VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH A KONSTRUKCE ÚPRAVY STANICE PRO ZKOUŠKY LOŽISEK

DESIGN AND CONSTRUCTION ADJUSTMENT TEST STATION OF BEARINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — JAROSLAV LANČI
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — ING. JIŘÍ DVOŘÁČEK
SUPERVISOR

BRNO 2009

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí úpravy stanice pro zkoušky ložisek. Součástí této práce je technická zpráva, která tvoří rešeršní část úkolu a slovně shrnuje zadaný problém a jeho řešení. Dále pak výkresová dokumentace tvořící konstrukční část práce, podle které se budou dané úpravy provádět.

Klíčová slova:

Zkušební stanice
Ložisko
Trvanlivost
Dynamická únosnost

Anotation:

This Bachelor thesis is concerned with Design and construction adjustment test station of bearings. The thesis includes a technical report, which made up of the recherche part of the task and verbally comprises query and his resolution. Next part is the design documentation, which makes construction part of work, according that decoration will be executed.

Keywords:

Test station
Bearing
Durability
Dynamic carving-capacity

Bibliografická citace mé práce:

LANČI, J. *Návrh a konstrukce úpravy stanice pro zkoušky ložisek.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 23 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Dvořáček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Jiřího Dvořáčka a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 28. května 2009

Jaroslav Lanči

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat především panu Ing. Jiřímu Dvořáčkovi za obětavou pomoc, cenné rady, připomínky a návrhy při zpracování bakalářské práce, pak panu Rostislavu Konečnému za jeho asistenci v Laboratoři trvanlivosti ložisek Ústavu konstruování. Dále chci poděkovat rodičům za podporu při studiu na vysoké škole a všem, kteří mi byli nápomocni během mého studia.

Obsah

Obsah
Úvod
Zadané parametry **10**
1 Definice základních pojmů **11**
1.1 Trvanlivost 11
1.2 Základní dynamická únosnost 11
1.3 Mezní frekvence otáčení 11
1.4 Pitting 11
2 Přehled současného stavu poznání **12**
3 Formulace řešeného problému a jeho technická a vývojová analýz **13**
4 Vymezení cílů práce **15**
5 Návrh metodického přístupu k řešení **16**
6 Návrh variant řešení a výběr optimální metody **18**
6.1 Výměna stanice 18
6.2 Úprava stávající stanice 18
6.3 Výroba nových přípravků 18
7 Konstrukční řešení **20**
7.1 Výkres sestavení stanice 20
7.2 Výkres podsestavy hřídele 21
7.3 Výrobní výkresy 21
7.4 Model stanice 21
7.5 Kontrola únosnosti a zatížení 22
7.5.1 Kontrola dynamické únosnosti při zatížení 1 200 N 22
7.5.2 Kontrola dynamické únosnosti při zatížení 1 800 N 23
7.5.3 Výpočet kritického zatížení 23
8 Závěr **24**
9 Seznam použitých zdrojů **25**
10 Seznam použitých symbolů a zkratek **26**
11 Seznam obrázků a grafů **27**
12 Seznam příloh **28**

Úvod

Tématem této bakalářské práce je návrh a konstrukce úpravy stanice pro zkoušky ložisek, konkrétně ložisek valivých.

Ložiska jsou obecně brána jako nejdůležitější části většiny strojů. Ve většině případů jsou kladeny přísné nároky na jejich únosnost a spolehlivost. Díky novým konstrukčním a výpočtovým programům probíhá neustálá optimalizace vnitřní konstrukce ložisek. Na druhou stranu, nové technologie zlepšují jakost použitého materiálu a zvyšují jeho odolnost vůči mechanickému a únavovému opotřebení. Základními výhodami valivých ložisek jsou např.: zachycování radiálních a axiálních posuvů a sil dle typu použitého ložiska a jeho uložení, účinnost cca 98% a v neposlední řadě malé nároky na údržbu.

Obecně lze posuzovat jakost výrobku pomocí hodnotících metod a zkoušek. U valivých ložisek probíhá ověřování deklarovaných parametrů dynamické únosnosti a mezní frekvence otáčení.

Tyto zkoušky se provádí na zkušebních stanicích, které jsou pro tyto účely konstruovány a provozovány. Základní dynamickou únosnost je možno zkoušet při kombinovaném (radiálním i axiálním) zatížení. Ložiska jsou zatěžována vnějšími zatíženími dle daného rozsahu, jsou měřeny a zaznamenávány teploty zkoušených ložisek. Další možností je měření hladiny vibrací, podle které je vyhodnocován vznik pittingu.
Základním předpokladem metodiky mezní frekvence otáčení je skutečnost, že valivé ložisko s horšími vlastnostmi, které určují jeho rychloběžnost, bude vyvíjet větší množství tepla. Naopak ložisko s lepšími vlastnostmi bude vyvíjet menší množství tepla. Klíčovým hlediskem pro předpoklad mezního stavu rychloběžnosti valivého uložení je celková tepelná bilance.

