



Inovace přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek s funkcí axiálního předpětí

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Inovační inženýrství

Autor práce:

Bc. Oskar Krejčí

Vedoucí práce:

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Katedra částí a mechanismů strojů





Zadání diplomové práce

Inovace přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek s funkcí axiálního předpětí

Jméno a příjmení: **Bc. Oskar Krejčí**
Osobní číslo: S17000213
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Inovační inženýrství
Zadávací katedra: Katedra částí a mechanismů strojů
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

Provedte inovaci přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek. Přípravek je určený k měření radiální tuhosti valivých ložisek použitých v převodových skříních koncernu Volkswagen Group na zařízení Inova FU 250. V přípravku je možné měřit kuličková, válečková a kuželíková ložiska. Konstrukce umožňuje zatížit ložisko také v axiálním směru a během procesu měření vzájemně otáčet kroužky ložiska.

Zařízení musí splňovat následující parametry:

- minimální průměr díry ložiska 22 mm,
 - maximální vnější montážní průměr vnějšího kroužku 96 mm,
 - maximální šířka ložiska 32 mm,
 - maximální radiální zatížení 20 kN,
 - maximální axiální zatížení 5 kN.
1. Vypracujte rozbor stávajícího konstrukčního řešení včetně popisu metodiky měření radiální tuhosti.
 2. Provedte průzkum potenciálních řešení, včetně patentové rešerše.
 3. Navrhněte tři koncepty možných řešení odstraňující zjištěné nedostatky, při zachování požadovaných parametrů. Navržené varianty kvantitativně zhodnoťte a proveďte výběr nejlepší varianty.
 4. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska metod DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap.
 5. Provedte detailní konstrukci a FEM analýzu vybrané varianty (3D sestava, výkresová dokumentace a výstupy analýzy).
 6. Ekonomické zhodnocení.
 7. Závěrečné zhodnocení.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

přílohy dle potřeby
50
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
[2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
[3] LEINVEBER, J. a VÁVRA P. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
[4] MAŠÍN, I. a JIRMAN, P. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
[5] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství – Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
[6] SKF. Rolling bearings in industrial gearboxes – part I [online]. Copyright SKF, 1997 [cit. 14.10.2019]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/tcm:151-73075/0901d1968010a4d1-SKF4560_E_1_tcm_12-73075.pdf
[7] SKF. Rolling bearings in industrial gearboxes – part 2 [online]. Copyright SKF, 1997 [cit. 14.10.2019]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/tcm:151-73081/0901d1968010a50c-4560_E_2_tcm_12-73081.pdf

Vedoucí práce:

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání práce:

12. února 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

12. srpna 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

11. června 2020

Bc. Oskar Krejčí

Inovace přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek s funkcí axiálního předpětí

Anotace:

Diplomová práce se zabývá inovací přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek. Cílem inovace je stanovení radiální tuhosti valivých ložisek na základě experimentálního měření. Práce popisuje proces generování konceptů a výběr optimální varianty na základě zvolených kritérií. Obsahem práce je detailní konstrukce 3D modelu přípravku a jeho ověření metodou FMEA a napěťovou analýzou FEM. Experimentální část práce stanovuje metodiku měření pomocí inovovaného přípravku a zabývá se metodikou vyhodnocení naměřených dat. Závěrečná část je věnována optimalizaci přípravku metodami TRIZ a ekonomickému zhodnocení projektu.

Klíčová slova: valivá ložiska, tuhost, radiální, inovace, měření, přípravek, experiment, konstrukce

Innovation of fixture for measurement of radial stiffness of rolling bearings with axial preload fiction

Annotation:

The aim of this thesis is innovation of the fixture for measurement of the radial stiffness of the roller bearing. The goal of the innovation is to determine the radial stiffness based on the experimental measurement. The thesis describes the process of generation of the concepts and selection of the optimal variant based on the chosen criterions. The thesis includes detailed construction of the 3D model and its verification using the FMEA method and the FEM stress analysis. The experimental part of the thesis determines methodology of the measurement using this fixture and methodology for the result processing. The final part of the thesis describes the TRIZ optimization of the measurement fixture and the economical valorization of the whole project.

Key words: roller bearings, rigidity, radial, innovation, measurement, fixture, experiment, design

Tímto odstavcem bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky v průběhu konzultací. Rovněž bych rád poděkoval společnosti LENAM s.r.o. za poskytnutí tématu práce a softwarové i hardwarové podpory ve fázi konstrukce a FEM simulací. Dále bych rád poděkoval všem kolegům, se kterými jsem mohl vést odborné diskuze ohledně témat týkajících se obsahu této diplomové práce.

Obsah

Seznam použitých zkratek, značek a symbolů	9
1 Motivace a pozadí této práce	11
1.1 Představení firmy LENAM s.r.o.	12
2 Cíle práce	12
3 Analýza současného stavu	14
3.1 Průzkum trhu.....	15
3.1.1 RAH-1D.....	15
3.1.2 Testovací zařízení firmy Schaeffler	16
3.2 Patentový průzkum	17
3.2.1 Patent 186108 – Zařízení ke zkoušení ložisek.....	18
3.2.2 Patent 218005 – Zařízení na zkoušení mezních vlastností radiálních valivých ložisek	19
3.2.3 Patent 248316 – Zařízení k zatěžování ložisek při jejich zkoušení	20
4 Inovační záměr	21
4.1 Inovační prohlášení	21
5 Návrhy inovativních řešení	22
5.1 Analýza zdrojů	22
5.2 Varianta A.....	22
5.3 Varianta B.....	24
5.4 Varianta C.....	25
6 Hodnocení a výběr varianty.....	27
6.1 AHP metoda	27
6.2 Kritéria hodnocení.....	28
6.2.1 Stupeň automatizace měření.....	28
6.2.2 Tuhost přípravku	29
6.2.3 Přesnost odměřování.....	30
6.2.4 Čas na výměnu vzorku	30
6.2.5 Cena	31
6.3 Vybraná varianta	31
7 Detailní konstrukce vybrané varianty.....	32
7.1 Popis konstrukce přípravku.....	33

7.1.1	Systém měření posunu hřídele.....	35
7.1.2	Funkce axiálního předpětí testovaných ložisek.....	36
7.2	FMEA-K.....	36
7.3	FEM analýza konstrukčního řešení.....	37
7.3.1	Nastavení výpočetního modelu.....	39
7.3.2	Výsledky FEM analýzy.....	40
7.4	Použité vybavení.....	42
7.4.1	inova FU 250.....	42
7.4.2	Měřicí ústředna DEWE-5000.....	43
7.4.3	Aparatura Kistler.....	44
7.4.4	Inkrementální snímač posunutí hřídele.....	44
8	Metodika a měření radiální tuhosti.....	45
8.1	Montáž ložisek do přípravku.....	46
8.2	Statická zkouška (bez protáčení).....	46
8.3	Kvazi-dynamická zkouška (s protáčením).....	47
8.4	Vyhodnocení radiální tuhosti.....	48
8.5	Korekce tuhosti přípravku.....	49
9	Návrhy optimalizace přípravku.....	52
9.1	Funkční objektová analýza.....	52
9.2	Trimming.....	52
9.3	Překonání technického rozporu.....	53
9.3.1	Princip místní kvality.....	54
9.3.2	Princip antitíže.....	54
9.3.3	Princip předběžného působení.....	55
9.3.4	Princip náhrady mechanické soustavy.....	55
9.4	Varianta optického měření.....	55
10	Ekonomické zhodnocení.....	56
11	Závěr.....	57
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek.....	60
	Seznam použité literatury.....	61
	Seznam příloh.....	63

Seznam použitých zkratek, značek a symbolů

μ	Poissonovo číslo	[-]
AHP	Analytic Hierarchy Process	
atd.	a tak dále	
b	součinitel bezpečnosti	[-]
CAE	Computer Aided Engineering – počítačem podporované inženýrství	
CFD	Computational Fluid Dynamics – počítačová dynamika tekutin	
DFX	Design For X	
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	síla	[N]
f	součinitel smykového tření	[-]
FEM	Finite Element Method – metoda konečných prvků	
FMEA-K	Failure Mode and Effects Analysis	
F_N	normálová síla	[N]
FR	Fyzikální Rozpor	
G_i	geometrický průměr	
k	směrnice přímky	[kN/mm]
Kč	korun českých	
k_L	směrnice tuhost ložiska	[kN/mm]
k_P	směrnice tuhosti přípravku	[kN/mm]
k_{PD}	směrnice FEM tuhosti přípravku s ocelovými kroužky (deformable)	[kN/mm]
k_{PEX}	směrnice experimentální tuhosti přípravku	[kN/mm]
k_{PR}	směrnice FEM tuhosti přípravku s tuhými kroužky (rigid)	[kN/mm]
k_V	výsledná tuhost ložiska	[kN/mm]
LVDT	Linear Variable Differential Transformer	
M	moment	[Nm]
MBS	Multi-Body Systems – soustava více těles	
M_T	třecí moment	[Nm]
N2S	node-to-segment	
např.	například	
PID	Proporcionální, Integrační a Derivační (regulátor)	

R_A	reakční síla v uložení A	[N]
R_B	reakční síla v uložení B	[N]
RBE2	ideálně tuhý kinematický prvek	
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
ŠA	Škoda Auto a.s.	
TR	Technický Rozpor	
TUL	Technická univerzita v Liberci	
tzv.	takzvaně	
v_i	Váha (významnost) kritéria	[%]
v_j	Váha (významnost) varianty	[%]
ρ	hustota	[t/mm ³]
σ_{\max}	Lokální ekvivalentní napětí von Mises	[MPa]
ω	úhlová rychlost	[rad·s ⁻¹]

1 Motivace a pozadí této práce

Už od počátků výroby automobilů bylo k přenosu krouticího momentu od motoru ke kolům využíváno převodových skříní. U vozů Škoda Auto (nebo tehdy Laurin & Klement) měly tyto převodovky vždy tři nebo čtyři rychlostní stupně. Pátý rychlostní stupeň přibyl teprve po roce 1980 u modelu Š 742. Po spojení Škoda Auto s koncernem Volkswagen postupně přebírá český výrobce automobilů strategii modulových převodovek koncernu. V současnosti je vývoj manuálně řazených převodovek s označením MQ záležitostí výhradně Škoda Auto.

Převodovka svou funkcí významně ovlivňuje jízdní vlastnosti automobilu. U vozů se spalovacími motory umožňuje udržovat otáčky motoru dle potřeby v rozsahu s nízkou spotřebou paliva nebo v oblasti maximálního výkonu. Aktuální legislativní předpisy tlačí výrobce automobilů k výraznému snižování emisí. Převodovka, jako součást pohonné jednotky automobilu, se podílí na celkových ztrátách svými 6 až 15 procenty. Snižováním těchto ztrát lze tedy snižovat i emise. Pokud hodnotíme energetické ztráty samotné převodovky, tak 40 procent připadá na ložiska. Kromě snižování emisí je potřeba se soustředit i na snížení hluku při chodu převodovky. Hlučná převodová skříň může být zákazníkem vnímána jako určitá nekvalita výrobku. V obou případech hrají důležitou roli ložiska. (1)

Dnešní trendy nejen výroby, ale i vývoje výrobku, směřují k vysoké flexibilitě, minimalizaci nákladů a co možná nejkratší době uvedení nového výrobku na trh. Rychlejší vývoj nového výrobku zajišťuje společnostem lepší konkurenceschopnost. Tento trend úzce souvisí s využitím CAE simulací. Tradiční fyzické ověřování konceptů výrobku v laboratořích je poměrně zdoluhavá záležitost. Příprava zkoušky i její realizace vyžadují určitý čas. Také výroba prototypu bývá často nákladná a zdoluhavá záležitost. Proto je vhodnější testování převést do virtuální podoby, kde se výrazně zkrátí časy i náklady potřebné k ověření výsledku. Samozřejmě experimentální část bude mít vždy své místo ve vývoji, například při testování vlastností materiálů nebo validaci simulačních výsledků.

