_c = L_{10h} = \sum L_{hi} = t_{50} + t_{90} + t_{130} + t_{150} = 960 + 1112 + 385 + 13 = 2470$$

kde: L_{hi} jsou dílčí časy provozu [hod]
 t_c celková doba provozu [hod]

3.1.13 Průměrné otáčky

- Hodnota průměrných otáček spolu s dobou provozu bude v dalších částech výpočtu směrodatná.

$$n_c = \frac{\sum (L_{hi} \cdot n_i)}{\sum L_{hi}} = \frac{960 \cdot 445,22 + 1112 \cdot 801,4 + 385 \cdot 1157,6 + 13 \cdot 1336}{2470} = 721,3$$

kde: n_c jsou průměrné otáčky [1/min]
 L_{hi} dílčí časy provozu [hod]
 n_i dílčí otáčky provozu [hod]

3.2 Předběžný výpočet ložiska v místě A.

Ložiska budu volit od firmy SKF, pro výpočet se budu řídit dle jejich katalogů.

3.2.1 Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska

Při radiálně-axiálním zatížení ložiska, musíme zatížení přepočítat na radiální nebo axiální zatížení dle typu ložiska. Zatížení má při působení na ložisko za následek stejnou trvanlivost jako kombinované zatížení. Vzorec pro zatížení jsou dány typem ložiska a výrobcem.

- Výpočet provádím dle katalogu SKF [20]

$$\frac{Fax_p}{Fr_A} = \frac{Fax_p}{F_A} = \frac{2355}{4485} = 0,53 \leq 1,14 \Rightarrow P_{Ap}' = Fr_A + 0,55Fax_A = 4485 + 0,55 \cdot 2355 = 5781$$

kde:	P_{Ap}'	je	předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	Fax_p		axiální síla od pohybu na kolo automobilu	[N]
	Fr_A		radiální síla na ložisko A	[N]

- ekvivalentní zatížení se násobí koeficientem přidavných sil, pro síly vzniklé od dílčích silových účinků.

$$P_{Ap} = P_{Ap}' \cdot fd = 5781 \cdot 1,2 = 6938$$

kde:	P_{Ap}	je	předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	P_{Ap}'		předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	fd		koeficient přidavných sil	[1]

3.2.2 Výpočet základní dynamické únosnosti

Trvanlivost ložiska se počítá dle ISO 281:1990, vzorec je upraven pro trvanlivost udávanou v miliónech hodin.

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{16666}{n} \Rightarrow C_A = \sqrt[3]{\frac{n_c \cdot L_{10h}}{16666}} \cdot P_A = \sqrt[3]{\frac{721,3 \cdot 0,00247 \cdot 10^6}{16666}} \cdot 6,938 = 32,928$$

kde:	L_{10h}	je	základní trvanlivost	[10 ⁶ h]
	C_A		základní dynamická únosnost ložiska A	[kN]
	P_{Ap}		předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[kN]
	p		koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3)	[1]
	n_c		průměrné otáčky	[1/min]

3.3 Předběžný výpočet ložiska v místě B

- Výpočet se řídí stejnými pravidly jako pro ložisko A, liší se pouze v jiných působících silách.

3.3.1 Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska

$$\frac{Fax_p}{Fr_B} = \frac{Fax_p}{F_B} = \frac{2355}{1542} = 1.53 > 1.14 \Rightarrow P_{Bp}' = 0.57Fr_B + 0.93Fax_p =$$

$$= 0.57 \cdot 1542 + 0.93 \cdot 2355 = 3070$$

kde: P_{Bp}' je předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B [N]
 Fax_p axiální síla od pohybu na kolo automobilu [N]
 Fr_B radiální síla na ložisko [N]

-Navýšení ekvivalentního zatížení přídatnými silami.

$$P_{Bp} = P_{Bp}' \cdot fd = 3070 \cdot 1.2 = 3684$$

kde: P_{Bp} je předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B [N]
 P_{Bp}' předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B [N]
 fd koeficient přídatných sil [1]

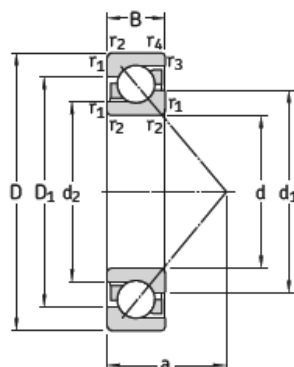
3.3.2 Výpočet základní dynamické únosnosti

$$C_B = \sqrt[3]{\frac{n_c \cdot L_{10h}}{16666} \cdot P_{Bp}} = \sqrt[3]{\frac{721,3 \cdot 0,00247 \cdot 10^6}{16666} \cdot 3,684} = 17,484$$

kde: L_{10h} je základní trvanlivost [10⁶ h]
 C_B základní dynamická únosnost ložiska B [kN]
 P_{Bp} předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B [kN]
 p koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3) [1]
 n_c průměrné otáčky [1/min]

- Z tabulek firmy SKF nacházíme dle vypočtených parametrů a vhodnosti pro konstrukci ložisko viz obr. 3.3. To vyhovuje jak ložisku A tak i dvojnásobně ložisku B, to bylo zvoleno stejně velké jako ložisko A kvůli zvolené konstrukci, při jiném konstrukčním řešení by ložisko B mohlo být menší.

Jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem
d 30 – 45 mm

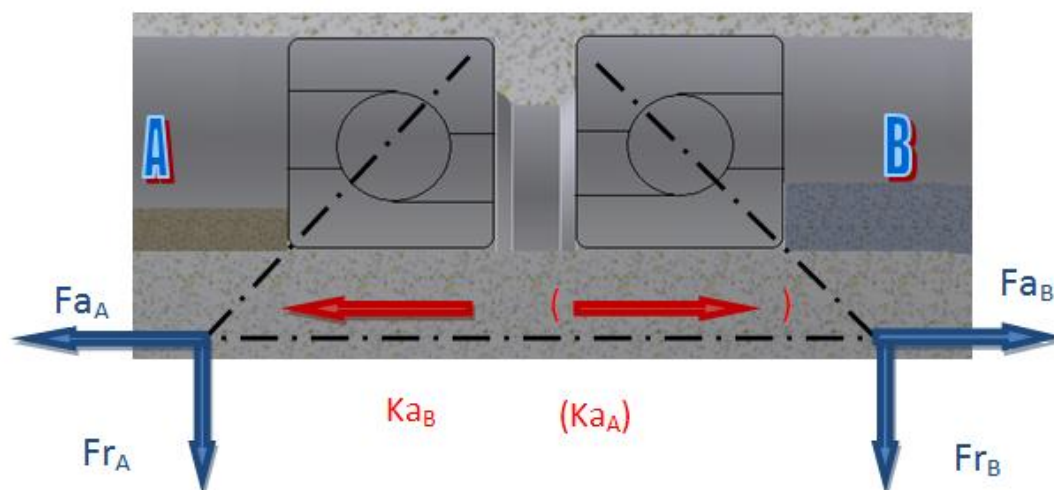


Hlavní rozměry			Únosnost dyna- mická C	sta- tická C ₀	Mezní únavové zatížení P _u	Připustné otáčky		Hmot- nost	Označení ¹⁾ Univerzálně párovatelné ložisko	Standardní provedení ložiska
d	D	B				Referen- ní otáčky	Mezní otáčky			
mm			kN		kN	min ⁻¹		kg	-	
35	80	21	39	24,5	1,04	10 000	10 000	0,49	7307 BECBY	7307 BEY

Obr. 3.3 - Katalog jednořadé kuličkové ložisko [23]

3.4 Zahrnutí sil vznikajících v ložiskách vlivem zatížení

U ložisek s kosoúhlým stykem je radiální síla přenášena mezi oběžnými drahami pod úhlem, vzniká tak přídavná axiální síla, proto se tyto ložiska obvykle montují do dvojic, aby se síly navzájem vyrušily nebo byly zachyceny. Přídavné síly vypočtu dle předepsaných výpočtů z katalogu. Rozložení sil je vidět na obrázku.