Další typy zkušebních metod jsou tzv. speciální zkoušky valivých ložisek. Provádí se na speciálních modelech zkušebních stanic. Jmenovitě se jedná o zkoušky momentu tření, úniku maziva a v neposlední řadě těsnost a zakrytování.
Tyto speciální zkoušky se uskutečňují jak pro výzkumné účely (hlavním iniciátorem zde v Brně je společnost ZKL – Výzkum a vývoj, a. s.), tak zejména pro speciální požadavky zákazníků.

Zadané parametry

Uvedené parametry zkoušky jsou dodané zadavatelem.

- Typ ložiska L 6201

- Zátěžná síla F_1 F_1= 1 200 N

- Zátěžná síla F_2 F_2= F_1+50%= 1 200 + 50%= 1 800 N

- Trvanlivost L L= 50 000 min. = 833, 33 hod.

- Otáčky n n= 3 000 min^{-1}

1 Definice základních pojmů

1.1 Trvanlivost

1.1

Pod pojmem trvanlivost valivého ložiska se rozumí počet otáček, které ložisko vykoná (nebo počet provozních hodin při daných konstantních otáčkách), než se objeví první známky únavy materiálu na valivých tělesech nebo oběžných drahách. Označuje se „L“ a hodnoty jsou udávány v hodinách. Zkoušky i praxe ukazují, že trvanlivost zcela stejných ložisek při stejných provozních podmínkách dosahuje rozdílných hodnot. Aby bylo možné za těchto okolností používat jednotný způsob výpočtu valivých ložisek, byla pro účely posuzování trvanlivosti ložisek zavedena takzvaná základní trvanlivost. Je to tedy trvanlivost, kterou dosáhne nebo překročí 90% stejných ložisek při stejných provozních podmínkách, jestliže je použit standartní materiál a je dosažena standartní výrobní jakost.

1.2 Základní dynamická únosnost

1.2

Základní dynamická únosnost ložiska je definována jako takové stálé neproměnné zatížení, při kterém 90% zcela stejných ložisek dosáhne základní trvanlivosti jednoho milionu otáček. Veličina je značena písmenem „C“ [N]. Hodnoty dynamických únosností jsou pro každé ložisko uváděny v katalogu výrobce či [1]. K jejich stanovení dochází experimentálními metodami.

1.3 Mezní frekvence otáčení

1.3

Je dokázáno, že frekvenci otáčení valivých ložisek není možné do nekonečna zvyšovat. Odstředivé síly v ložisku zvyšují jeho zatížení, nepřesnost chodu vyvolává jeho kmitání a tření v ložisku způsobuje zvyšování teploty. Mezní otáčky závisí na typu, provedení a velikosti ložiska, přesnosti výroby, provedení klece, vnitřní vůle a na provozních poměrech v uložení. Jsou především omezeny nejvyšší přípustnou teplotou maziva. Jednoznačně a obecně platnou hranici přípustných otáček pro valivá ložiska přesně stanovit nelze. Pro rychlou orientaci uvádí výrobci v rozměrových tabulkách směrné hodnoty mezních otáček pro jednotlivá ložiska. Tyto hodnoty vychází z praktických zkušeností a platí pro ložiska s normální vůlí vyrobená v normálním stupni přesnosti, za předpokladu normálních provozních podmínek a chlazení.

1.4 Pitting

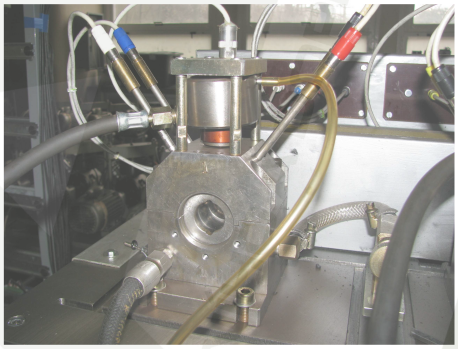
1.4

Pitting je jednoznačně definován jako odlupování nebo drolení materiálu povrchové vrstvy strojní součásti. U valivých ložisek k tomuto jevu dochází v důsledku kontaktní únavy. Ta je výsledkem smykových namáhání, která se cyklicky objevují pod nosným povrchem. Po čase tato namáhání způsobují trhliny, které se postupně šíří na povrch. Jak se valivé segmenty odvalují přes trhliny, tak se odlupují kousky materiálu. Trhliny se zvětšují a nakonec způsobí, že dojde k havárii a ložisko není schopno dalšího provozu.