Vzhledem k výše uvedeným okolnostem využívá Škoda Auto a.s. při vývoji manuálně řazených převodových skříní služeb společnosti LENAM s.r.o. a to zejména v oblasti snižování hluku.

1.1 Představení firmy LENAM s.r.o.

Více než 25 let působí na trhu česká firma LENAM, založená lidmi z akademického prostředí. Název LENAM vznikl jako zkratka tvořená z počátečních písmen – Laboratoř Experimentální Numerické a Analytické Mechaniky. Jak je z názvu patrné, firma se zabývá především mechanikou a to v různých úrovních její aplikace. Hlavní náplní je poskytovat přidanou hodnotu zákazníkovi při vývoji nového výrobku nebo řešit nestandardní situace odhalené v již realizovaných procesech. Nejčastějšími zákazníky jsou výrobci automobilů nebo jejich dodavatelé. K uspokojení potřeb zákazníků disponuje firma třemi odděleními.

Jako hlavní lze označit oddělení zabývající se CAE simulacemi, které využívá k řešení úloh metody FEM, MBS, CFD a další. Kombinací těchto metod je možno řešit i multioborové úlohy. Využívá především komerční software jako Abaqus, Pam-Crash, MSC.SimOffice, MSC.Adams, ANSYS, OpenFOAM, Fluent a ve speciálních případech software vyvinutý firmou LENAM.

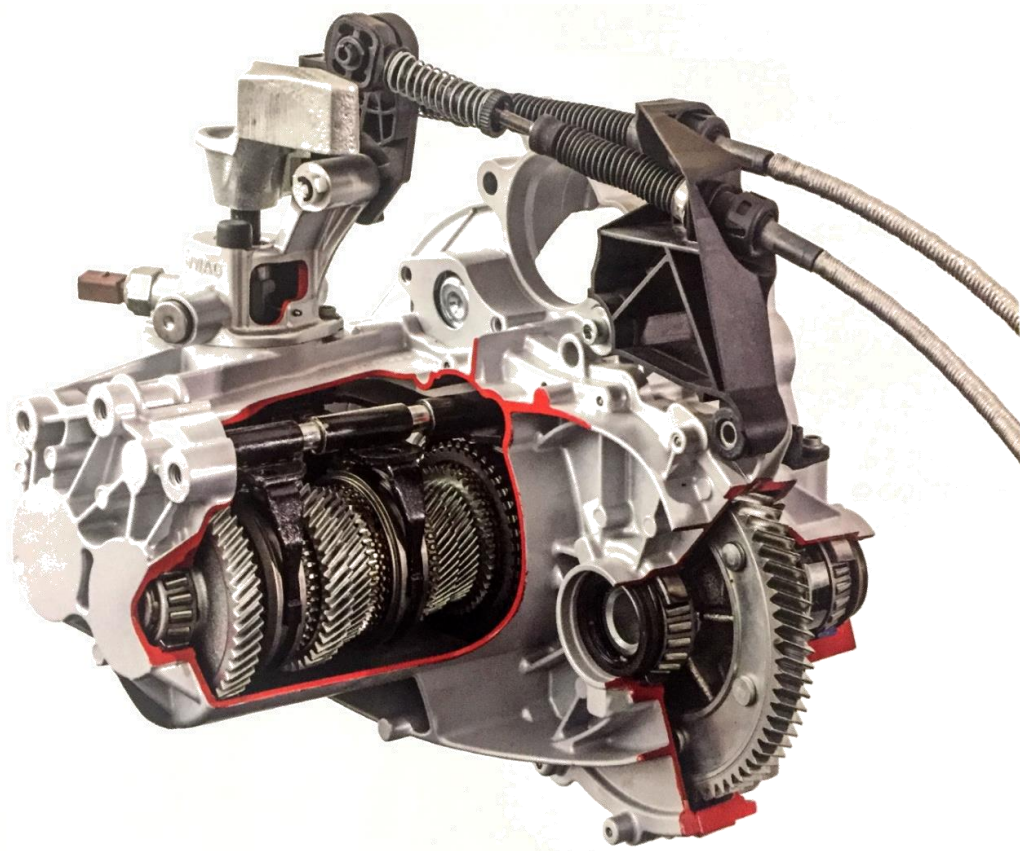
Jako podpora CAE simulacím, ale i jako samostatná jednotka, funguje oddělení laboratoře. Toto oddělení se specializuje na zkoušky mechanických a fyzikálních vlastností materiálů, které slouží k vytvoření materiálových modelů pro CAE simulace. Využíváno je často i zpětně pro verifikaci simulací prostřednictvím experimentu. Další činností laboratoře jsou komponentní nebo speciální zkoušky. Tyto zkoušky jsou navrženy, realizovány a vyhodnoceny dle technických předpisů zákazníka. Pro účely návrhu využívá oddělení CAD software PTC Creo. Ke snímání sledovaných veličin v průběhu realizace zkoušky – měření, slouží hardware Dewetron se softwarem DeweSoft.

V roce 2000 se činnost firmy rozšířila o konstrukční oddělení, specializující se na návrh jednoúčelových strojů dle potřeb zákazníka. Ve složitých případech se využívá komplexních služeb, tedy všech oddělení současně.

2 Cíle práce

Snížování hluku převodových skříní je velice složitá záležitost, na které participuje mnoho faktorů. Jedná se například o technologii výroby ozubených kol,

makrogeometrii i mikrogeometrii ozubených kol, tvar převodových skříní ovlivňující vlastní frekvence skříně atd. Jedním z těchto faktorů, ovlivňujících hlučnost převodovky, může být i radiální tuhost použitých valivých ložisek. Pokud dojde vlivem zatížení hřídele k vychýlení osy hřídele z ideální polohy z důvodu poddajnosti ložiska, mění se tím i tlaková pásma nesení na boku zubů spoluzabírajících ozubených kol. Při vývoji simulačního modelu tedy vznikla potřeba tuto radiální tuhost definovat. Definováním radiální a axiální translační tuhosti lze ve výpočetním modelu zanedbat geometrii ložiska a nahradit ji maticí tuhosti příslušného změřeného ložiska. Tímto zjednodušením je zkrácen výpočetní čas, při zachování přesnosti modelu.



Obr. 1 Řez převodovou skříní MQ100. (1)

Tato diplomová práce se zabývá inovací přípravku pro experimentální stanovení radiální tuhosti valivých ložisek použitých v převodových skříních ŠA. Definováním rozměrů použitých ložisek a silových poměrů v převodových skříních byly stanoveny parametry přípravku shrnuté v tab. 1. Hlavní funkce přípravku je měřit radiální tuhost valivých ložisek a zároveň umožnit jejich axiální předpětí. Během procesu měření musí být umožněno vzájemně otáčet vnitřní a vnější kroužek testovaného ložiska.

Tab. 1 Parametry přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek.

parametr	hodnota
minimální průměr díry ložiska	22 mm
maximální vnější montážní průměr ložiska	96 mm
maximální šířka ložiska	32 mm
maximální radiální zatížení	20 kN
maximální axiální zatížení	5 kN

V diplomové práci bude nejprve prostudováno stávající řešení měření radiální tuhosti valivých ložisek. To bude podrobena kritice, ze které budou určeny příležitosti k inovaci. V dalším kroku bude proveden průzkum trhu a patentová rešerše. Shromážděné poznatky budou částečně nebo zcela použity jako ideové koncepce pro návrh tří variant řešení, které by neměly přesáhnout externí náklady na výrobu v hodnotě 100.000 Kč. Dále budou určena kritéria pro výběr vítězné varianty. Jednotlivé varianty budou objektivně ohodnoceny a bude zvolen vítězný koncept. Tento koncept bude zpracován do 3D modelu v softwaru PTC Creo s ohledem na DFX metody. Konstrukce bude prověřena metodou FMEA-K a podrobena FEM analýze. Ke 3D modelu budou vytvořeny výrobní výkresy součástí pro zadání výroby a výkresy sestav. Součástí práce bude provedené měření tuhosti ložisek spolu s vypracováním metodiky měření a stanovení tuhosti přípravku. Pokud budou při měření odhaleny nedostatky navržené konstrukce, budou pomocí metod systematické kreativity odstraněny. Závěr práce pak bude věnován celkovému a ekonomickému zhodnocení.

3 Analýza současného stavu

Průzkumem trhu nebylo zjištěno žádné testovací zařízení, které by splňovalo požadavky zadání úkolu. Ani výrobci valivých ložisek běžně neuvádějí hodnoty radiální tuhosti v katalogu. Nicméně výrobce SKF u svých velmi přesných válečkových ložisek tyto hodnoty uvádí (obr. 2). Způsob, jakým byly tyto hodnoty získány, však nesděluje. Lze se tedy domnívat, že pro běžná ložiska nejsou hodnoty radiální tuhosti měřeny nebo je výrobce nepovažuje za důležité. U vybraných ložisek výrobce měření provádí nebo stanovuje radiální tuhost jiným způsobem, který nechce zveřejnit.

Cylindrical roller bearings

Table 7

Static radial stiffness								
Bore diameter d	Static radial stiffness N 10						NN 30 ¹⁾ with steel rollers	NNU 49 ¹⁾ with steel rollers
	with steel rollers			with ceramic rollers				
	TN(9) cage	TNHA cage	PHA cage	TN(9) cage	TNHA cage	PHA cage	N/μm	N/μm
mm	N/μm						N/μm	N/μm
25	–	–	–	–	–	–	640	–
30	–	–	–	–	–	–	690	–
35	–	–	–	–	–	–	820	–
40	450	430	390	610	580	510	890	–
45	480	460	410	620	590	530	940	–
50	530	510	460	690	660	590	1 040	–
55	620	590	540	810	770	700	1 220	–
60	680	650	590	890	850	770	1 330	–
65	740	710	650	970	930	840	1 450	–
70	810	780	720	1 090	1 050	950	1 610	–
75	820	790	720	1 090	1 050	960	1 610	–
80	920	880	810	1 190	1 140	1 040	1 820	–

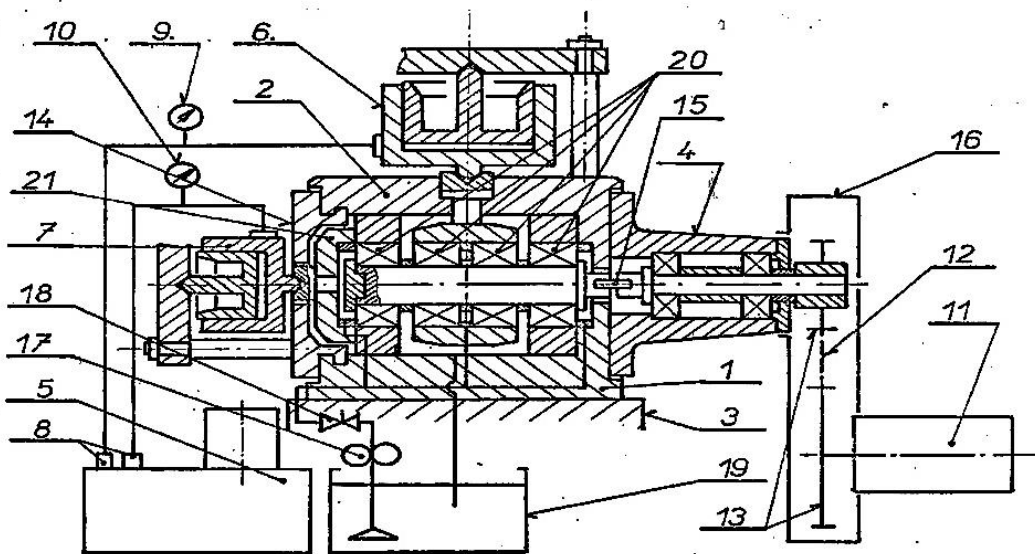
Obr. 2 Hodnoty radiální tuhosti válečkových ložisek SKF. (2)

3.1 Průzkum trhu

Jelikož výrobci valivých ložisek neuvádějí, jakým způsobem stanovují radiální tuhost ložisek, byl průzkum trhu rozšířen na vyhledávání zařízení pro testování trvanlivosti ložisek při kombinovaném zatížení. Tato zařízení částečně splňují požadavky zadání úkolu a mohou tak sloužit jako inspirace pro návrhy konstrukčních variant v části řešení této diplomové práce. Hlavní společným nedostatkem u zkoumaných zařízení je absence měření radiální tuhosti. Zařízení naopak umožňují z pohledu zadání nadbytečné funkce, jako jsou mazání, měření teploty a měření vibrací testovaných ložisek.