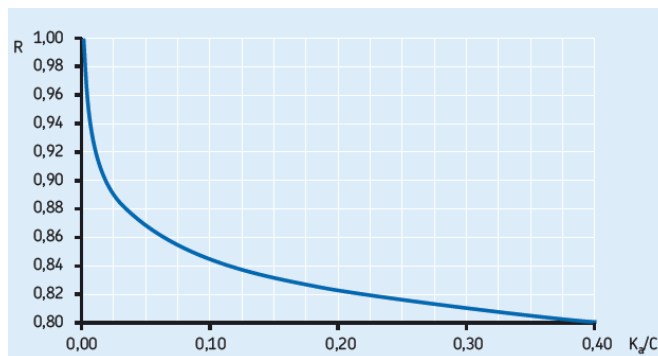
Obr. 3.4 - Přídavné síly na ložisku

kde je F_a axiální síly vzniklé od zatížení
 F_r radiální síly
 K_a externí axiální síla

Z poměru axiální síly a dynamické únosnosti se zjišťuje koeficient R . Tento koeficient zahrnuje vliv podmínek styku v ložisku.

$$\frac{K_a}{C} = \frac{2,355}{39} = 0,0604 \Rightarrow R = 0,86$$

kde: K_a je externí axiální síla [kN]
 C základní dynamická únosnost ložiska [kN]
 R koeficient vlivu styku v ložisku [1]



Obr. 3.5 - Graf závislosti C na R [23]

3.4.1 Externí axiální síla zachycována Ložiskem A

- Výpočet provádím dle katalogu SKF [20]
- Externí axiální síla je zachycována ložiskem A.

$$Fr_A > Fr_B$$

$$K_a < R(Fr_A - Fr_B)$$

$$2355 < 0,86 \cdot (4485 - 1542) = 2531$$

$$Fa_{A1} = R \cdot Fr_A = 0,86 \cdot 4485 = 3857,1$$

$$Fa_{B1} = Fa_{A1} - K_a = 3857,1 - 2355 = 1502,1$$

- Zatížení ložiska A včetně přídatné síly

$$Fax_A = Fax + Fa_{B1} = 2355 + 1502,1 = 3857,1$$

kde: K_a je externí axiální síla [N]
 Fr_A, Fr_B radiální síly na ložiska [N]
 Fa_{A1}, Fa_{B1} axiální síly na ložiska vzniklé od radiálních [N]
 Fax_A výsledná axiální síla na ložisko [N]
 R koeficient vlivu styku v ložisku [1]

3.4.2 Externí axiální síla zachycována Ložiskem B

- Externí axiální síla je zachycována ložiskem B.

$$Fr_A \geq Fr_B$$

$$Ka \geq 0$$

$$Fa_{A2} = R \cdot Fr_A = 0,86 \cdot 4485 = 3857,1 \text{ N}$$

$$Fa_{B2} = Fa_{A2} + Ka = 3857,1 + 2355 = 6212,1 \text{ N}$$

- Zatížení ložiska B včetně přídavné síly

$$Fax_B = Fax + Fa_{A2} = 2355 + 3857,1 = 6212,1$$

kde:	Ka	je	externí axiální síla	[N]
	Fr_A, Fr_B		radiální síly na ložiska	[N]
	Fa_{A2}, Fa_{B2}		axiální síly na ložiska vzniklé od radiálních	[N]
	Fax_B		výsledná axiální síla na ložisko	[N]
	R		koeficient vlivu styku v ložisku	[1]

3.4.3 Výpočet ložiska v místě A.

- Výpočet je stejný jako předešlý bod 3.2.1, změna je pouze ve velikosti axiálních sil.

3.4.3.1 Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska

$$\frac{Fax_A}{Fr_A} = \frac{Fax_A}{F_A} = \frac{3857,1}{4485} = 0,86 \leq 1,14 \Rightarrow P_A = Fr_A + 0,55 Fax_A = 4485 + 0,55 \cdot 3857,1 = 6607$$

kde:	P_A	je	dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	Fax_A		axiální síla na ložisko A	[N]
	Fr_A		radiální síla na ložisko A	[N]

- ekvivalentní zatížení se násobí koeficientem přídavných sil, pro síly vzniklé od dílčích silových účinků.

$$P_A = P_A' \cdot fd = 6607 \cdot 1,2 = 7928,4$$

kde:	P_A	je	předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	P_A'		dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	fd		koeficient přídavných sil	[1]

3.4.3.2 Výpočet základní dynamické únosnosti

Trvanlivost ložiska se počítá dle ISO 281:1990, vzorec je upraven pro trvanlivost udávanou v miliónech hodin.

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{16666}{n} \Rightarrow C_A = \sqrt[3]{\frac{n_c \cdot L_{10h}}{16666}} \cdot P_A = \sqrt[3]{\frac{721,3 \cdot 0,00247 \cdot 10^6}{16666}} \cdot 7,9284 = 37,629$$

kde:	L_{10h} je základní trvanlivost	[10 ⁶ h]
	C_A základní dynamická únosnost ložiska A	[kN]
	P_A předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[kN]
	p koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3)	[1]
	n_c průměrné otáčky	[1/min]

3.4.4 Výpočet ložiska v místě B

3.4.4.1 Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska

$$\frac{Fax_B}{Fr_B} = \frac{Fax_B}{F_B} = \frac{2355}{1542} = 1,53 > 1,14 \Rightarrow P_B' = 0,57 Fr_B + 0,93 Fax_B =$$

$$= 0,57 \cdot 1542 + 0,93 \cdot 6212,1 = 6656,2$$

kde:	P_B' je	předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[N]
	Fax_B	axiální síla na kolo automobilu	[N]
	Fr_B	radiální síla na ložisko	[N]

-Navýšení ekvivalentního zatížení přídatnými silami.

$$P_B = P_B' \cdot fd = 6656,2 \cdot 1,2 = 7987,44$$

kde:	P_B je	předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[N]
	P_B'	dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[N]
	fd	koeficient přídatných sil	[1]

3.4.4.2 Výpočet základní dynamické únosnosti

$$C_B = \sqrt[3]{\frac{n_c \cdot L_{10h}}{16666}} \cdot P_{Bp} = \sqrt[3]{\frac{721,3 \cdot 0,00247 \cdot 10^6}{16666}} \cdot 7,98744 = 37,909$$

kde:	L_{10h} je základní trvanlivost	[10 ⁶ h]
	C_B základní dynamická únosnost ložiska B	[kN]
	P_{Bp} předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[kN]
	p koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3)	[1]
	n_c průměrné otáčky	[1/min]

- Hodnoty dynamických únosností se vlivem přídatných sil zvětšily, ovšem Ložisko z obr.3.3 opět vyhovuje.

- Uložení je vidět v příloze č.2 na výkresu sestavy: BP KKS 11 01/1, vytvořeném v softwaru Autodesk Inventor Professional 2008.

- V tomto programu jsem namodeloval přibližnou podobou el. motoru integrovaného do kola vozidla, náhled je vidět v příloze č.1.

3.5 Určení oteplení ložisek

Výpočet je informativní, je vhodný pro určení vhodnosti maziva a použitých materiálů. Přesné hodnoty oteplení se získávají ze simulací v odborném softwaru nebo měřením.

3.5.1 Přibližný třecí moment valivých ložisek

Jedná se o přibližný výpočet, protože moment je závislý na několika parametrech (zatížení, mazání, konstrukce ložiska, otáčky...). Výpočet provedu pro více zatížené ložisko B. Ve výpočtu neuvažuji třecí moment od těsnění popř. krytů.

$$M_f = \frac{\mu \cdot P \cdot d}{2} = \frac{0,002 \cdot 7987,4 \cdot 0,035}{2} = 0,28$$

kde:	M_f je třecí moment	[N·m]
	μ součinitel tření ve valivém ložisku	[1]
	P předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[N]
	d průměr vnitřního kroužku ložiska	[m]

3.5.2 Ztrátový výkon

- teplo vzniklé z třecího momentu

$$P_z = M_f \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} = 0,28 \cdot \frac{\pi \cdot 721,3}{30} = 21,15W$$

kde:	P_z je ztrátový výkon	[W]
	M_f třecí moment	[N·m]
	n_c průměrné otáčky	[1/min]

- Vzhledem k uložení ložisek, počítáme s odvodem tepla vedením v tepelně vodivém materiálu kolem ložisek.