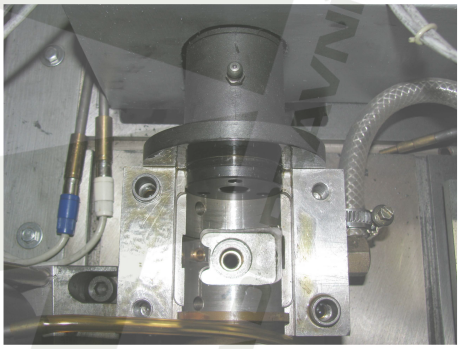
2 Přehled současného stavu poznání

Na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně se zkoušky valivých ložisek provádí v laboratoři trvanlivosti ložisek, na Ústavu konstruování.
V této laboratoři se provádí hned několik druhů ověřování vlastností ložisek na různých typech zkušebních stanic. Modelové řady těchto stanic se odlišují právě druhem zkoušek, které se zde provádí, jako např. zkoušky trvanlivosti, základní dynamické únosnosti, v případě potřeby i statické únosnosti, mezní frekvence otáčení.

Základním zkušebním prvkem je, již výše zmíněná, zkušební stanice (obr. 2-1, 2-2), která je konstruována pro zkoušení tří ložisek současně umístěných v daných přípravcích. Prostřední ložisko je umístěno na středu zkušebního hřídele a je zatěžováno radiální silou požadované velikosti. Zbývající dvě ložiska slouží k uložení hřídele v tělese stanice. Tento typ uspořádání automaticky zaručuje, že jsou všechna tří ložiska zatížena stejně. Celek stanice je přišroubován k pevnému pracovnímu stolu.



Obr. 2-1 Školní zkušební stanice



Obr. 2-2 Pohled do stanice

Do této stanice se vkládají speciální přípravky (Obr. 2-3). Jsou to ocelová kruhová pouzdra z materiálu 12 050.4, která slouží pro uložení zkoušených ložisek během provádění zkoušky. Po obvodu přípravku se nachází několik průchozích otvorů různých velikostí. První skupinu tvoři větší průměr, do něhož je za provozu stanice vsunut snímač, který snímá velikost teplotu a velikost vibrací vznikající při otáčení ložiska. Přípravky zajišťují přesné vedení snímačů k vlastnímu ložisku.
Do druhé skupiny patří otvory menších průměrů kterými je přiváděno mazivo průchozím přívodem umístěným ve dnu stanice. Jeho hlavní funkcí je mazání ložisek.
Pro vymezení polohy ve stanici jsou přípravky opatřeny dvěma vodícími kolíky.

Obr. 2-3 Přípravky

Takto vzniklá sestava ložisek s přípravky je nasazena na zkušební hřídel (Obr 2-4) a celé toto uložení je vloženo do stanice. Poloha a vůle jednotlivých ložisek na hřídeli je vymezena dle potřeby distančními kroužky. Zajištění proti axiálnímu posuvu je realizováno z jedné strany konstrukcí pevné opory na hřídeli a z druhé strany podložkou a maticí, která je přišroubována na závit v čele hřídele.
Zkušební hřídel je poháněn přes předlohový hřídel řemenovým převodem spojeným na elektromotor, který se může nacházet v menší či větší vzdálenosti od zkušební stanice.

Obr. 2-4 Hřídel s distančními kroužky, podložkou a maticí

V současné době, po zhodnocení výše uvedeného a popsaného celku ložiskové zkušební stanice, je jeho použití značně omezené, jednoúčelové a prakticky vhodné pouze pro jeden typ ložisek 6001, která mají normou přesně stanovené rozměry a tím jsou přesně dány i rozměry na ložiska navazujících dílů a součástí zkušební stanice.

3 Formulace řešeného problému a jeho technická a vývojová analýza

Vzhledem k faktu, ze kterého vyplývá současné použití ložiskové zkušební stanice velmi omezené, jednoúčelové a pouze pro jeden typ ložisek, je požadovaným úkolem této práce navrhnout a vypracovat vhodné konstrukční řešení úpravy stávající zkušební stanice pro provádění zkoušek na nových typech ložisek s číselným označením 6201.

4 Vymezení cílů práce

4

Po bližším prostudování zadání a pří hlubší analýze tohoto problému, uvedené v kapitole 3, vyplývá, že hlavním problémem a zároveň jedním ze směrodatných kritérií jsou rozdílné rozměry a charakteristické parametry obou typů ložisek.

Parametry těchto typů ložisek jsou uvedeny níže.