3.1.1 RAH-1D

Na zkušebních stanicích RAH D je možno zkoušet základní dynamickou únosnost ložisek při kombinovaném zatížení. Axiální a radiální zatížení je vyvozeno hydraulickými válci. Při zkoušce je měřena a zaznamenávána teplota ložisek a úroveň vibrací. Ke chlazení a mazání ložisek při zkoušce je využíván olejový okruh s filtrem a chladičem. Zkušební stanice RAH D jsou umístěny na jednom podstavci a tvoří tzv. zkušební baterii (obr. 4). Schéma řezu zařízení RAH-1D je zobrazeno na obr. 3. (3)



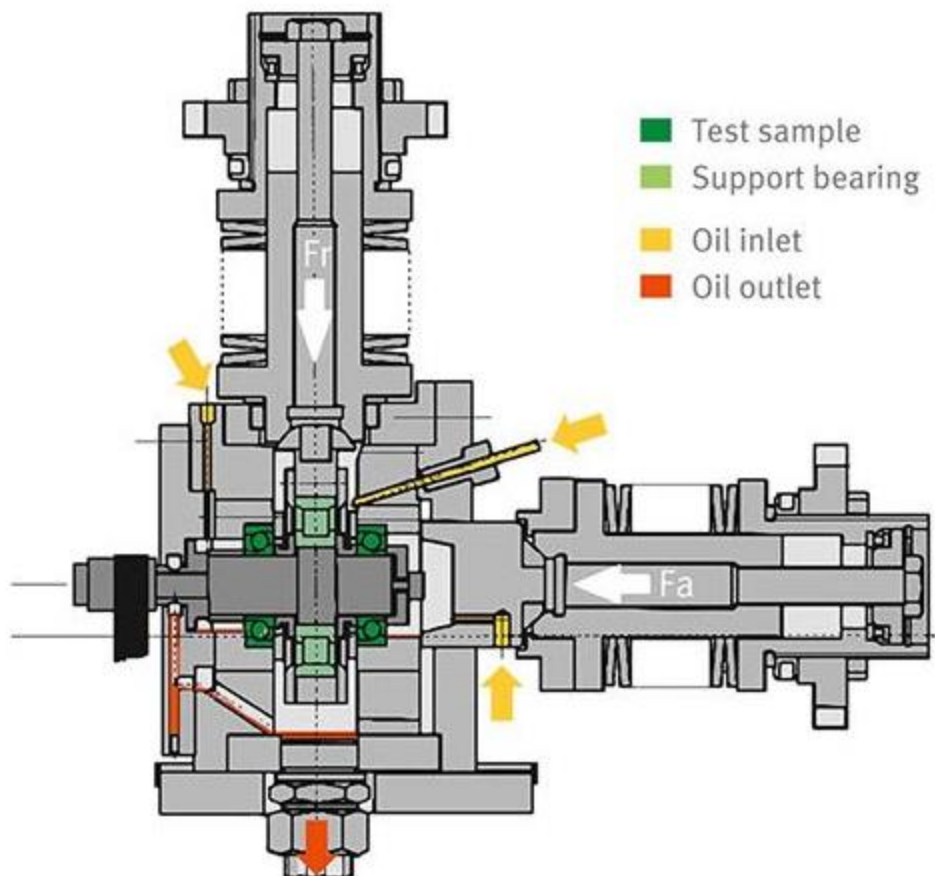
Obr. 3 Schéma zkušebního stroje RAH-1D. (3)



Obr. 4 Fotografie zkušební baterie 5x RAH-1D. (3)

3.1.2 Testovací zařízení firmy Schaeffler

Obdobné zařízení pro testování trvanlivosti ložisek od firmy Schaeffler je zobrazeno na obr. 5. Testovaná ložiska jsou zde také v páru, jako u zařízení RAH-1D, ale ložisko přenášející radiální zatížení je pouze jedno, a to válečkové. K vyvození radiálního a axiálního zatížení slouží talířové pružiny utahované maticemi. K mazání a chlazení ložisek slouží vnější olejový okruh.



Obr. 5 Schéma zkušebního zařízení firmy Schaeffler. (4)

3.2 Patentový průzkum

Před vlastní kreativní tvorbou koncepčních návrhů byl proveden patentní průzkum již známých technických řešení. Zdrojem známých řešení jsou nejenom legálně získané informace z trhu, z odborné literatury a internetu, ale i otevřené informace o patentech a užitných vzorech. (5)

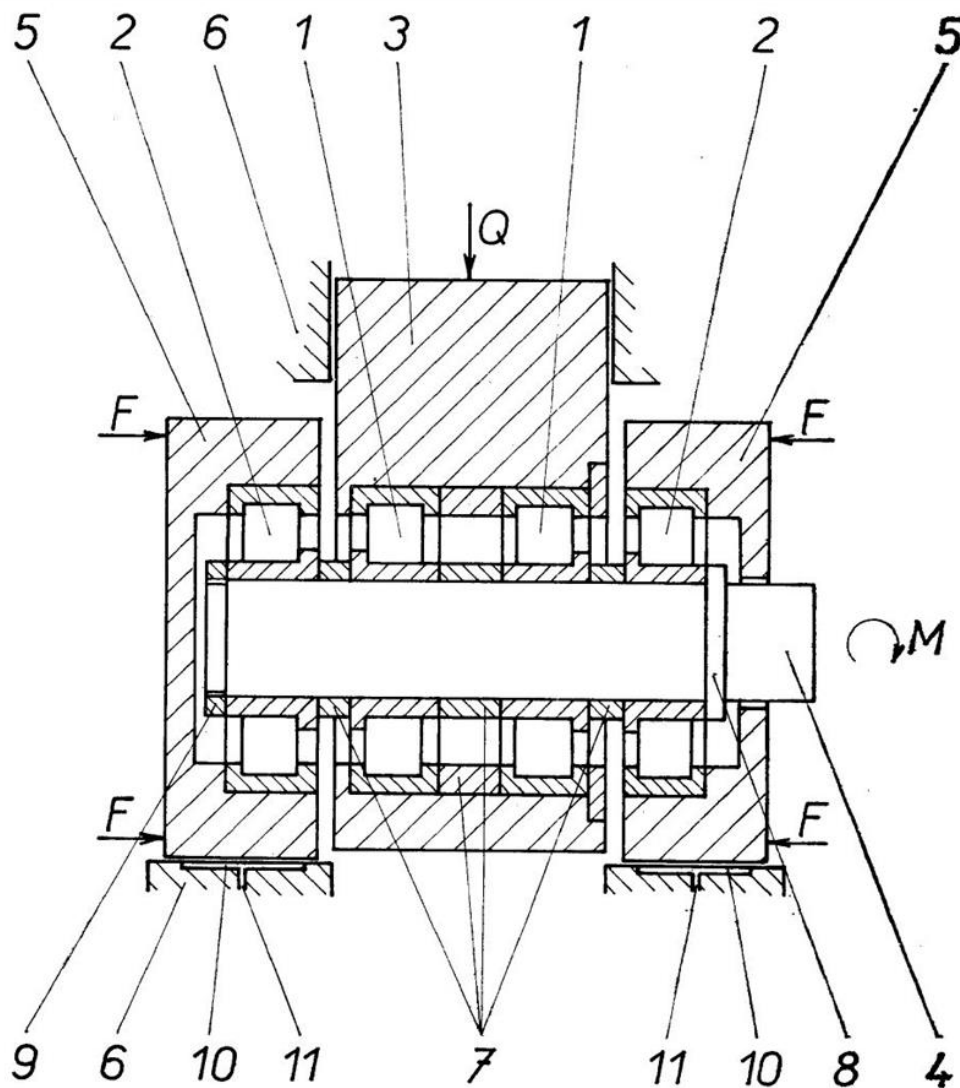
Pro vyhledávání byla využita online databáze národních patentů Úřadu pro průmyslové vlastnictví. Klíčové výrazy pro vyhledávání: *ložisk%*, *tuhost*, *zkoušení*, *defor%*, *radial%* a jejich kombinace. Vyhledávání bylo prováděno převážně ve skupinách dle mezinárodního patentového třídění:

- G01B – *Měření délky, tloušťky nebo podobných lineárních rozměrů; měření úhlů; měření ploch; měření nepravidlostí povrchů nebo obrysů.*
- G01M13/04 – *Zkoušení částí strojů/Ložiska.*

3.2.1 Patent 186108 – Zařízení ke zkoušení ložisek

Patent popisuje vynález pro zkoušky především valivých ložisek. Na vynálezu je možno testovat především trvanlivost, přičemž se hodnotí zejména dynamická únosnost, mezní frekvence otáčení a axiální zatžitelnost valivých ložisek. Schéma zařízení je zobrazeno na obr. 6. Vynález umožňuje testovaná ložiska zatžít radiálně i axiálně nebo kombinací obou zatžžení. Testovaná ložiska jsou upnuta na společném otáčejícím se hřídeli. Radiální zatžžení je přenášeno přes střední neotočné pouzdro **3**. Axiální zatžžení je přenášeno přes krajní pouzdra **5** uložená neotočně v hydrostatických ložiskách **11**. Patent nepopisuje zatžžující ústrojí.

Výhodou tohoto vynálezu je možná kombinace radiálního a axiálního zatžžení. Nevýhodou je absence měření deformace ložisek. (6)

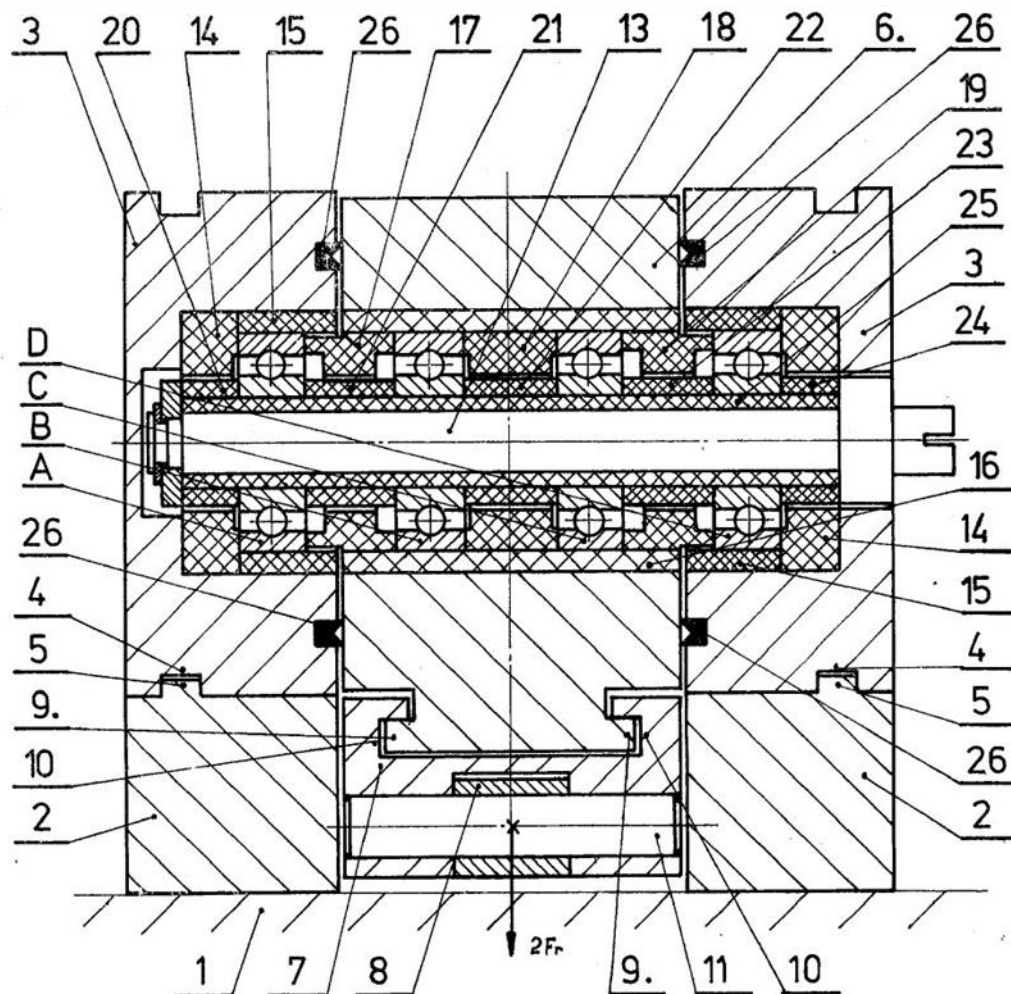


Obr. 6 Schéma patentu 186108. (6)