3.6 Využití ložiskové jednotky

Jak bylo výše zmíněno v bodě 2.3 využití ložiskových jednotek má značné výhody před jednotlivými kuličkovými ložisky. Pro naše potřeby bychom při sériové výrobě, museli kontaktovat výrobce těchto jednotek (SKF) a domluvit se na konstrukčním řešení, které by bylo vyrobeno pro náš automobil. Ložisková jednotka je konstrukcí podobná uložení na dvou kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem, ale i jednomu dvouřadému ložisku. Pro lepší představivost parametrů ložiskové jednotky, vypočtu pro daný případ uložení s dvouřadým kuličkovým ložiskem s kosoúhlým stykem.

3.6.1 Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem

-Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložiska (přídavné axiální síly se vyruší). Polohu ložiska uvažují pod kolo automobilu.

3.6.1.1 Předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{2355}{2943} = 0,801 \geq 0,8 \Rightarrow P' = X \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a = 0,63 \cdot 2943 + 1,24 \cdot 2355 = 4775(N)$$

kde:	P'	je	předběžné dynamické ekvivalentní zatížení ložiska	[N]
	F_a		axiální síla na kolo automobilu	[N]
	F_r		radiální síla na kolo	[N]
	X, Y_2		výpočtové součinitele dle typu ložiska	[1]

Ložiskové řady	Výpočtové součinitele				
	e	X	Y_1	Y_2	Y_0
32 A (52 A)	0,8	0,63	0,78	1,24	0,66
33 A (53 A)	0,8	0,63	0,78	1,24	0,66

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska

$$P = F_r + Y_1 F_a \quad \text{pro } F_a/F_r \leq e$$

$$P = X F_r + Y_2 F_a \quad \text{pro } F_a/F_r > e$$

Hodnoty součinitelů e, X, Y_1 a Y_2 závisejí na stykovém úhlu ložiska a jsou uvedeny v tabulce 3.

Obr. 3.6 - Katalog dvouřadá ložiska s kosoúhlým stykem [23]

3.6.1.2 Předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení

$$P = P' \cdot fd = 4775 \cdot 1,2 = 5730$$

kde:	P	je	předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	P'		dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A	[N]
	fd		koeficient přídavných sil	[1]

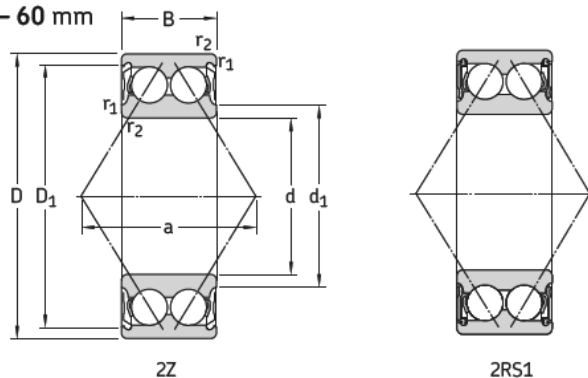
- Výpočet základní dynamické únosnosti

$$C = \sqrt[3]{\frac{n_c \cdot L_{10h}}{16666}} \cdot P = \sqrt[3]{\frac{721,3 \cdot 0,00247 \cdot 10^6}{16666}} \cdot 5730 = 27,2$$

kde:	L_{10h} je základní trvanlivost	[10 ⁶ h]
	C základní dynamická únosnost ložiska	[kN]
	P předpokládané dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B	[kN]
	p koeficient dle konstrukce ložiska (bodový styk 3)	[1]
	n_c průměrné otáčky	[1/min]

- Z tabulek firmy SKF nacházím dle vypočtených parametrů a vhodnosti pro konstrukci :

Dvouřadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem s těsněním
d 10 – 60 mm



Hlavní rozměry			Únosnost dynamická C	Únosnost statická C ₀	Mezní únavové zatížení P _u	Mezní otáčky		Hmot- nost	Označení ¹⁾	
d	D	B				Ložisko zakryté	s těsněním		Ložisko zakryté	s těsněním
mm			kN		kN	min ⁻¹		kg	-	
30	62	23,8	30	20,4	0,865	10 000	7 500	0,29	*	3206 A-2Z * 3206 A-2RS1

Obr. 3.7 - Katalog dvouřadé ložiska s kosoúhlým stykem [23]

Pokud by se hledala již vyrobená ložisková jednotka, která je na trhu již dostupná, mohla by být zvolena ložisková jednotka, která je použita ve voze Škoda Fabia 1.2 HTP první řady. Při porovnání parametrů automobilů, jsou si tyto vozy podobné viz Tabulka č.4.

	Elektromobil	Fabia 1.2HTP
Hmotnosti vozů [kg]	1200	1505
Maximální rychlost [km/h]	150	155
















Tabulka č. 4 - Porovnání vozů

- Z tabulky je vidět že jednotka bude dokonce lehce předimenzovaná.

Ložisková jednotka pro Fabii dle katalogu SKF :

-přední náprava - VKBA 3569 nebo VKBA 3568 (dle typu)

-zadní náprava - VKBA 3567

VKBA 3567	E	1		X		1									1	0,05
VKBA 3568	J	1		X		1										0,08
VKBA 3569	J	1		X		1										2,10
																Kg



Obr. 3.8 - Katalog ložisek pro motorová ložiska - Škoda Fabia [24]

4 Závěrečné hodnocení, včetně ekonomického přínosu

Jak už bylo zmíněno, ložisková jednotka šetří mnoho dílů a tím i financí. Pro ekonomické srovnání použiju ložiskovou jednotku z automobilu Škoda Fabia první řady, ceny ložisek jsou určeny pro spotřebitele a ne pro velkoodběratele, proto by pořizovací náklady mohly být nižší.

4.1 Ekonomický přínos

4.1.1 Ložisková jednotka

Z tabulek jsou vidět jednotlivé ceny dílčích částí, které zajišťují uložení kola

- ceníky jednotlivých dílů:

Řešení s použitím ložiskových jednotek:

Typ ložiskové jednotky	Cena ložiskové jednotky [,-]
VKBA 3568	2592
VKBA3569	2424
VKBA3567	2336

Tabulka č. 5 – Ceny ložiskové jednotky Škoda Fabia 1.2 HTP

- ceník z <http://www.automedik.cz>

Řešení s použitím dvou kuličkových ložisek s kosouhlým stykem:

Uložení na dvou ložiskách náklady	Přibližná cena dílů [,-]
2x7307 BECBY	3740
Vnitřní hřídel (náboj)	100
Elementy zajišťující polohu ložisek	30

Tabulka č. 6 - Cena uložení jednotlivými ložisky

- ceník ložisek z <http://www.sortiment.cz>

Cena dílů pro uložení všech kol automobil-porovnání

Konstrukční řešení pro automobil 4x4	Cena[,-]
4xVKBA 3569	9 696
8 x 7307 BECBY, 4xvnitřní hřídel, 4xzajišťující elementy	15 480
Ušetřené náklady =5784,-	

Tabulka č. 7 - Porovnání ceny jednotlivých ložisek oproti ložiskovým jednotkám

- Řešení s použitím jednotlivých ložisek je předimenzované, vzhledem k použití koeficientu přidavných sil, při použití výpočetního softwaru a nasimulování jízdních stavů vozidla a namáhání ložisek, bychom mohli použít i levnější ložiska a přiblížit se tak pořizovací ceně ložiskových jednotek.