3.1 Ložisko 6001 (Obr. 4-1) – parametry

3.1

- vnitřní průměr ložiska: d= 12 mm
- vnější průměr ložiska: D= 28 mm
- šířka ložiska: B= 8 mm
- dynamická únosnost: C= 3 900 N
- statická únosnost: C_0= 2 200N

Obr. 4-1 Ložisko 6001

3.2 Ložisko 6201 (Obr. 4-2) – parametry

3.2

- vnitřní průměr ložiska: d= 12 mm
- vnější průměr ložiska: D= 32 mm
- šířka ložiska: B= 10 mm
- dynamická únosnost: C= 5 300 N
- statická únosnost: C_0= 3 100N

Obr. 4-2 Ložisko 6201

Z výše uvedených parametrů obou součástí je patrné, že rozměrové rozdíly vychází z vnějšího průměru a celkové šířky ložisek. Cílem práce je tedy odstranit a konstrukčním řešením vhodně vyřešit tyto rozměrové rozdíly . Odlišné hodnoty charakteristických vlastností, které jsou zde číselně zastoupeny statickou a hlavně dynamickou únosností, mají rozhodující vliv na stanovení a následnou kontrolu zatížení ložisek během provádění zkoušky. Podrobnější analýza a řešení těchto záležitostí bude zpracována níže.

5 Návrh metodického přístupu k řešení

Tato kapitola se v podstatě zabývá popisem metodiky práce a zkoumáním daného objektu zájmu. Metodický přístup lze rozdělit do tří částí:

1) Seznámení s problémem
2) Zpracování podkladů pro návrh konstrukčních variant
3) Vlastní konstrukční řešení

Na začátku zpracovávání tohoto úkolu bylo základní potřebou a prvořadou nutností vlastní seznámení se s konkrétním řešeným předmětem. Veškeré tyto záležitosti a následující operace byly prováděny v laboratoři trvanlivosti ložisek, kde se zkušební stanice nachází a kde je během zkoušek provozována.

Po obecném uvedení do problematiky ověřování vlastností ložisek zkouškami a vysvětlení základních funkcí nejen upravovaného zařízení, ale i ostatních typů, které se v této laboratoři nachází, byla konkrétní stanice představena jako požadovaný objekt zpracování a předmět řešení.

Pro bližší pochopení činnosti se muselo dané zařízení demontovat na dílčí části. Tím se odkryl úložný a pracovní prostor, vytvořený uvnitř stanice, kde se nachází zkušební hřídel s ložisky, její uložení a umístění přípravků. Zároveň se tak utvořila představa, co se zde děje za provozu během zkoušky, kdy je komplet pevně sešroubován (Obr. 2-1, 2-2).
K podrobnější představě s danou problematikou se poté zkoumaly samotné přípravky uvnitř stanice, jako klíčové členy, které jsou v přímém kontaktu s ložisky.

Následně po tomto seznámení byla nutno vypracována technická dokumentace. Byla pořízena kompletní obrazová fotodokumentace, ve které je zahrnuto vyobrazení zkušebního vybavení jako celku, dále detaily částečně demontovaného stavu s důrazem na vizualizaci stavu vnitřní části a nakonec samostatných dílů.

V dalším kroku, nutném ke zpracování potřebných podkladů, se určily rozměry jednotlivých částí celého zařízení. Byly zjištěny hodnoty hlavních délkových rozměrů stanice, dílčích potřebných rozměrů vnitřní části a nakonec průměrových a délkových rozměrů součástí vložených do tohoto vnitřního prostoru.

Podle takto vzniklých a utříděných hodnot byla ve 2D rozhraní vytvořena požadovaná výkresová dokumentace, která je součástí technické dokumentace tvořící konstrukční část řešení zadaného úkolu. Skládá se z výkresu sestavení celé zkušební stanice, dílčí podsestavy zkušebního hřídele s ložisky a přípravky a z podrobných výrobních výkresů konkrétních komponent. Na základě jednotlivých výkresů se vymodeloval ve 3D rozhraní model stanice a základních dílů.

6 Návrh variant řešení a výběr optimální metody

Ze zjištěných závěrů (viz kap. 3 a 4) vzniklo několik možných a reálných návrhů variant řešení. Vzhledem ke složitosti celku, počtu dílů a z možností jejich úprav bylo vybráno několik použitelných variant.