3.2.2 Patent 218005 – Zařízení na zkoušení mezních vlastností radiálních valivých ložisek

V patentním spisu je popsán vynález pro testování mezních vlastností radiálních valivých ložisek. Z obr. 7 je patrný podobný smysl uspořádání jako u patentu v kapitole 3.2.1. Na otočný hřídel jsou nasazeny čtyři testovaná ložiska. Vnější kroužky dvou krajních ložisek jsou upnuty v pevném rámu a kroužky středních ložisek pak ve středovém pouzdru. Testovaná ložiska jsou tepelně izolována od kovové konstrukce, aby bylo teplo, vznikající při jejich odvalování, odváděno pouze cirkulujícím olejem.

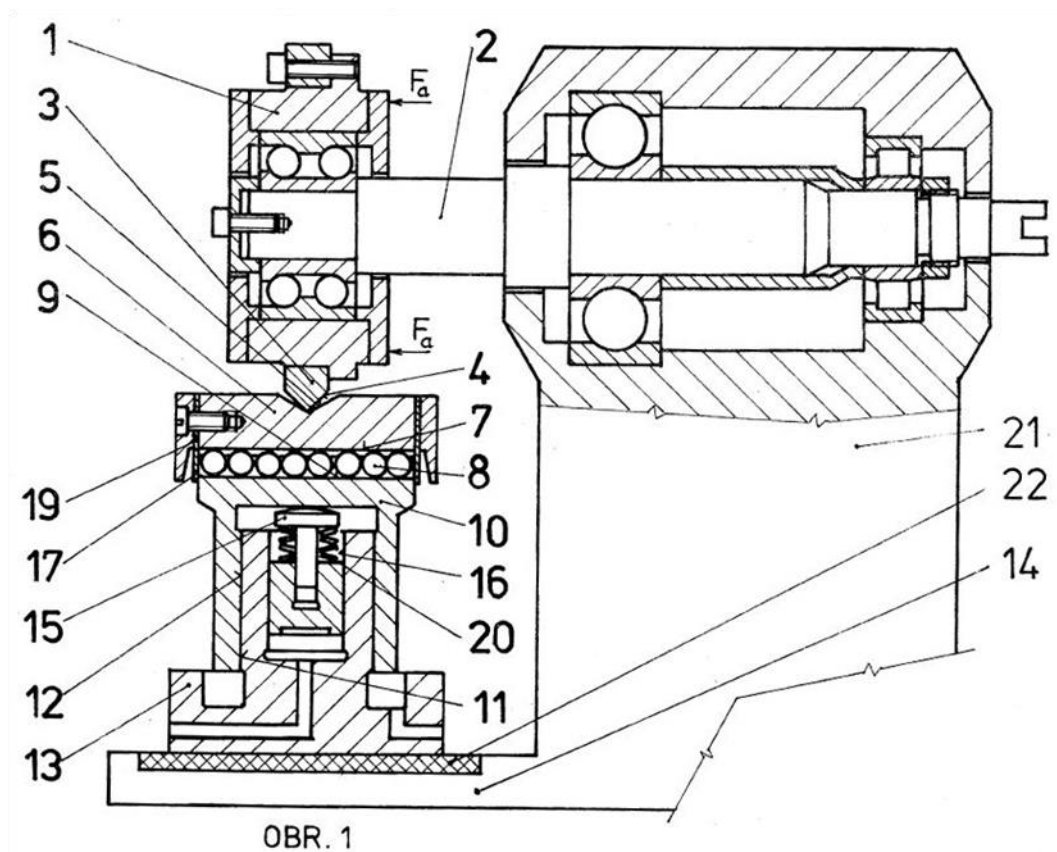
Z hlediska využití v řešení diplomové práce je tento vynález zajímavý především způsobem axiální aretace opěrných krajních pouzder **3** a pákovým způsobem zatěžování středního pouzdra přes rybinovou drážku **9**. Vynález neumožňuje axiální zatížení testovaných ložisek. (7)



Obr. 7 Schéma patentu 218005. (7)

3.2.3 Patent 248316 – Zařízení k zatěžování ložisek při jejich zkoušení

Tento vynález popsáný v patentním spisu je svým upořádáním odlišný od předchozích zmíněných zařízení. Dvě testovaná ložiska jsou upnuta vnějšími kroužky v rámu zařízení **21** a třetí testované ložisko je uloženo letmo v neotočném pouzdře **1** mimo rám. Vnitřní kroužky všech testovaných ložisek jsou upnuty na společném otočném hřídeli **2**. Zajímavý je způsob radiálního zatížení letmo uloženého ložiska. Zatěžující mechanismus je uložen surně na ploše rámu a přes tvarové součásti přenáší radiální zatížení na letmo uložené ložisko. Výhodou tohoto řešení je eliminace případných nežádoucích sil vzniklých průhybem hřídele, teplotní dilatací součástí a nepřesností chodu ložisek. Radiální zatížení je vyvozeno přivedením tlakového media (olej) do kanálu **16**. Délkou vysunuté části hřídele lze efektivně měnit reakční síly působící na ložiska upnutá v rámu. Axiální zatížení není v patentu popsáno. Alespoň jedno ze dvou ložisek upnutých v rámu musí přenášet axiální síly. (8)



Obr. 8 Schéma patentu 248316. (8)

4 Inovační záměr

Průzkumem konkurenčních řešení a patentovou rešerší v předchozí kapitole nebylo objeveno žádné řešení, které by splňovalo požadavky zadání úkolu. Nicméně výsledky této analýzy jsou cenným zdrojem informací pro kreativní řešení.

Vzhledem k absenci zařízení pro měření radiální tuhosti valivých ložisek je na trhu otevřený prostor pro uvedení vlastního měřicího aparátu. Definováním tuhosti ložisek může být zajímavým parametrem nejen pro konstruktéry převodových skříní automobilů, ale například i pro výrobce obráběcích strojů, kde je celková tuhost vřetene, a tedy i přesnost při obrábění, závislá na tuhosti použitých ložisek. Zařízení je proto možné využít i pro jiné trhy než je automobilový průmysl. Získaná experimentální data v kombinaci s CAE výpočty mají pro firmu potenciál finančního přínosu.

4.1 Inovační prohlášení

Inovační záměr je zformulován v inovačním prohlášení v tab. 2. Tento dokument sumarizuje směry, které by měly být sledovány ve fázi vývoje výrobku. (9)

Tab. 2 Inovační prohlášení.

Výrobová vize <i>(product vision statement)</i>	Konstrukce přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek při radiálně-axiálním zatížení
Klíčové obchodní cíle <i>(key business goals)</i>	Rozšíření znalostí o chování valivých ložisek, verifikace FEM výsledků, oslovit průmyslové podniky zabývající se přesnými rotačními součástkami
Primární trh <i>(primary market)</i>	Automobilový průmysl
Podružné trhy <i>(secondary market)</i>	Lehký průmysl všeobecně
Předpoklady a omezení <i>(assumptions and constraints)</i>	Vývoj nových typů převodových skříní – nová ložiska Ověřování ložisek různých dodavatelů/závodů Omezení rozměrů min. průměr hřídele 22mm, max. průměr vnějšího kroužku 96 mm
Účastníci inovačního procesu <i>(stakeholders)</i>	Škoda Auto a.s., LENAM s.r.o. vypracoval: Bc. Oskar Krejčí

5 Návrhy inovativních řešení

Pro návrhy variant bude využito informací z analýzy současného stavu, který byl uveden v kapitole 3. Budou vypracovány tři varianty různých konstrukčních řešení. Konstrukční varianty budou znázorněny pomocí skici a doplněné o popis. Každá varianta bude objektivně zhodnocena.

5.1 Analýza zdrojů

Před vlastními návrhy jednotlivých variant je potřeba si uvědomit, jaké zdroje je možno využít. Zdrojem je v tomto případě míněna především personální kapacita, finanční rozpočet a stávající vybavení laboratoře.

Z hlediska personální kapacity musí být zařízení navrženo tak, aby jeho provoz byl schopen obstarat jeden pracovník.

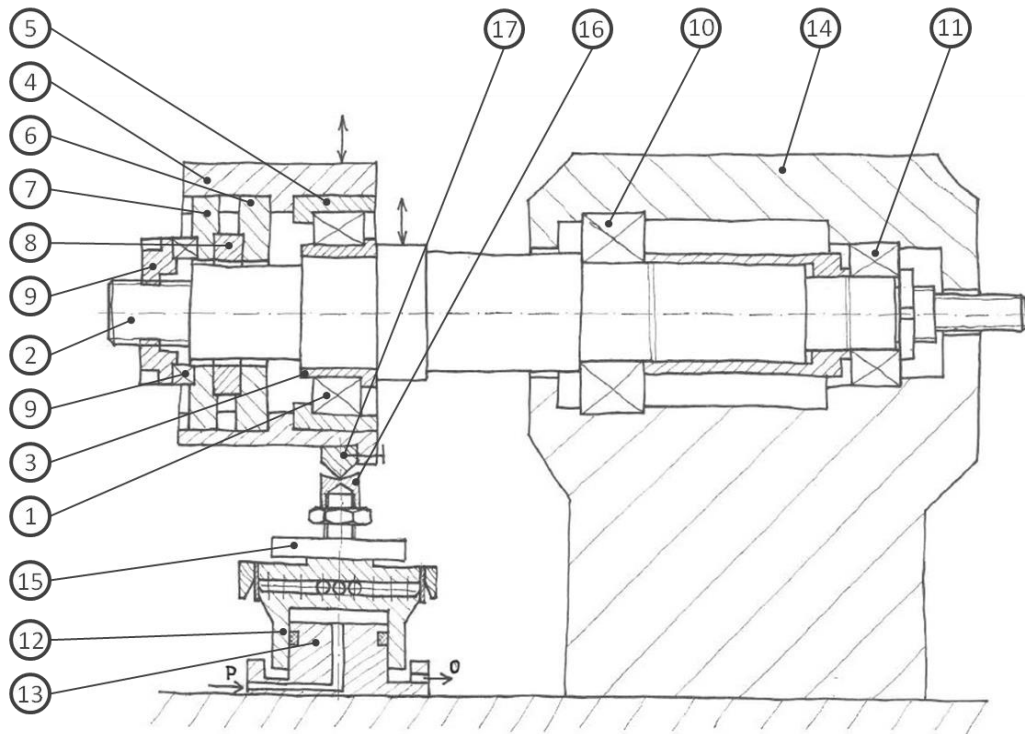
Externí náklady na výrobu a nákup mechanických komponent a náklady na případnou regulaci by neměly přesáhnout částku 100.000 Kč.

Zařízení bude provozováno v laboratoři LENAM nebo v Laboratoři aplikované mechaniky TUL, kde je možno případně využít zdroj elektrické energie jednofázové 230V i třífázové 400V, rozvod tlakového vzduchu a rozvod hydraulického tlakového oleje. Případně je možné využít strojní vybavení laboratoří (trhačky, lisy, hydraulické válce, elektromotory atd.). Dalším předpokladem návrhu je využití snímačů v inventáři laboratoří.