4.1.2 Volba maziva

V ložiskách bude mazivo na celou dobu životnosti. Pro zmíněné funkce maziva, bychom si měli určit nejvhodnější mazivo, tak aby byl systém funkční s co nejmenší potřebou servisu a byl cenově nejvýhodnější. První mazivo uvedené v tabulce je na celou dobu životnosti, druhé jen na půl, u druhého maziva nesmíme zapomenout, že finanční ztráty vznikají i prostoje stroje.

Mazivo	cena [,-]
Na celou dobu životnosti	100
Mazivo s poloviční životností-výměna maziva-nové mazivo-doba prostoje (1hod)	20+50+20+60=150
Ušetřené náklady =50,-	

Tabulka č. 8 - Volba maziva

- Ceny jsou přibližné dle internetového obchodu www.oleje.cz.
- Konstrukční řešení navrhované v bodě 3, obsahuje mazivo již v samotných ložiskách.

4.1.3 Vhodná konstrukce ložiska

- Nová řada ložisek SKF Explorer dosahuje zlepšení parametrů. Firma SKF při její vývoji zaměstnala celé spektrum vývojářů, se znalostmi o nových materiálech, výrobě, tribologii a optimalizaci konstrukce. U ložisek Explorer tak došlo k zmenšení hlučnosti, vibrací, třecího momentu, zvětšení dynamické únosnosti, tvarové stálosti, stability a provozní trvanlivosti. Za zlepšením vlastností ložiska stojí vyšší jakost ložiskové oceli, která má homogenní strukturu. Dále nové postupy tepelného zpracování, ty vedly ke zlepšení odolnosti povrchu ložiska. Povrch má zlepšenou kvalitu u všech stykových ploch, tudíž dochází ke snížení spotřeby maziva, hlučnosti, vibrací a zlepšení funkce těsnění. U ložiska tak vzrostla účinnost.

-V tabulce máme porovnání provozu staršího typu ložiska s ložiskem SKF Explorer.

	Starší typ ložiska	Nové inovované SKF Explorer
Životnost [km]	120 000	200 000
Cena [,-]	700	1600
Účinnost [%]	87	95
Ztráty benzínu na 100 km [l]	přibližně 0,021	0,008
Cena servisu [,-]	1000	-
Průměrná cena benzínu = 30,-		
Suma na 200 000km [,-]	2x700+1000=2400	1600
Ušetřená suma za benzín ložiskem Explorer oproti staršímu typu [,-]		2000x0,008x30=480
Ušetřené náklady= 2400-1600+480= 1280,-		

Tabulka č. 9 - Volba ložiska

- Cena servisu zahrnuje výměnu pouze jednoho ložiska, ceník z http://autotoncevcz/pdf/autotoncevcz_pdf.php.

Z výsledných nákladů je vidět, že pro dané konstrukční řešení je vhodnější volba dražšího provedení produktu, který šetří jak náklady na pohon, tak i náklady vzniklé potřebným servisem. Starší provedení by bylo ekonomicky výhodnější pro konstrukci, která je konstruována na životnost 120 000km.

4.1.4 Integrované prvky ložiska

Modernizace elektronických součástí vedla ke zmenšení senzorů a tak i snímaných prvků, proto bylo možné integrovat do ložiska např. magnetický kroužek, který slouží pro ABS. Tím nám opět odpadly některé díly, které zajišťovaly onu funkci.

Součást	Cena
Kotouč ABS	100,-
Ušetřené náklady :cena kotouče-cena za kroužek v ložisku =60,-	

Tabulka č. 10 - Ušetřené náklady integrací prvků

-Jak bylo zmíněno v kapitole 1.5.2, můžeme do ložiska integrovat i jiné snímače, potřebné pro správný provoz mechanismu.

-Z jednotlivých porovnávacích tabulek je vidět, jak správné tribologické řešení šetří pořizovací náklady i budoucí provozní náklady na servis systému.

-Ideální řešení pro daný výrobek, musí stanovit ekonom ve spolupráci s konstruktérem, aby bylo dosaženo co největších zisků pro firmu a nejlepší funkčnosti mechanismu pro zákazníka.

4.2 Závěrečné hodnocení

Tribologie v posledních letech nabyla na významu, při uvědomění jaké všechny funkce mazivo má se není čemu divit. Eliminace tření je hlavní funkcí, šetří náklady na provoz i údržbu, u teoreticky správného tribologického řešení nikdy nedojde ke kontaktu dvou povrchů, protože budou odděleny mazivem a bude se jednat o kapalinné tření. Opotřebením tak bude minimální, mazivo bude odvádět teplo vzniklé pohybem a bude také sloužit k tlumení vibrací. Vzhledem k minimálnímu třecímu momentu budou i ztráty minimální a my budeme dosahovat dokonalého přenosu krouticího momentu či posuvného pohybu.

Zdokonalování výroby maziva a používání lepších látek k jeho výrobě má za následek zlepšení vlastností maziva, které se díky složitějším výrobním procesům tak stává lepším i dražším zároveň, z čehož plyne nutnost filtrace a monitoringu maziva, protože právě jen čisté mazivo má svou dokonalou mazací schopnost. Filtrace se zaměřila i na ty nejmenší nečistoty, které vedou k degradaci oleje a jsou pouhým okem těžko postřehnutelné. Vývoj v oblasti materiálu se dotknul i materiálů ložiska a to až do takové míry, že povrchy jsou obohaceny samomaznými přísadami a ložisko je obohaceno o různé funkce, např. izolování hřídele od rámu.

Tribodiagnostika všeobecně šetří náklady, včas ukáže blízkou potřebu odstávky stroje, při které je nutná výměna třecích ploch či maziva. Díky tomu nedochází ke škodám vzniklým špatným provozem stroje za zvýšeného tření, které by později mělo za následek poškození dalších částí mechanismu. Plánovaná odstávka je výhodná i pro marketing, ten s ní může počítat ve chvílích nevytíženosti stroje. Funkce prvků je dokonale monitorována, naměřené hodnoty slouží nejen ke kontrole správnosti chodu, ale mohou napomáhat i jiným systémům ve správné funkci např. centrálním mazacím systémům nebo ABS. V dnešní výrobě se snažíme šetřit náklady a hmotnost integrací členů do sebe, integrace částí je pro výrobce automobilů ideální, protože při poruše elementu integrovaného do celku dochází k výměně celého celku. Vadný celek je jako nefunkční zaslán jeho výrobcí, který se svými dodavateli musí řešit jeho reklamaci. Tak odpadá starost automobilce, která díl pouze instaluje do automobilu. S trendem ložiskových jednotek odpadly chyby vzniklé špatnou montáží ložisek a mnoho dílů starajících se o jejich polohu, tím došlo k ušetření hmotnosti a nákladů. Při zahrnutí moderních trendů výroby ložiska, které byly nastoleny firmou SKF, dochází k další eliminaci tření, díky zlepšené výrobě ložisek, jejich konstrukci a povrchu. Cílem bude vždy dosáhnout co nejmenších ztrát při pohybu dvou vzájemně se dotýkajících těles. Motor integrovaný do kola je, při zužujících se zásobách ropy, ideální inovací pro elektromobily. Ten potřebuje mít prostor pro akumulátor, který dosahuje stále velkých rozměrů při potřebné kapacitě, přesunutím motoru do kol se vytvoří dostatečný prostor pro akumulátor v šasi, aniž bychom zasahovaly do prostoru cestujících.

Při řešení problematiky uložení, jsou nejvýhodnější ložiskové jednotky. Při integraci magnetického kroužku ABS, dosažení vysoké jakosti a naplnění dobrým mazivem na celou dobu životnosti se jedná o nejideálnější doposud vyráběný prvek pro elektrický automobilový průmysl. Řešení je ovšem výhodné jen pro určitý počet najetých kilometrů, tak aby drahá výroba jednotky byla zaplácena ušetřenými financemi. Miniaturizace a kompaktnost měření soustav ulehčuje servis techniky, ta se stává automatizovaná, aby šetřila pracovní síly i mazací médium a eliminovala chyby vzniklé neodborným zásahem. Správné dodržení tribologických zásad při konstrukci má velký vliv na fungování stroje a jeho náklady.