6.1 Výměna stanice

Výběr možnosti výměny celé sestavy ložiskové zkušební stanice by jistě znamenal velký krok dopředu v modernizaci způsobů provádění zkoušek valivých ložisek. Jednalo by se především o novější a přesnější uložení ložisek v moderních přípravcích, dokonalejší upnutí uvnitř samotného zkušebního zařízení, lepší podmínky pro působení požadovaného zatížení, přesnější snímání sledovaných vlastností a dnes také často preferovaný hladký a futuristický celkový vzhled celého kompletu.
Je potřeba brát v úvahu fakt, který je v dnešní době nejvíce směrodatný a v některých případech zcela určující a tím je bezesporu cena. Pořizování celého nového zkušebního celku, vzhledem na přesnost výroby, je velmi nákladná a nejdříve testovací a později stálý provoz také s sebou nesou jistá finanční rizika.

6.2 Úprava stávající stanice

V současné době používané stanice, ač jsou staršího data (některé 12 až 15 let staré), mají od pořizování nových verzí jisté výhody. Především je to zaběhnutý a stálý provoz (tím odpadá nutnost testování nových strojů) a např. také vybavená dílna uzpůsobená pro případné opravy. Finančně je tato varianta v rámci možností dostupná, nicméně vlastní zásah fyzický zásah do stanice je konstrukčně velmi náročný, konečný výsledek nejistý. Není tudíž zajištěna 100% úspěšnost díla a také další důležitý faktor, a tím je univerzální (více jak dvouúčelové) použití stanice jako kompletu.

6.3 Výroba nových přípravků

Poslední reálnou a možnou variantou byla navržena výroba nových přípravků pro upnutí ložisek během zkoušky. Při realizaci této možnosti se zachovaly klíčové rozměry zkušební sestavy, omezeny hlavními rozměry zkušební stanice.

V této variantě nebylo nutné měnit zkušební hřídel a vnitřní prostor pro jeho uložení. Oproti bodu 6.1 je tato varianta finančně velmi výhodná a dále časově nejdostupnější – nákup celého nového zkušebního zařízení je časově zdlouhavý proces. Ve srovnání s bodem 6.2 je konstrukčně nenáročná. Co se týče použití, je při realizaci této možnosti řešené zkušební zařízení, a to nejen teď, ale-i do budoucna, plně univerzální a díky počtu typů ložisek všestranně použitelné.

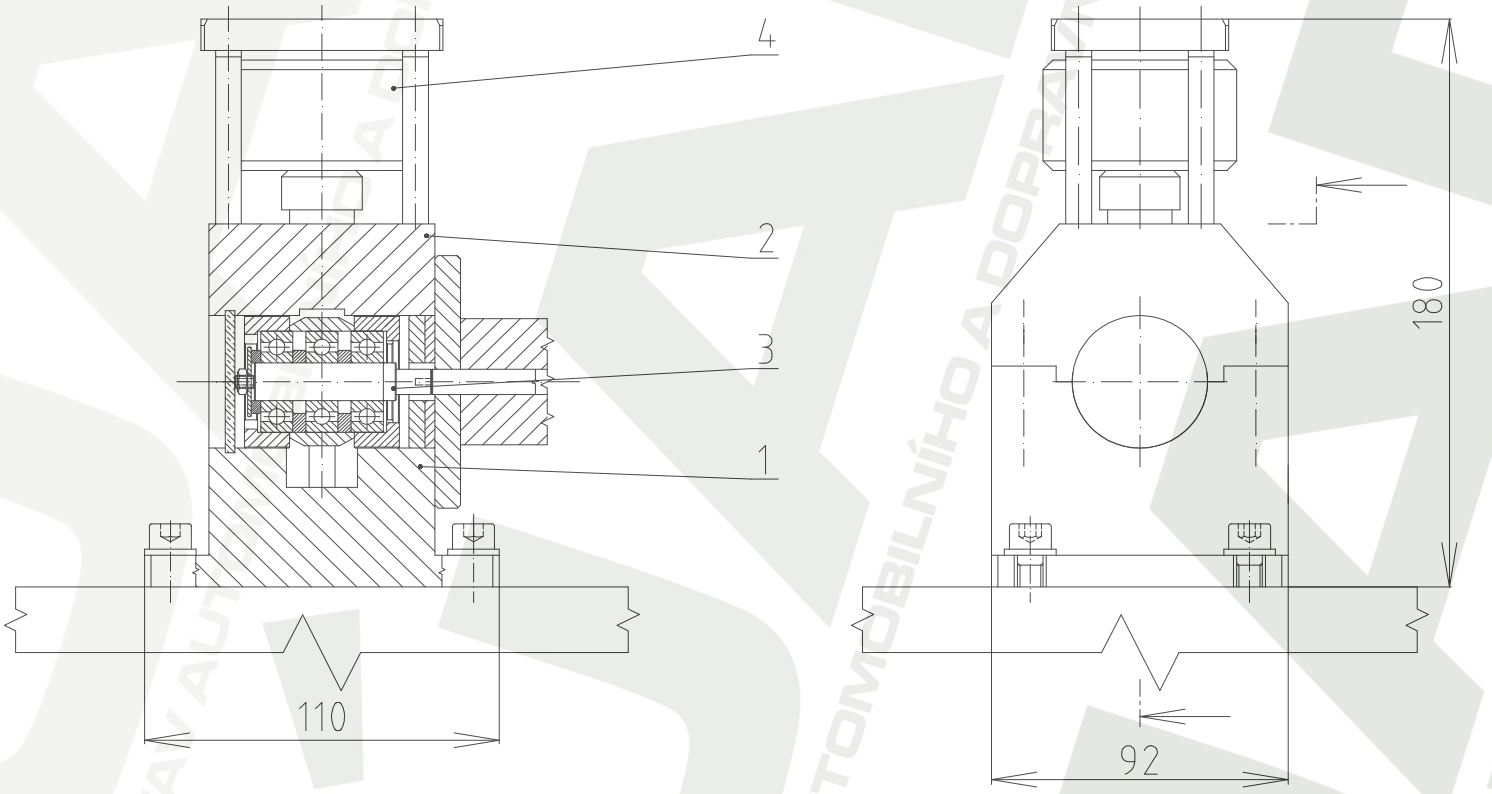
Na základě tohoto rozboru, byla tato varianta z konstrukčního, technologického a ekonomického hlediska vybrána jako nejvhodnější, a pro použití v současných podmínkách nejflexibilnější. Byly vytvořeny výrobní výkresy pro jednotlivé nové přípravky dle parametrů nových typů ložisek, nové distanční kroužky pro vymezení vůle ložisek na hřídeli a nové pojistné kroužky proti axiálnímu posuvu ložisek z hřídele.