5.2 Varianta A

První z navrhovaných variant, zobrazena na obr. 9, je pracovně nazvána „třmen“. Tato varianta se vyznačuje letmo uloženým testovaným ložiskem **1**. Vnitřní kroužek testovaného ložiska je upnut na hřídeli **2** pomocí distančního kroužku **3**. Vnější kroužek je upnut do třmenu **4** přes distanční vložku **5**. V těle třmenu je neotočně uložen systém pro axiální zatížení testovaného ložiska, který je tvořen příložkami **6** a **7**, snímačem axiální síly **8** a axiálním ložiskem **9**. Axiální silový tok přes hřídel uzavírá otočná matice **9**. Axiálního předpětí testovaného ložiska je vyvozeno mírou utažení této matice. Hřídel je v děleném rámu **14** uložena letmo pomocí dvou ložisek **10** a **11**. Radiální zatížení je vyvozováno tlakovým olejem hnaným do prostoru válce **12** osou

pístu **13** kanálem **P**. Čelní plocha válce je osazena valivými členy (kuličkami) pro volný translační pohyb v rovině kolmé na směr radiálního zatížení. Radiální síla je měřena snímačem **15** a je přenášena na třmen **4** přes klínovou drážku **16** na klínovou protiplochu **17**. Měření deformace je zajištěno pomocí dvou LVDT snímačů umístěných na pozici obousměrných šipek. Pro odstranění vlivu tuhosti přípravku je výsledná deformace testovaného ložiska určena rozdílem hodnot z těchto snímačů.



Obr. 9 Skica varianty A „třmen“.

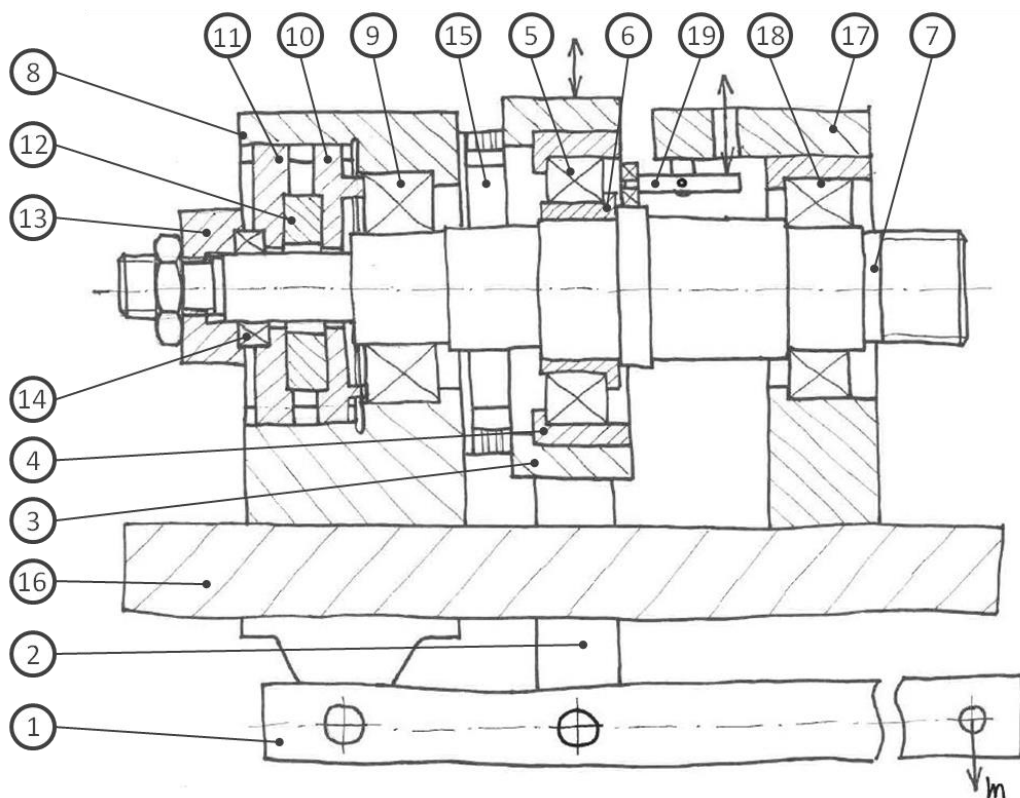
Takto navržené konstrukční řešení je výhodné z hlediska eliminace nežádoucích sil vznikajících při prohnutí hřídele. Klínová drážka a klínová protiplocha dovolují natočení třmenu. Výhodou je i možnost plynulého zatěžování (axiální i radiální).

Jako nevýhodná se naopak jeví konstrukce z pohledu tuhosti. Hřídel je značně vyložena z rámu, což vede k velkým deformacím v místě měření. Je tedy zapotřebí měřit průhyb hřídele a zároveň posunutí třmenu. Pro zařízení je nutné navrhnout PID regulaci tlaku oleje se zpětnou vazbou ze snímače radiální síly.

Odhad nákladů na výrobu tohoto zařízení včetně PID regulace a rámu je cca 100.000 Kč.

5.3 Varianta B

Na obr. 10 je zobrazena varianta B. Pro snazší identifikaci je tato varianta nazvána „závaží“. Jak je z názvu patrné, je u této varianty využito závaží k vyvození radiálního zatížení testovaného ložiska. Na jednoramenné páce **1** je zavěšeno závaží **m**. Pákový mechanismus uložený na čepch přenáší sílu přes táhla **2** na třmen **3**. V tomto třmenu je pomocí distanční vložky **4** uložen vnější kroužek testovaného ložiska **5**. Vnitřní kroužek testovaného ložiska **5** je upnut přes distanční kroužek **6** na hřídeli **7**. Axiální zatížení je vyvozováno podobně jako u varianty A. V levé části rámu **8** je upnut vnější kroužek pomocného ložiska **9**. O tento kroužek se opírá příložka **10**, která s příložkou **11** svírá snímač axiální síly **12**. Velikost axiální síly je vyvozena utažením matice **13** našroubované na hřídeli **7**. Mezi maticí **13** a neotočnou příložkou **11** je umístěno axiální ložisko **14**. Axiální síla je přenášena hřídelí **7** na vnitřní kroužek testovaného ložiska **5** přes distanční kroužek **6**. K zachycení axiální síly působící na třmen **3** je využito lineární kuličkové vedení **15**. Na základní desce **16** je upevněna pravá část rámu **17**, ve které je upnuto pomocné ložisko **18**. Pozice **19** označuje pákový mechanismus kopírující hřídel.



Obr. 10 Skica varianty B „závaží“.

Mezi výhody navrženého konstrukčního řešení varianty B lze zařadit jednoduchý princip radiálního zatěžování testovaného ložiska pomocí pákového mechanismu. Vhodnou kombinací délky páky a hmotnosti závaží lze nastavit požadované zatížení. Výhodné je umístění testovaného ložiska do středu hřídele, kde je sklon hřídele zanedbatelný. Podobně jako u varianty A je v tomto řešení možné plynule nastavovat velikost axiální síly působící na testované ložisko. Tuto sílu je však nutné na třmenu zachytit lineárním kuličkovým vedením.

Princip radiálního zatěžování pomocí závaží je při měření nespojitý a může být zařazen i mezi nevýhody řešení. Stejně tak umístění testovaného ložiska do středu hřídele je výhodné z hlediska sklonu, nikoliv však z hlediska průhybu hřídele. Je tedy nutné měřit deformaci hřídele a zároveň posun třmenu (obousměrné šipky) pomocí dvou LVDT snímačů. Integrací lineárního kuličkového vedení a pákového mechanismu pro měření deformace hřídele do sestavy se zvyšují vzdálenosti mezi ložisky (podporami), to vede ke snížení celkové tuhosti přípravku. Mezi nevýhody lze uvést i nutnost manipulace s břemeny (závaží).

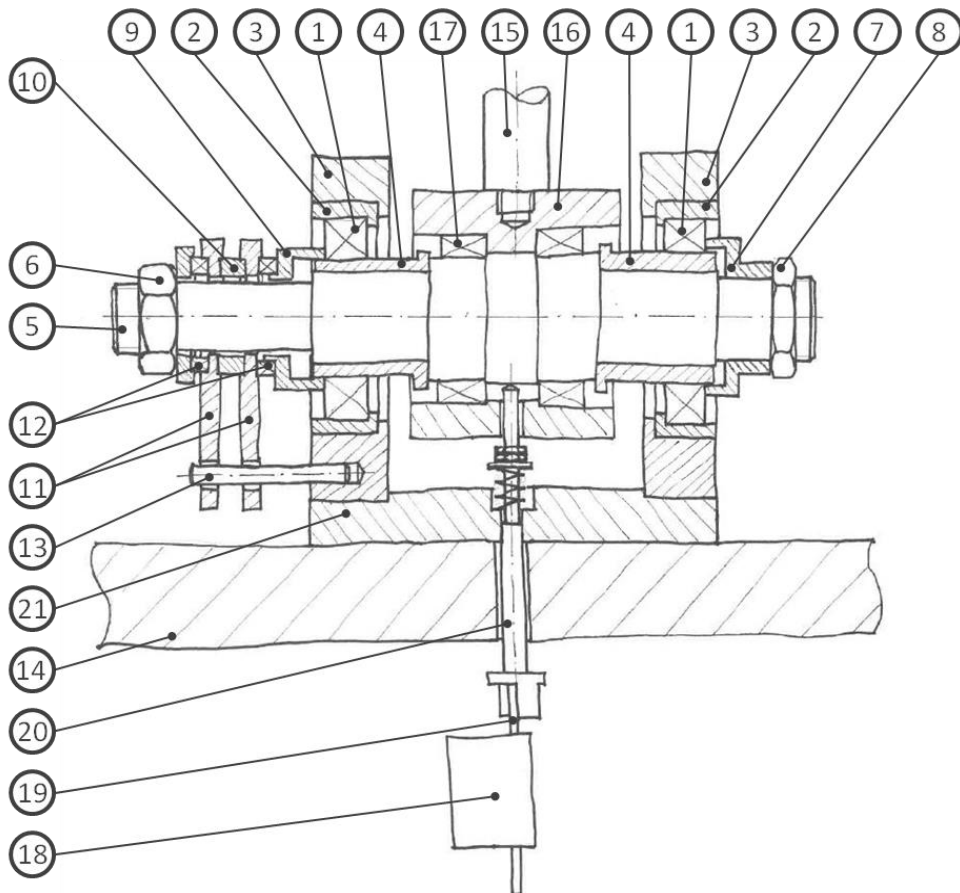
Náklady na výrobu tohoto řešení včetně rámu byly odhadnuty na cca 80.000 Kč.

5.4 Varianta C

Poslední navrhovanou variantou je varianta C s pracovním názvem „symetrie“. Skica konstrukčního řešení je zobrazena na obr. 11. U této varianty je pár testovaných ložisek **1** symetricky upnut přes distanční kroužky **2** v boku rámu přípravku **3**. Vnitřní kroužky testovaných ložisek **1** jsou axiálně volně uloženy přes distanční vložky **4** na hřídeli **5**. Axiální zatížení testovaných ložisek je vyvozováno utážením matice **6** a přenášeno přes hřídel a axiální dorazy na vnitřní kroužky testovaných ložisek. Pravý axiální doraz **7** je pomocí závitu spojen s hřídelí a pojištěn zajišťovací maticí **8**. Levý axiální **9** doraz je na hřídeli uložen axiálně volně. K zachycení reakčních sil od axiálního zatížení slouží osazení v rámu **3** a na distančních kroužcích **2**. Měření axiální síly zajišťuje snímač **10** upnutý mezi příložkami **11**. Tyto příložky jsou v sestavě uloženy neotočně pomocí axiálních ložisek **12**. Rotaci příložek, způsobenou pasivními odpory axiálních ložisek, zachytává kolík **13**.