Firma ovládající tribologii, může na trhu konkurovat, díky nabídce optimálního řešení problému s vysokou spolehlivostí.

5 Použitá literatura

- [1] Oleje [online]. 2009 [cit. 2011-05-03]. Základy oboru. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=hlavni_zaklady>.
- [2] Simalube®. Vklóziska [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Maznice-simalube. Dostupné z WWW: <http://www.vklóziska.cz/editor/image/produkty1_soubory/maznice-simalube.pdf>
- [3] LubTec s.r.o. LubTec [online]. 2008 [cit. 2011-05-03]. Dávkovací technologie LubTec. Dostupné z WWW: <<http://www.lubtec.cz/davkovaci-technologie-cz>>
- [4] NKE. Jednořadá radiální kuličková ložiska. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, 5, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/jednorada-radialni-kulikova-loziska>>.
- [5] STÁREK, František. Speciální kombinovaná valivá ložiska. MM Průmyslové spektrum [online]. 2006, 11, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-kombinovana-valiva-loziska>>
- [6] SKF. Nejmodernější ložiska v převodovkách pro větrné turbíny. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, 12, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nejmodernejsi-loziska-v-prevodovkach-pro-vetrne-turbiny>>
- [7] MICHALEC, Miroslav. Tribotechnika [online]. 2009 [cit. 2011-05-03]. Delené ložiská. Dostupné z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22009/delene-loziska.html>>.
- [8] Winhwa [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Solid Oil. Dostupné z WWW: <<http://www.winhwa.com.my/catalog/images/Bearings%20&%20bearing%20units%20with%20Solid%20Oil.jpg>>
- [9] NKE. Elektricky izolovaná valivá ložiska zabraňují průchodu proudu. MM Průmyslové spektrum [online]. 2007, 11, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/elektricky-izolovana-valiva-loziska-zabranuji-pruchodu-proudu>>
- [10] Bezúdržbová těsněná ložisková pouzdra pro náročné podmínky. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, 11, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/bezudrzbova-tesnena-loziskova-pouzdra-pro-narocne-podminky>>
- [11] KANIA, Zbyněk. Tribotechnika [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Senzory pro zjišťování kontaminace hydraulického a mazacího média. Dostupné z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-1-2009/senzory-pro-zjistovani-kontaminace-hydraulickeho-a-mazaciho-media.html>>
- [12] SKF. Skf [online]. 2003 [cit. 2011-05-03]. Smart housing. Dostupné z WWW: <http://evolution.skf.com/document/en-gb/Specification_sheet.pdf>

- [13] MOLNÁR, František. Tribotechnika [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Technická diagnostika – vibrodiagnostika ložisk. Dostupné z WWW: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22009/technicka-diagnostika-vibrodiagnostika-lozisk.html>
- [14] RMI. RMI [online]. 2009 [cit. 2011-05-03]. Mobilní FT IR spektrometr TruDefender. Dostupné z WWW: http://www.rmi.cz/index.php?ref=7&child_id=369
- [15] SKF. Nová ložiska a mazací systém pro větrné elektrárny. MM Průmyslové spektrum [online]. 2006, 11, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-loziska-a-mazaci-system-pro-vetrne-elektrarny>
- [16] Oleje [online]. 2012 [cit. 2012-05-04]. Vlastnosti motorových olejů, Díl pátý- Detergenty a disperzanty. Dostupné z WWW: http://oleje.cz/index.php?left=main&page=clanky_vlastnosti_oleju5
- [17] Truck Data Technology [online]. 2011 [cit. 2012-06-04]. RVS Technology. Dostupné z WWW: <http://www.tdt.cz/RVS-Master-119.htm>
- [18] Tribotechnika [online]. 2011 [cit. 2012-11-05]. Použití nových nanomateriálů v tribotechnice. Dostupné z WWW: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/pouziti-novych-nanomaterialu-v-tribotechnice.html>
- [19] Youtube [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Michelin's Active Wheel. Dostupné z WWW: <http://www.youtube.com/watch?v=V9tDgdV30Jw>
- [20] Hybrid [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Revoluční kolo od Michelinu - převrat pro svět elektromobilů?. Dostupné z WWW: <http://www.hybrid.cz/tagy/active-wheel>
- [21] Autoprofiteam [online]. 2011 [cit. 2012-05-03]. Podvozkové centrum APM Bilstein - 7. díl: Kola (náboje kol). Dostupné z WWW: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=668>
- [22] VLK, František. Automobilová technická příručka. 1. vyd. Brno : František Vlk, 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4.
- [23] Exvalos [online]. 2008 [cit. 2011-05-03]. Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_02_Kulickova_loziska_s_kosouhlym_stykem.pdf. Dostupné z WWW: http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_02_Kulickova%20loziska%20s%20kosouhlym%20stykem.pdf
- [24] SKF. Zbozi.arkov. [online]. 2004 [cit. 2011-05-03]. Kompletni_katalog_lozisek_SKF_do_automobilu. Dostupné z WWW: http://zbozi.arkov.cz/dl/474/Kompletni_katalog_lozisek_SKF_do_automobilu.pdf.html
- [25] Centrální mazací systémy. MM Průmyslové spektrum [online]. 2001, 11, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/centralni-mazaci-systemy>

[26] PÍSEK, Jiří. *Tribotechnika* [online]. 2009 [cit. 2011-05-03]. Moderní filtrační materiály pro bariérovou filtraci. Dostupné z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42010/chvalis.html>>

[27] SKF. Ložiska mazaná tuhým olejem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 3, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/loziska-mazana-tuhym-olejem>>

[28] HARRIS, Tim; WIDBRO, Linda. Magnetická ložiska. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005, 1, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/magneticka-loziska>>