7 Konstrukční řešení

Vlastní konstrukční řešení je reprezentováno výkresovou dokumentací, podle které se budou vybrané komponenty vyrábět. Tato dokumentace byla vytvořena ve 2D rozhraní v programu AutoCAD. 3D model pak vznikl v programu Inventor. Popis jednotlivých druhů výkresů je uveden níže.

7.1 Výkres sestavení stanice

Jedná se o výkres sestavení, na kterém je vyobrazeno kompletně smontované a sešroubované zkušební zařízení. K vlastní stanici jsou přivedeny snímače teploty a vibrací napojené na vyhodnocovací zařízení. Dále pak přívodní hadice, které pohání hydraulické radiální zatížení. Pozice 1 na výkrese sestavení uvádí spodní díl stanice, pozice 2 horní díl, pozice 3 zkušební uzel a pozice 4 zátěžné zařízení (Obr. 7-1).



Obr. 7-1 Náčrtek sestavení stanice

7.2 Výkres podsestavy hřídele

7.2

Tato podsestava tvoří tzv. zkušební uzel. Skládá se ze zkušebního hřídele, na kterém jsou nasazena ložiska typu 6201. Ta jsou oddělena distančními kroužky a zajištěna pojistnou podložkou přišroubovanou maticí M4 na volném čele hřídele. Materiál byl zvolen 12 050.4, stejný materiál jako přípravky. Geometrické tolerance byly voleny s ohledem na funkčnost součásti. Je zde uvedena kruhovitost a obvodové házení na rotační ploše, kolmost a rovinnost čelních ploch.

7.3 Výrobní výkresy

7.3

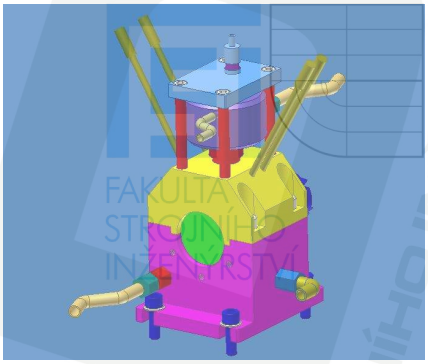
Obsahují detailní zobrazení jednotlivých součástí, které se budou nově vyrábět. Jedná se o přípravky pro uložení ložisek, distanční kroužky a pojistnou podložku. Jako geometrické tolerance je zde uvedeno celkové obvodové házení na vnějším průměru a kruhovitost plochy na vnitřním průměru, který zároveň tvoří vnější průměr ložiska. U nových přípravků se zvětšil vnitřní průměr z 28 mm na 32 mm a vnitřní šířka z 8 mm na 10 mm. Tyto změny jsou dány rozdílnými rozměry obou typů ložisek. Vnější průměr a celková šířka přípravku zůstala zachována tak, aby splňovala rozměrové požadavky vnitřního pracovního prostoru zkušební stanice.
U distančních kroužků se především změnila celková šířka kroužku. Dle požadavku na konstantní rozměr zkušebního hřídele byla šířka kroužku zmenšena, v závislosti na zvětšené celkové šířce nového ložiska 6201. Geometrická tolerance je zde předepsána celkovým obvodovým házením, jak je tomu i u přípravků.
Pojistný kroužek byl, oproti původnímu, nově navržen s větším vnějším průměrem. Tento fakt byl ovlivněn větším vnějším průměrem nového typu ložiska.