Radiální zatížení je u této varianty vyvozováno vnějším zdrojem (trhačkou). Základní deska **14** je upnuta ke spodní čelisti trhačky. Trn **15**, připojený k dělenému

třmenu **16**, je sevřen hydraulickými kleštinami vrchní čelisti trhačky. Radiální síla je ze třmenu na hřídel přenášena pomocí jehlových ložisek **17**. Radiální posunutí hřídele je měřeno inkrementálním snímačem **18**, kterým prochází magnetický pásek **19** upevněný k dotyku **20**. Dotyk je axiálně suvně uložen v horizontální části rámu **21**, přičemž je tlačnou pružinou přitlačován na válcový povrch hřídele.



Obr. 11 Skica varianty C „symetrie“.

Popisovaná varianta se vyznačuje vyšší tuhostí než varianty předchozí. Třmen s jehlovými ložisky vyztužuje hřídel v oblasti nejvyššího ohybového momentu. Navíc hřídel pod třmenem může mít z funkčního hlediska přípravku libovolný průměr (testovaná ložiska jsou umístěna na krajích). Axiální i radiální zatížení lze nastavovat spojitě. Radiální zatížení je regulováno pomocí řízení trhačky a nevyžaduje žádnou speciální konstrukci s regulací. Pro měření radiální deformace je využito pouze jednoho snímače s rozlišením 1 μm .

Mezi nevýhody této varianty lze uvést pozici snímače radiální deformace a nutnost měřit vždy dvě stejná ložiska, mezi které je rozložena radiální síla.

Odhad nákladů pro výrobu takto navrženého přípravku činí cca 65.000 Kč.

6 Hodnocení a výběr varianty

Výběr vítězného konceptu je iterativní proces, při kterém jsou všechny varianty zhodnoceny a porovnány. K výběru slouží celá řada metod s různou úrovní objektivit.
(9)

Koncept řešení je vybrán ze tří variant uvedených v kapitole 5:

- Varianta A – Třmen,
- Varianta B – Závaží,
- Varianta C – Symetrie.

6.1 AHP metoda

Pro výběr vítězného konceptu bude použita metoda analyticky hierarchického procesu (AHP), kterou popsal Prof. Dr. Thomas L. Saaty. Metoda AHP je založena na párovém porovnání, které umožňuje přiřadit jednotlivým variantám a kritériím relativní hodnoty, nazývané váhy. Preference jednotlivých variant jsou ohodnoceny škálou od 1 do 9 podle tab. 1, která vyjadřuje intenzitu významnosti varianty. (10)

Tab. 3 Saatyho doporučená stupnice intenzity významnosti. (10)

Číselné měřítko	Slovní měřítko	Komentář
1	Varianty jsou stejně významné	Obě porovnávané varianty mají stejnou vlastnost
3	Varianta je mírně důležitější než jiná varianta	První varianta je slabě významnější než druhá
5	Varianta je mnohem důležitější než jiná varianta	První varianta je silně významnější než druhá
7	Varianta je výrazně důležitější než jiná varianta	První varianta je velmi silně významnější než druhá
9	Extremní významnost jedné varianty na jinou variantou	První varianta je ještě více než velmi silně významnější než druhá

6.2 Kritéria hodnocení

Pro porovnání variant je nejprve nutné stanovit kritéria, podle kterých budou varianty posuzovány. Volba správných kritérií je nejdůležitější částí rozhodovacího procesu. K porovnání variant bude použito 5 kritérií:

- stupeň automatizace měření,
- tuhost přípravku,
- přesnost odměřování,
- čas na výměnu vzorku,
- cena.

Významnosti jednotlivých kritérií jsou vypočteny v tab. 4 vytvořenou pomocí párového porovnání.

Tab. 4 Matice párového porovnání kritérií, váhy kritérií.

Kritérium		K1	K2	K3	K4	K5	Gi geometrický průměr	vi váha
		Automatizace	Tuhost	Odměřování	Čas výměny	Cena		
K1	Automatizace	1	1/7	1/5	5	3	0,84	0,11
K2	Tuhost	7	1	3	7	5	3,74	0,49
K3	Odměřování	5	1/3	1	5	7	2,26	0,30
K4	Čas výměny	1/5	1/7	1/5	1	1/3	0,29	0,04
K5	Cena	1/3	1/5	1/7	3	1	0,49	0,06
Σ=							7,62	1,00

Nejvyšší prioritu získalo kritérium tuhosti následované kritériem odměřování.

6.2.1 Stupeň automatizace měření

Toto kvalitativní kritérium určuje míru automatizace při samotném procesu měření tuhosti ložiska. Je předpokládáno, že měření probíhající v plně automatickém režimu zkracuje čas měření a snižuje nároky na obsluhu. V neposlední řadě pak automatické měření eliminuje chybu zapříčiněnou lidským faktorem. Podle tohoto kritéria jsou porovnány varianty z hlediska vyvození radiální a axiální síly a způsobu

jejich regulace. Porovnání variant podle kritéria automatizace s vypočtenou výslednou vahou v_j vztaženou k váze kritéria v_i je zobrazeno v tab. 5.

Tab. 5 Porovnávací matice pro kritérium K1.

Kritérium K1 Automatizace		VA	VB	VC	Gí geometrický průměr	norm.	v_j váha
		Třmen	Závaží	Symetrie			
VA	Třmen	1	5	1/3	1,19	0,28	0,03
VB	Závaží	1/5	1	1/7	0,31	0,07	0,01
VC	Symetrie	3	7	1	2,76	0,65	0,07
$\Sigma=$					4,25	1,00	0,11

6.2.2 Tuhost přípravku

Kritérium tuhosti přípravku bylo ohodnoceno nejvyšší vahou. Tuhost přípravku má přímý vliv na hodnotu měřené deformace, proto by měla být tuhost co možná nejvyšší. Ke kritériu je přístupováno kvalitativně, kdy hodnotitel vzájemně porovnává tuhost konstrukčních variant podle svých zkušeností. Porovnání variant podle kritéria tuhosti s vypočtenou výslednou vahou v_j vztaženou k váze kritéria v_i je zobrazeno v tab. 6.

Tab. 6 Porovnávací matice pro kritérium K2.

Kritérium K2 Tuhost		VA	VB	VC	Gí geometrický průměr	norm.	v_j váha
		Třmen	Závaží	Symetrie			
VA	Třmen	1	1/5	1/7	0,31	0,07	0,04
VB	Závaží	5	1	1/3	1,19	0,28	0,14
VC	Symetrie	7	3	1	2,76	0,65	0,32
$\Sigma=$					4,25	1,00	0,49

6.2.3 Přesnost odměřování

Dalším kritériem s vysokou váhou je kritérium přesnosti odměřování. Hlavní funkce přípravku je měřit radiální deformaci valivých ložisek. Návrhy variant jsou z tohoto pohledu navrženy do jisté míry rozdílně, proto je nutné v rozhodování tuto skutečnost zohlednit. V porovnání variant podle tohoto kritéria je třeba uvažovat pozici snímače, směr měření vůči radiální síle a přesnost snímače. Porovnání variant podle kritéria odměřování s vypočtenou výslednou váhou v_j vztahenou k váze kritéria v_i je zobrazeno v tab. 7.

Tab. 7 Porovnávací matice pro kritérium K3.

Kritérium K3 Odměřování		VA	VB	VC	Gí geometrický průměr	norm.	v_j váha
		Třmen	Závaží	Symetrie			
VA	Třmen	1	1/3	1	0,69	0,20	0,06
VB	Závaží	3	1	3	2,08	0,60	0,18
VC	Symetrie	1	1/3	1	0,69	0,20	0,06
Σ=					3,47	1,00	0,30

6.2.4 Čas na výměnu vzorku

Analogicky ke kritériu automatizace měření, kdy je snahou proces měření automatizovat a zrychlit, může být do kritérií zařazen i čas potřebný k výměně vzorku (testovaného valivého ložiska).

Tab. 8 Porovnávací matice pro kritérium K4.

Kritérium K4 Čas výměny		VA	VB	VC	Gí geometrický průměr	norm.	v_j váha
		Třmen	Závaží	Symetrie			
VA	Třmen	1	5	5	2,92	0,71	0,03
VB	Závaží	1/5	1	1	0,58	0,14	0,01
VC	Symetrie	1/5	1	1	0,58	0,14	0,01
Σ=					4,09	1,00	0,04

Doba, kdy není přípravek v provozu (nepřidává hodnotu), může být označena jako muda. Tento čas je nezbytný, ale měl by být co nejkratší, aby bylo maximálně využito zdrojů. Ve fázi návrhu není čas potřebný k výměně vzorku přesně definovaný, proto bude ke kritériu přistupováno jako ke kvalitativnímu. Porovnání variant podle kritéria času výměny vzorku s vypočtenou výslednou váhou v_j vztáženou k váze kritéria v_i je zobrazeno tab. 8.

6.2.5 Cena

Posledním z kritérií použitých pro hodnocení variant je odhad ceny přípravku uvedený u každé navrhované varianty. Náklady na výrobu přípravku jsou důležitým faktorem při výběru finálního konceptu. Vyšší náklady investované do výroby přípravku snižují zisk společnosti u dané zakázky.

Toto kritérium je vyjádřeno parametrem v jednotce Kč, proto je možné ho zařadit a dále zpracovat jako kritérium kvantitativní. U kvantitativních kritérií je postup sestavování párové matice odlišný. Do matice je vyplněn přesný poměr ceny porovnávaných variant, přičemž musí být zachována reciprocita matice. (10)

Poměrová matice variant s výslednou váhou v_j vztáženou k váze kritéria v_i je zobrazeno v tab. 9.

Tab. 9 Poměrová matice pro kritérium K5.

Kritérium K5 Cena		VA	VB	VC	G _i geometrický průměr	norm.	v _j váha
		Třmen	Závaží	Symetrie			
VA	Třmen	1,00	0,80	0,65	0,80	0,26	0,02
VB	Závaží	1,25	1,00	0,81	1,01	0,33	0,02
VC	Symetrie	1,54	1,23	1,00	1,24	0,41	0,03
Σ=					3,05	1,00	0,06

6.3 Vybraná varianta

Aplikace metody AHP s párovým porovnáním kritérií a vzájemným porovnáním variant podle jednotlivých kritérií určila optimální variantu vhodnou k dalšímu

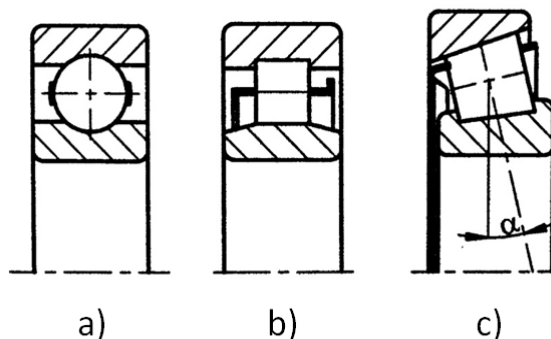
zpracování. Vybranou variantou je **varianta C symetrie**. Konečné pořadí variant je zobrazeno v tab. 10.

Tab. 10 Vyhodnocení priorit jednotlivých konceptů.