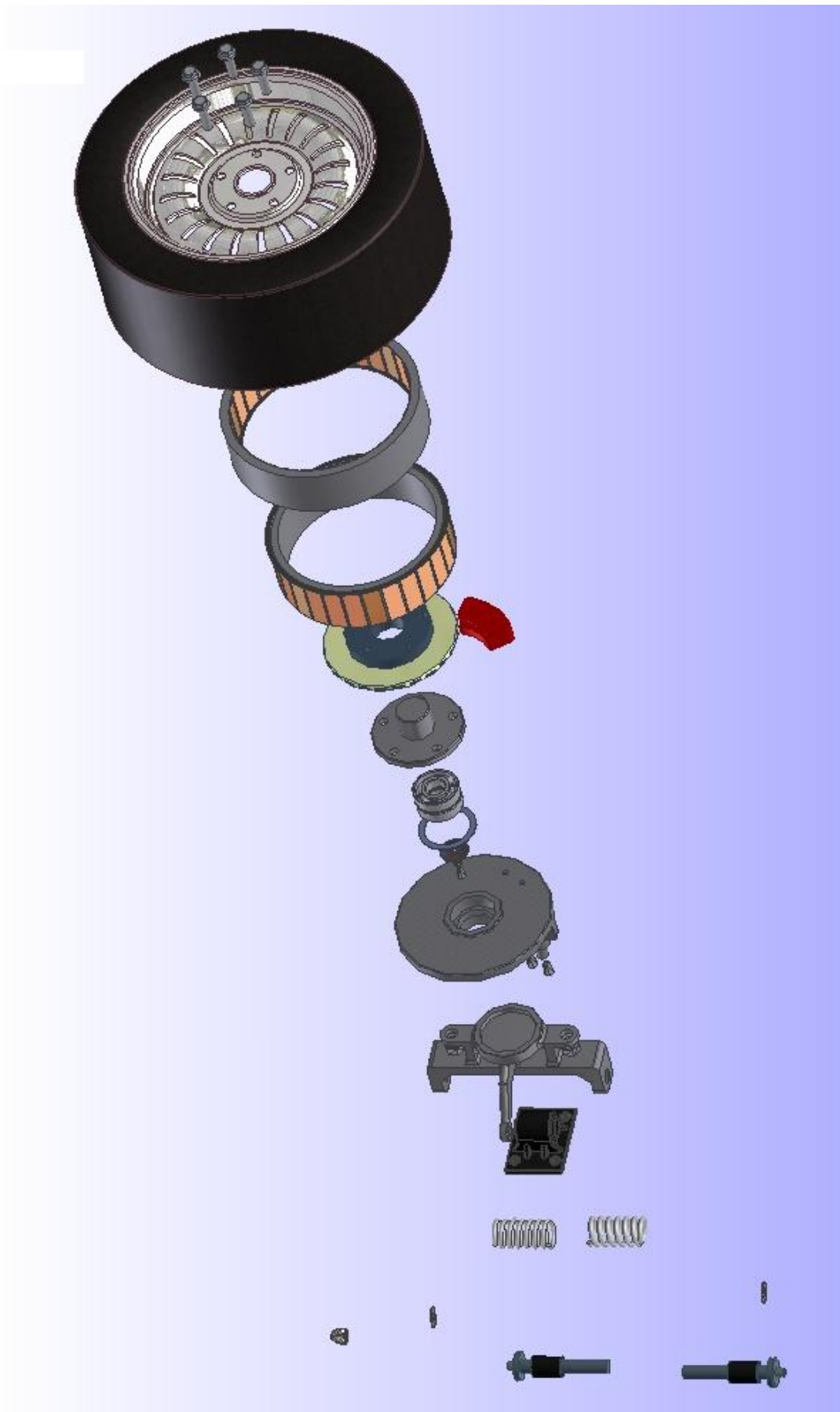
[29] Mitcalc [online]. 2005 [cit. 2011-05-03]. Valivá ložiska. Dostupné z WWW: <<http://www.mitcalc.com/doc/bearings/help/cz/bearingincht.txt.htm>>

[30] ŠAFR, E. *Technika mazání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970

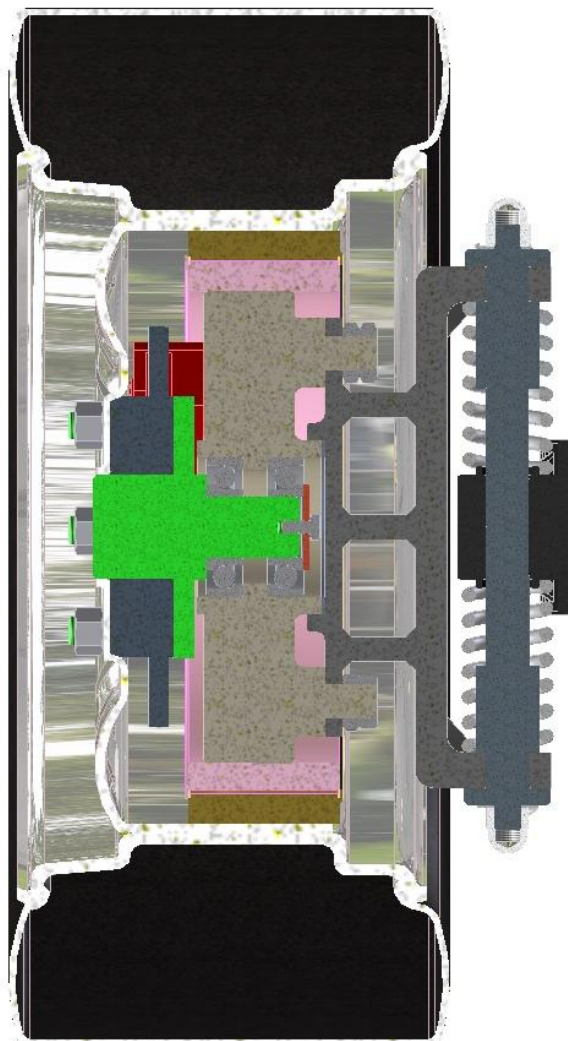
[31] SubsTech [online]. 2011 [cit. 2012-06-04]. Additives in lubricating oils. Dostupné z WWW: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=additives_in_lubricating_oils>

PŘÍLOHA č. 1

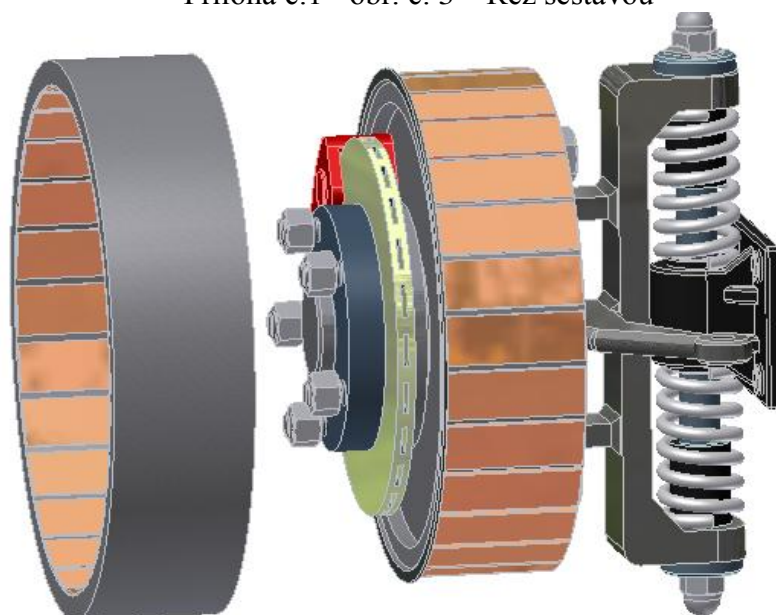
**Autodesk Inventor Professional 2008 – Model uložení kola
s integrovaným elektrickým hnacím ústrojím na dvou
kuličkových ložiskách s kosouhlým stykem**