7.4 Model stanice

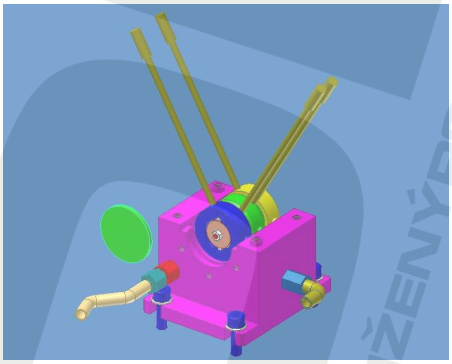
7.4

Vizualizace sestavy zkušební stanice provedená ve 3D rozhraní slouží, se svým prostorovým vyobrazením, pro lepší představu a náhled provedených konstrukčních změn uvnitř zařízení.

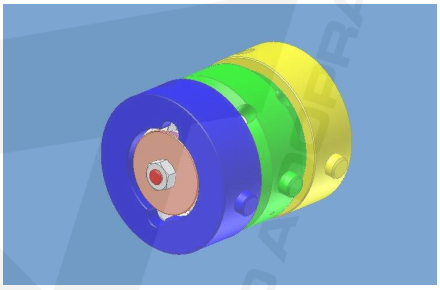
7.4



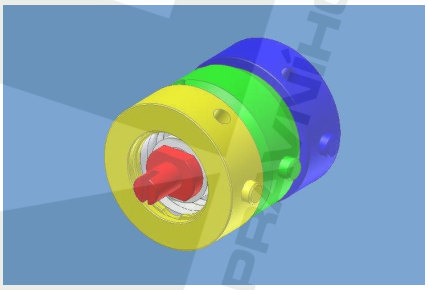
Obr. 7-2 Model stanice



Obr. 7-3 Řez stanicí



Obr. 7-4 Zkušební uzel_1



Obr. 7-5 Zkušební uzel_2

7.5 Kontrola únosnosti a zatížení

7.5

Výpočtem zkontrolované a stanovené hodnoty únosnosti a zatížení jsou klíčové parametry zkoušky dodané zadavatelem.

7.5.1 Kontrola dynamické únosnosti při zatížení 1 200N

7.5.1

$$C_1 = \frac{F_1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{L_h \cdot n}{16666}} = \frac{1200N}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{833{,}33hod \cdot 3000\,\mathrm{min}^{-1}}{16666}} = 3188N < C$$

kde: 7.5.1

C_1[N] dynamická únosnost ložiska při zatížení F_1= 1 200 N
F_1[N] zatížení ložiska
L_h[hod] životnost ložiska v hodinách
n[min^{-1}] otáčky
C[N] základní dynamická únosnost ložiska 6201, C= 5 300 N

7.5.2 Kontrola dynamické únosnosti při zatížení 1 800N

7.5.2

$$C_2 = \frac{F_2}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{L_h \cdot n}{16666}} = \frac{1800N}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{833{,}33hod \cdot 3000\,\mathrm{min}^{-1}}{16666}} = 4782N < C$$

kde:

C_2[N] dynamická únosnost ložiska při zatížení F_2= 1 800 N
F_2[N] zatížení ložiska
L_h[hod] životnost ložiska v hodinách
n[min^{-1}] otáčky
C[N] základní dynamická únosnost ložiska 6201, C= 5 300 N

7.5.3 Výpočet kritického zatížení

7.5.3

$$F_3 = 2 \cdot \left(\frac{C}{\sqrt[3]{\frac{L_h \cdot n}{16666}}} \right) = 2 \cdot \left(\frac{5300N}{\sqrt[3]{\frac{833{,}33hod \cdot 3000\,\mathrm{min}^{-1}}{16666}}} \right) = 1995N$$

kde:

C[N] základní dynamická únosnost ložiska 6201
F_3[N] kritické zatížení ložiska
L_h[hod] životnost ložiska v hodinách
n[min^{-1}] otáčky