Porovnání konceptů		K1	K2	K3	K4	K5	Priorita	POŘADÍ
		Automatizace	Tuhost	Odměrování	Čas výměny	Cena		
VA	Třmen	0,03	0,04	0,06	0,03	0,02	17%	3.
VB	Závaží	0,01	0,14	0,18	0,01	0,02	35%	2.
VC	Symetrie	0,07	0,32	0,06	0,01	0,03	48%	1.
$\Sigma=$							1,00	-

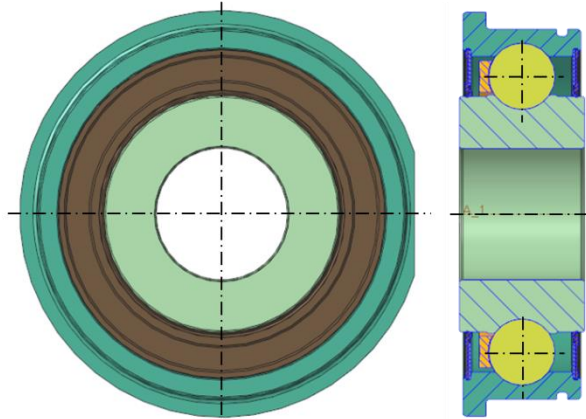
7 Detailní konstrukce vybrané varianty

Přípravek pro měření radiální tuhosti valivých ložisek je navržen tak, aby bylo možné jeho upnutí do univerzálního zkušebního zařízení inova FU 250 (blíže v kapitole 7.4.1). Při 3D návrhu konstrukce byly zohledněny metody DFX s přihlédnutím ke kusové výrobě. Jednou z hlavních funkcí přípravku je jeho univerzálnost. V převodových skříních jsou použity různé typy valivých ložisek (obr. 12), proto je přípravek navržen tak, aby bylo možno testovat tyto typy ložisek bez větších montážních zásahů. K upnutí ložisek různých rozměrů slouží distanční kroužky a distanční vložky, které vymezují průměry na hřídeli a v rámu přípravku.



Obr. 12 Měřené typy valivých ložisek (zleva: kuličkové, válečkové a kuželíkové). (11)

Speciálním typem valivého ložiska používaného v převodových skříních, je kuličkové ložisko s osazeným vnějším kroužkem, které je umístěno v tzv. „brýlích“ (obr. 13). Tento typ ložisek je také možno v přípravku testovat.



Obr. 13 Kuličkové ložisko s osazeným vnějším kroužkem a drážkou pro pojistný kroužek.

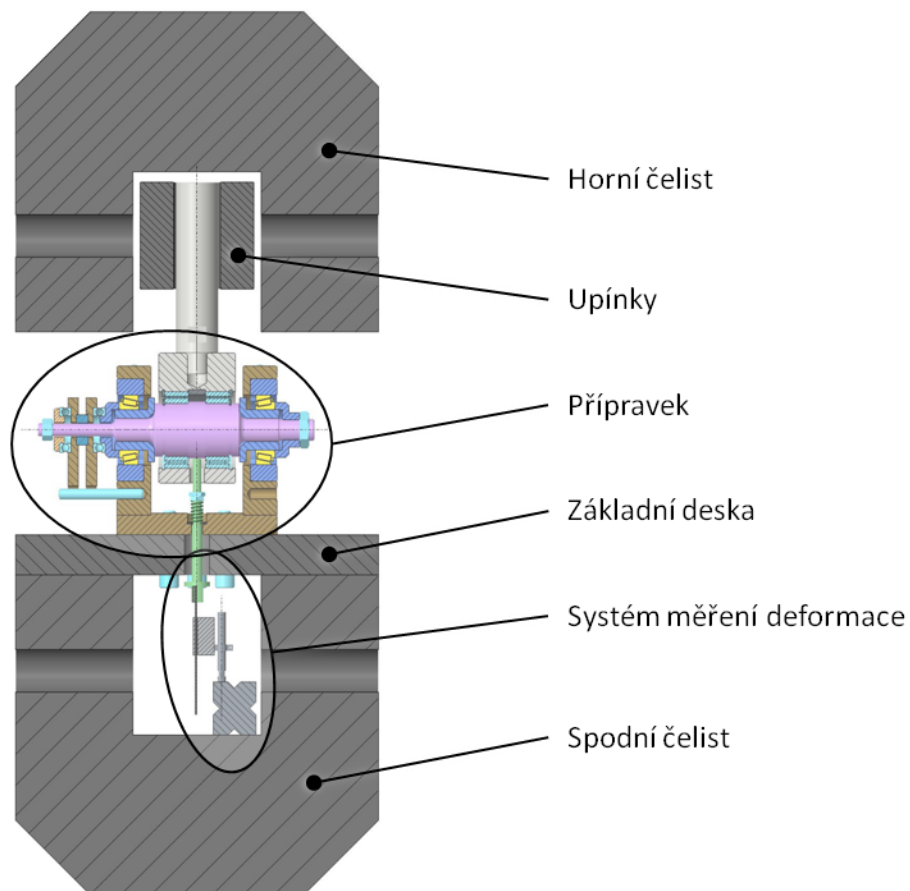
7.1 Popis konstrukce přípravku

Uspořádání zkoušky ve zkušebním zařízení je zobrazeno na obr. 14. Horní čelist zkušebního zařízení je vybavena hydraulickými upínkami. Tyto upínky svírají trn děleného třmenu přípravku. Základní deska je spojena šroubovým spojem se spodní čelistí i s vlastním přípravkem. Ve spodní čelisti je umístěn systém pro měření deformace. Vzájemným pohybem horní a spodní čelisti zkušebního zařízení je vyvozováno požadované zatížení. Řízení a regulaci síly nebo posunutí čelistí zajišťuje software inova TestControl. Sestavný výkres zástavby ve zkušebním zařízení je přílohou této diplomové práce.

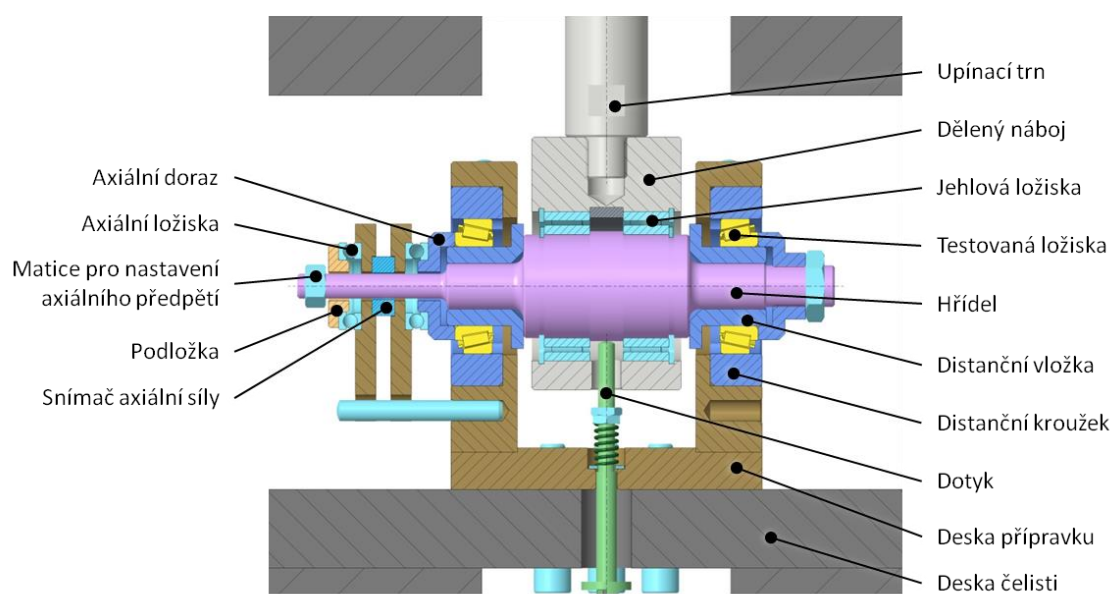
Na obr. 15 je zobrazen řez přípravkem pro měření radiální tuhosti ložisek. Silový tok radiálního zatížení je přenášen z horní čelisti přes trn, dělený třmen a jehlová ložiska na hřídel. Z hřídele je dále distribuován přes distanční vložky (pokud jsou použity) na dvě testovaná ložiska. Testovaná ložiska jsou od osy trnu ve stejné vzdálenosti, proto lze předpokládat shodnou velikost reakčních sil

$$R_A = R_B = \frac{1}{2}F \quad 1$$

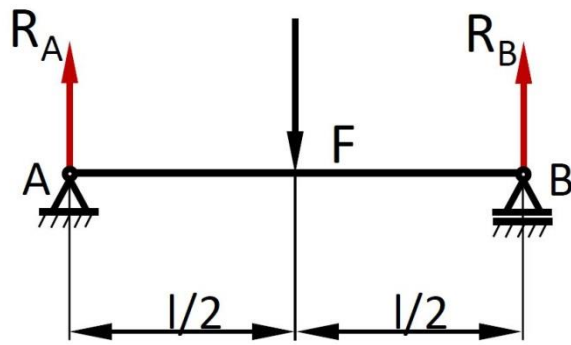
působících na testovaná ložiska (obr. 16). Reakční síla působící na testovaná ložiska je přes distanční kroužky zachytávána děleným rámem přípravku. Pro toto uspořádání je potřeba vždy dvou stejných ložisek pro jednu zkoušku.



Obr. 14 Uspořádání zkoušky v prostoru zkušebního zařízení.



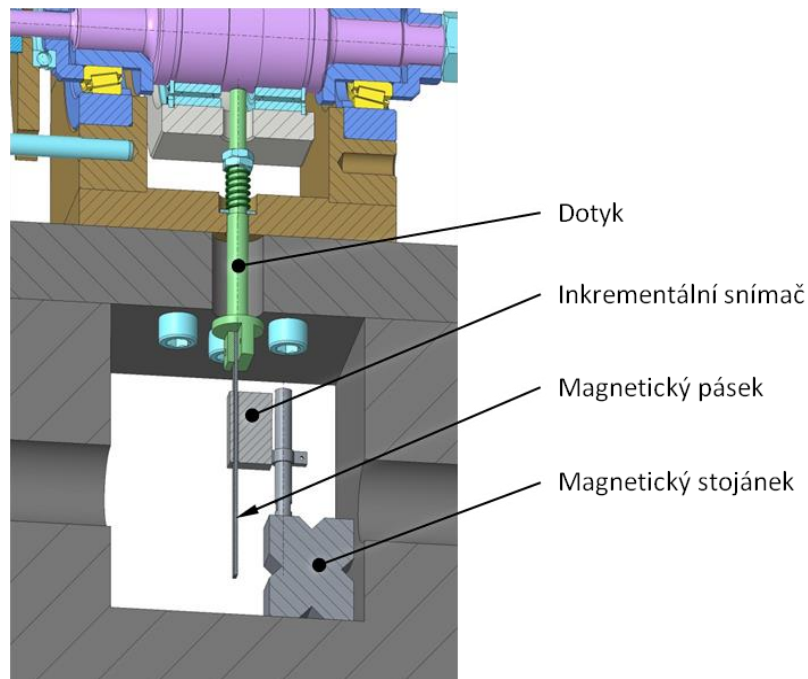
Obr. 15 Řez přípravkem.



Obr. 16 Rozložení sil na nosníku (hřídeli).

7.1.1 Systém měření posunu hřídele

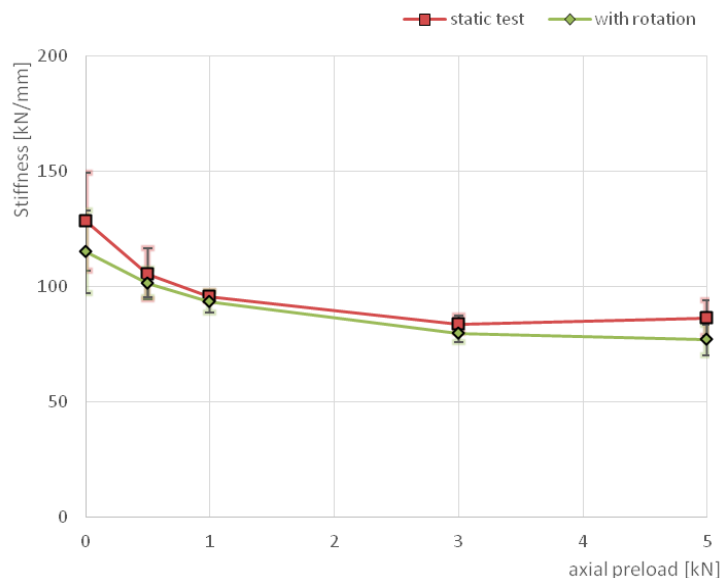
Ke snímání posunutí hřídele vlivem zatížení je použit mechanismus zobrazený na obr. 17. Dotyk je tlačnou pružinou přitlačován k dosedací ploše na hřídeli. Kontaktní plocha dotyku má sférický tvar. Dosedací plocha na hřídeli je válcová. K dotyku je pomocí příložky a šroubového spoje připevněn magnetický pásek. Posun dotyku a tedy i magnetického pásku je snímán inkrementálním snímačem, který je upevněn ve spodní čelisti zkušebního zařízení pomocí magnetického stojánek. Vedení dotyku je zajištěno přesně obrobeným dírkem dotyku a dírou v horizontální části rámu. Celý systém pracuje v dostatečném rozlišení $1 \mu\text{m}$.