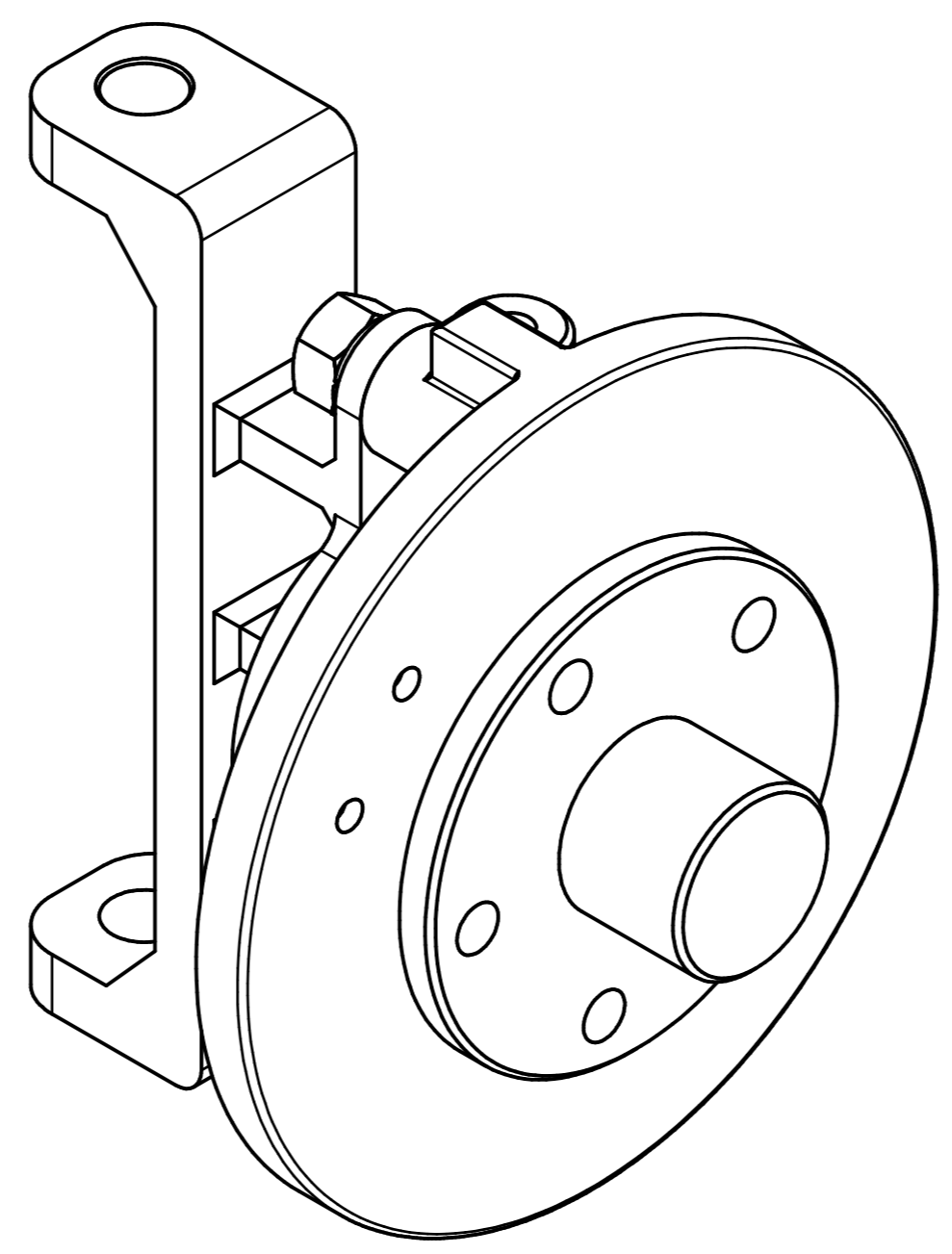
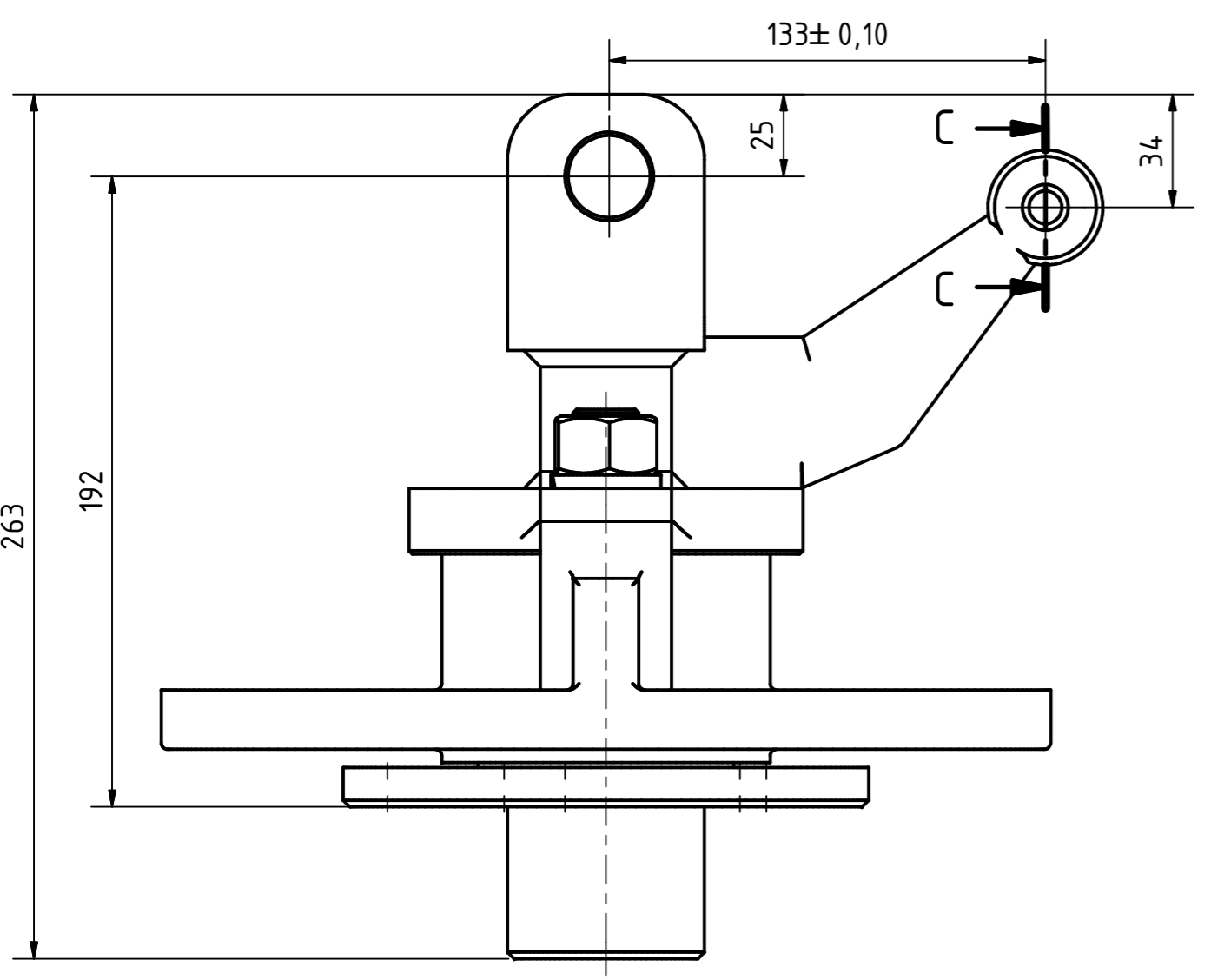
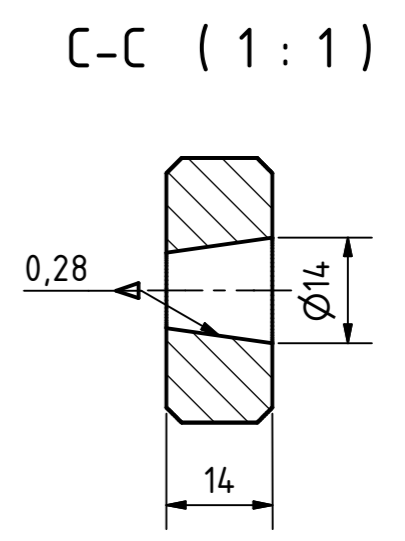
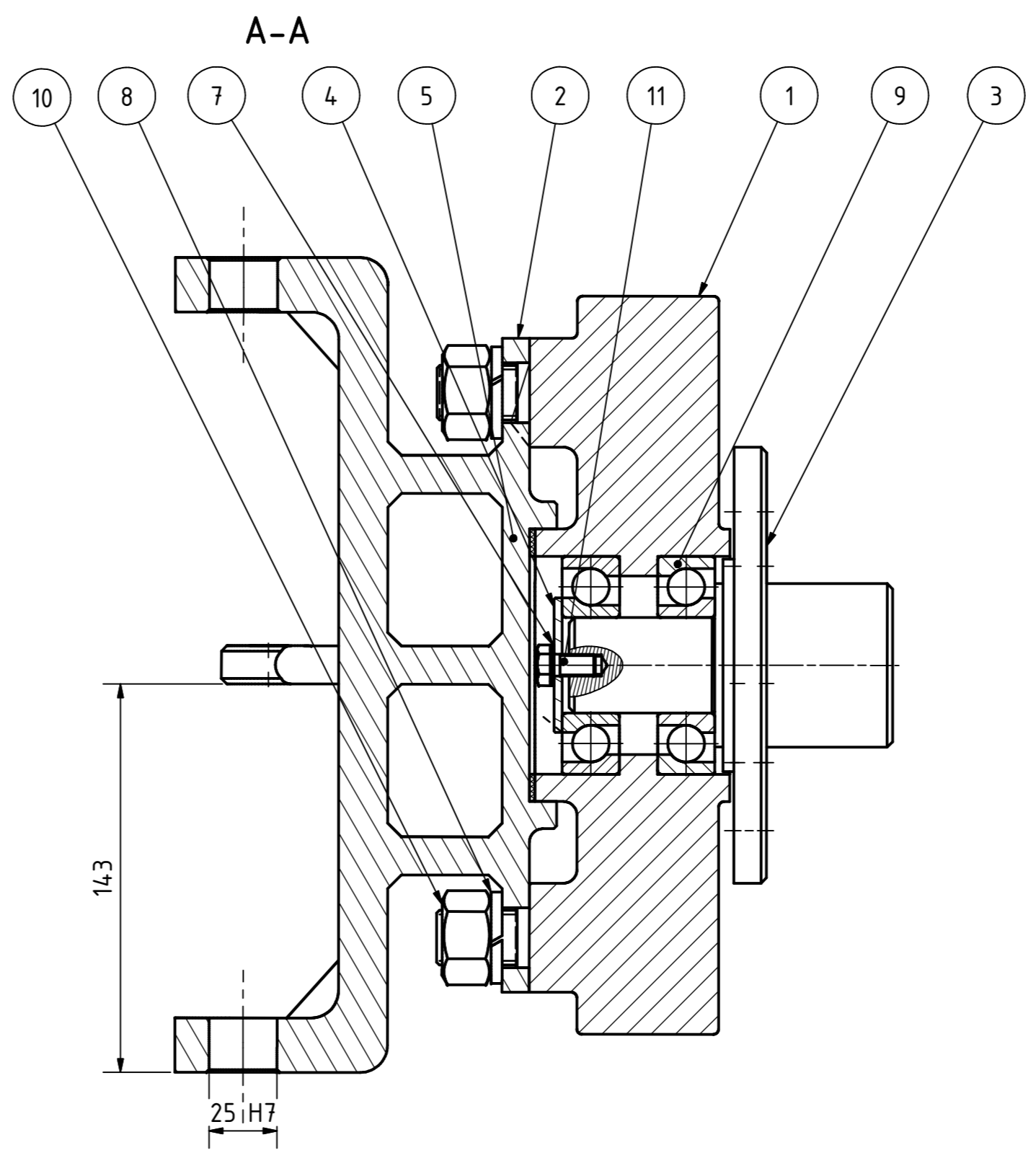
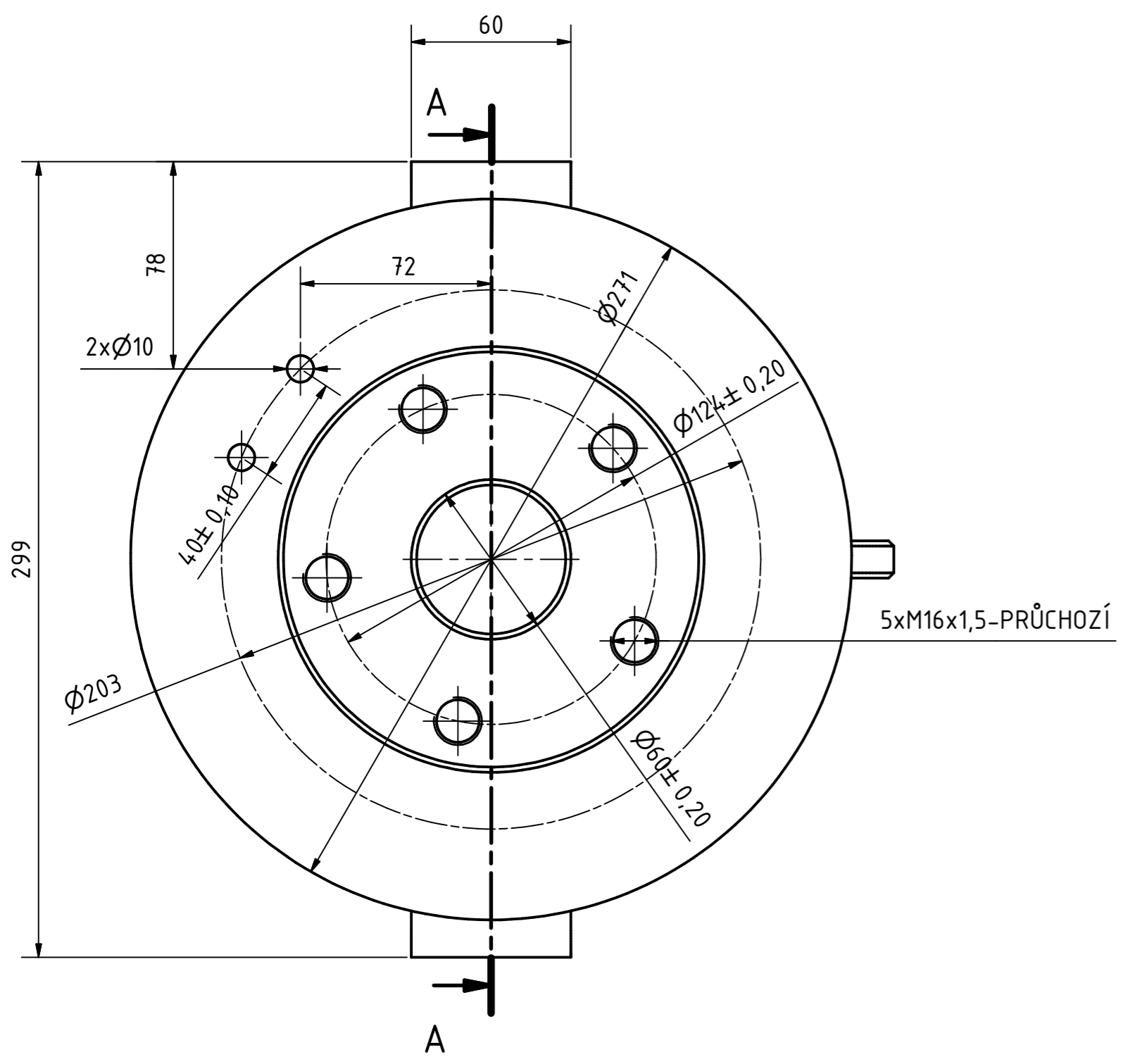
Příloha č.1 - obr. č 1 - Rozstřel sestavy