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zpracovat vhodné konstrukční řešení úpravy stávající stanice pro zkoušky valivých ložisek. Po přezkoumání a zhodnocení současného stavu, byla jako nejvhodnější varianta vybrána výroba nových přípravků pro uložení ložisek v původním zkušebním zařízení. Spolu s nimi budou vyráběny nově i distanční kroužky vymezující vůle mezi ložisky a pojistný kroužek zamezující axiální posuv ložisek ze zkušebního hřídele uloženého ve vnitřním pracovním prostoru stanice.
Zvolená varianta je ekonomicky nejvýhodnější, konstrukčně jednoduchá a snadno proveditelná, i za použití běžně dostupných materiálu (např. ocel 12 050.4) a výrobních postupů a strojů (postačí konvenční obráběcí stroje). Časově je tato možnost snadno realizovatelná – odpadají velké výrobní časy nových zkušebních zařízení a jejich dlouhé dodací lhůty. Následný provoz, údržba a použití jsou taktéž technologicky nenáročné a spolehlivé.
Navržené konstrukční řešení se zpracovalo do výkresové dokumentace, která slouží jako podklad pro jeho konečnou výrobu. Pro lepší představu byl vytvořen i 3D model konstrukčního zpracování.
Nakonec se ověřily charakteristické parametry nového typu ložiska dle zadaných údajů. Vypočtené veličiny mají menší hodnoty, než udávají katalogy výrobců či [1] a tudíž vyhovují zadaným požadavkům.
Cíle práce byly v souladu se zadáním splněny. Rezervy však zůstávají v omezeném množství prováděných druhů zkoušek. Současné zařízení ověřuje pouze životnost a dynamickou únosnost ložiska na základě působení daného zatížení.

9 Seznam použitých zdrojů

[1] LEINVEBER J. , ŘASA J. , VÁVRA P. *Strojnické tabulky*. 3. vydání. Pedagogické nakladatelství Scientia, Praha, březen 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6

[2] LUKL J., ZIMUND V. *Posuzování spolehlivosti ložisek*, MM Průmyslové spektrum 11/2004, [cit. 2009-04-10], str. 24

Odkaz: http://www.mmspektrum.com/clanek/posuzovani-spolehlivosti-valivych-lozisek

[3] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, *Ověřování vlastností valivých ložisek*, MM Průmyslové spektrum, 11/2001, [cit. 2009-04-10], str. 26

Odkaz: http://www.mmspektrum.com/clanek/overovani-vlastnosti-valivych-lozisek

[4] MITCalc – Mechanical, Industrial and Technical Calculations – Podpora

Odkaz: http://www.mitcalc.com/doc/bearings/help/cz/bearinginchtxt.htm

[5] ZKL – Výzkum a vývoj, a. s. – Média o nás

Odkaz: http://www.zkl.cz/czech/koncern_media.aspx?id=ce944131-0e12-4689-b158-7abf4ed96daa

10 Seznam použitých symbolů a zkratek

10.1 Seznam použitých symbolů

10.1

B	[mm]	celková šířka ložiska
C_0	[N]	základní statická únosnost ložiska
C_1	[N]	dynamická únosnost ložiska při zatížení F_1= 1 200 N
C_2	[N]	dynamická únosnost ložiska při zatížení F_2= 1 800 N
C	[N]	základní dynamická únosnost ložiska
d	[mm]	vnitřní průměr ložiska
D	[mm]	vnější průměr ložiska
F_1	[N]	zatížení ložiska dodané zadavatelem
F_2	[N]	zatížení ložiska dodané zadavatelem
F_3	[N]	kritické zatížení ložiska
L	[min]	základní trvanlivost
L_h	[hod]	trvanlivost v hodinách
N	[min^{-1}]	počet otáček za minutu

10.2 Seznam použitých zkratek

10.2

atd.	a tak dále
cca	circa
mj.	mimo jiné
např.	například

11 Seznam obrázků a grafů

Obr. 2-1 Školní zkušební stanice
Obr. 2-2 Pohled do stanice
Obr. 2-3 Přípravky
Obr. 2-4 Hřídel s distančními kroužky, podložkou a maticí
Obr. 4-1 Ložisko 6001
Obr. 4-2 Ložisko 6201
Obr. 7-1 Náčrtek sestavení stanice
Obr. 7-2 Model stanice
Obr. 7-3 Řez stanicí
Obr. 7-4 Zkušební uzel_1
Obr. 7-5 Zkušební uzel_2

12 Seznam příloh

Příloha č. 1	č.v. 2-P22-00/00
Příloha č. 2	č.v. 3-P22-01/00
Příloha č. 3	č.v. 3-P22-01/01
Příloha č. 4	č.v. 3-P22-01/02
Příloha č. 5	č.v. 3-P22-01/03
Příloha č. 6	č.v. 4-P22-02/02
Příloha č. 7	č.v. 4-P22-02/03
Příloha č. 8	č.v. 4-P22-02/04