Příloha č.1 - obr. č. 3 – Řez sestavou



Příloha č.1 - obr. č. 2 – Pohled na el.motor



POZICE	NÁZEV	NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
11	Šroub M8 x 1 x 16 - A	ISO 8676		0,012 kg	1
10	Matice M20 x 1,5	ISO 8673		0,070 kg	2
9	Ložisko SKF 7307 BE	DIN 628 SKF		0,378 kg	2
8	Pružná podložka M20	DIN 127		0,016 kg	2
7	Pružn podložka M8	GB 862.2-87		0,001 kg	1
6					
5	Těsnicí kroužek KR100x80-3	BP KKS 11 01/6	rPE	0,006 kg	1
4	Zajišťující podložka KR50-5	BP KKS 11 01/5	11 373.0	0,006 kg	1
3	Hřídel KR160-120	BP KKS 11 01/4	12 050.1	0,437 kg	1
2	Držák motoru	BP KKS 11 01/3	42 254.0	2,780 kg	1
1	Tělo uložení	BP KKS 11 01/2	42 242.0	3,896 kg	1

Kusovník					
Příloha č.2 k bakalářské práci: Aplikace tribotechniky ve strojírenství-Výkres sestavy uložení hřídele kola s integrovaným el. motorem		Škola: ZČU	Fakulta: FST	Hmotnost 8,066 kg	
		Datum: 17.11.2010	Jméno: Zbránek	Uložení hřídele kola s integrovaným el. motorem	
		Norma:			
		Studijní číslo: S09B0016P			
měřítko 1:2 (1:1)				Číslo výkresu : BP KKS 11 01/1	1
Stav	Změny	Datum	Jméno	A2	