Obr. 17 Měření posunutí hřídele.

7.1.2 Funkce axiálního předpětí testovaných ložisek

Funkce axiálního předpětí přípravku slouží k ověření závislosti radiální tuhosti testovaných ložisek na axiální síle. Během testování byla tato závislost prokázána a její typický průběh pro kuličkové ložisko je zobrazen na obr. 18. Přípravek je tedy navržen tak, aby bylo možno axiální předpětí v ložisku vyvodit před měřením. Na obr. 15 jsou v levém sloupci popsány hlavní komponenty umožňující axiální předpětí a snímání axiální síly. Velikost axiální síly je nastavena mírou utažením matice a je přenášena přes příložky, axiální ložiska a snímač na vnitřní kroužek testovaného ložiska. Toto řešení je poměrně jednoduché.



Obr. 18 Závislost radiální tuhosti ložiska (kuličkové) na axiálním předpětí.

7.2 FMEA-K

Zkratka FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) označuje metodu pro analýzu projevů a důsledků poruch. Jedná se o systematickou kontrolu produktů a procesů, ověřování jejich funkcí a odhalování projevů poruch s určením jejich příčin a případných důsledků. Použití této metody vyžaduje znalost funkcí jednotlivých součástí a jejich příspěvky k funkci systému jako celku. Metoda umožňuje kvantifikovat závažnost poruchy prostřednictvím rizikového čísla. Nedílnou součástí FMEA analýzy je návrh nápravných opatření. Použití metody ve fázi konstruování může sloužit jako

systematická revize konstrukčního řešení, potom je metoda označována jako FMEA-Konstrukční (FMEA-K). (9)

Ve finální fázi konstrukce přípravku, před uvolněním do výroby, byla vypracována analýza FMEA-K, pro odhalení potencionálních komponent, které by mohly selhat a ohrozit tak funkce přípravku. Vypracování analýzy je zobrazeno v tab. 11. Výsledky analýzy identifikovaly několik kritických míst, kterým byla potřeba věnovat pozornost. Jedná se především o součásti přenášející radiální zatížení. K ověření konstrukčního provedení těchto součástí bylo navrženo opatření v podobě výpočtu FEM. Dalším potenciálním místem vzniku poruchy je matice axiálního předpětí, respektive její možné povolování při otáčení. K zajištění matice je jako opatření navrženo použití pojistné matice. Poslední identifikovanou součástí s hraničním rizikovým číslem (RPN) 100 je jehlové ložisko ve třmenu, které by v případě poruchy mohlo snížit komfort použití přípravku (vysoký odpor při protáčení). Pro snížení možného výskytu této poruchy bylo jako opatření navrženo použití mazacího tuku s vyšší viskozitou.

7.3 FEM analýza konstrukčního řešení

Jedním z výstupů FMEA-K analýzy bylo doporučení provést kontrolu konstrukce FEM výpočtem. Výsledkem výpočtu by mělo být stanovení napětí na součástech přenášejících radiální zatížení. Napětí vyšší, než je mez kluzu materiálu, by mohla způsobit nežádoucí trvalé deformace součásti. K vytvoření FE modelu byl použit preprocesor BETA ANSA. Jednotlivé součásti přípravku byly vytvořeny jako samostatná kontaktní tělesa s lineárními objemovými elementy. Podle tvaru součásti byl zvolen typ elementu. Třmen přípravku byl vytvořen čtyřstěny se 4 uzly (tetra4). Hřídel přípravku byla vytvořena kombinací osmistěnu a pětistěnu se 6 uzly (hex8 a penta6). Ostatní součásti byly vytvořeny osmistěny (hex8). Použití osmistěnu výrazně snižuje celkový počet elementů modelu a tím zrychluje výpočet. Práce s FE modelem a výsledky analýzy byly zpracovány v softwaru MSC Marc.

Tab. 11 Analýza FMEA-K

FMEA-K

Číslo FMEA-K **2018 - 17047 - A**

strana 1 z 1

Výrobek

Přípravek pro měření radiální tuhosti ložisek

Vypracoval Krejčí

Rok výroby / program

2018 / 17047

Datum 3.6.2020

Tým FMEA

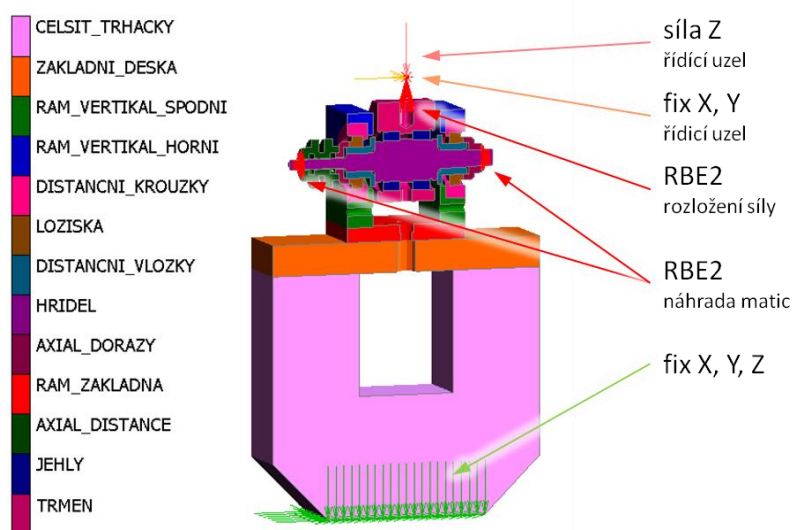
Krejčí

Součást	Místo poruchy	Možný způsob poruchy	Možný důsledek poruchy	Možné příčiny poruchy	Běžné kontroly	Současný stav				Doporučené opatření	Přijaté opatření	Výsledný stav			
						Výskyt	Závažnost	Detekce	RPN			Výskyt	Závažnost	Detekce	RPN
dělený třmen	šrouby	natažení/utržení	uvolnění v dělicí rovině	stržený závit	vizuální kontrola závitu	3	8	3	72						
	dosedací plocha ložis.	otlačení	vůle kroužku	deformace od zatížení	-	5	6	7	210	kontrola FEM	kontrola OK	1	6	7	42
jehlová ložiska	jehla	nedostatečné mazání	odpor při otáčení	únik/absence mazacího tuhu	vizulní při montáži	4	5	5	100	tuk s vyšší viskozitou	změna tuku	3	5	5	75
doraz	dosedací plocha	není v kontaktu	chybné měření	zaseknutí, nízká síla pružiny	ručně ověřit před měřením	4	8	3	96						
boční rám	dosed. ploch. kroužku	otlačení	vůle kroužku	deformace od zatížení	-	5	6	7	210	kontrola FEM	kontrola OK	1	6	7	42
distanční kroužek	dosedací plocha ložis.	otlačení	vůle ložiska	deformace od zatížení	-	5	6	7	210	kontrola FEM	kontrola OK	1	6	7	42
distanční vložka	dosedací plocha ložis.	otlačení	vetší vůle ložiska	deformace od zatížení	-	5	2	7	70						
hřídel	dosedací pl. vložky	otlačení	vetší vůle vložky	deformace od zatížení	-	5	2	7	70						
	osa	vychýlení	obvodová házivost	deformace od zatížení	-	5	7	7	245	kontrola FEM	změna materiálu	1	6	7	42
	závit	poškození	ztráta předpětí	vysoký Mu	vizuální kontrola závitu	5	8	2	80						
matice axiál. předpětí	poloha	uvolnění	ztráta předpětí	rotace	záznam síly	8	8	2	128	pojistná matice	zkoušky OK	4	8	2	64

7.3.1 Nastavení výpočetního modelu

Nastavení výpočetního modelu bylo provedeno tak, aby maximálně odpovídalo reálným podmínkám při experimentu. Vzhledem k předpokládanému zatížení byl výpočet nastaven jako strukturální statický. Na obr. 19 jsou zobrazeny okrajové podmínky modelu. Řídící uzel je umístěn nad třmenem přípravku. Tomu to uzlu jsou odebrány dva stupně volnosti – translační posuvy ve směru os X a Y. Ve směru osy Z na tento uzel působí zatěžující síla $F = 20$ kN. Distribuce síly na třmen je zajištěna pomocí tuhého prvku RBE2. Celkové uložení FE modelu je realizováno na spodní ploše čelisti trhačky odebráním všech tří stupňů volnosti. K zajištění axiálních posuvů součástí na hřídeli byly použity prvky RBE2. Tyto dva prvky nahrazují matice použité v reálném přípravku. Ložiska byla ve výpočtu nahrazena kroužky odpovídajících rozměrů. Tolerované rozměry uložení byly ve výpočtu zohledněny jako střední hodnota předepsaných výkresových mezních rozměrů. Pro výpočet byl použit lineární materiálový model odpovídající oceli. Konstanty materiálového modelu jsou zadávány v konzistentních jednotkách:

- hustota $\rho = 7,85 \cdot 10^{-9}$ t/mm³,
- Youngův modul pružnosti v tahu $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa,
- Poissonovo číslo $\mu = 0,3$.



Obr. 19 Okrajové podmínky výpočetního modelu.

U kontaktních analýz je rozlišováno chování mezi jednotlivými kontaktními tělesy. V softwaru Marc Mentat (i jiných) existují dva základní typy vazeb označované jako glue a touching. Vazba glue (lepení) potlačuje relativní pohyby mezi kontaktními tělesy. Proti tomu vazba touching (dotyk) omezuje vzájemné pronikání kontaktních těles a umožňuje relativní klouzáni v kontaktním rozhraní. Interakce jednotlivých kontaktních těles je zobrazena v kontaktní tabulce na obr. 20, kde symbol G označuje vazbu glue a symbol T vazbu touching. Pro vazbu touching byl ve výpočtu nastaven koeficient tření $f = 0,1$.

First	Body Name	Body Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	CELSIT_TRHACKY	Meshed (Deformable)	-	G											
2	ZAKLADNI_DESKA	Meshed (Deformable)	G	-								G			
3	RAM_VERTIKAL_SPODNI	Meshed (Deformable)			-	G	G					G			
4	RAM_VERTIKAL_HORNI	Meshed (Deformable)			G	-	G								
5	DISTANCNI_KROUZKY	Meshed (Deformable)			G	G	-	T							
6	LOZISKA	Meshed (Deformable)					T	-	T	T					
7	DISTANCNI_VLOZKY	Meshed (Deformable)						T	-	T	T				
8	HRIDEL	Meshed (Deformable)							T	-	T		T	T	
9	AXIAL_DORAZY	Meshed (Deformable)						T	T	T	-		T		
10	RAM_ZAKLADNA	Meshed (Deformable)		G	G							-			
11	AXIAL_DISTANCE	Meshed (Deformable)								T	T		-		
12	JEHLY	Meshed (Deformable)								T				-	T
13	NABOJ	Meshed (Deformable)												T	-

Obr. 20 Kontaktní tabulka.

7.3.2 Výsledky FEM analýzy

Výsledky FEM analýzy jsou posuzovány z hlediska ekvivalentních napětí von Mises na povrchu součástí. Tato napětí jsou způsobena především zatěžující silou. U některých součástí je navíc napětí na povrchu vyvozeno přesahem hranic kontaktních těles (funkce interference fit). Navrhovaný materiál na výrobu dílů je konstrukční ocel ČSN 11 500 s mechanickými vlastnostmi:

- mez pevnosti $R_m = 470$ MPa,
- mez kluzu $R_e = 245$ MPa.(12)

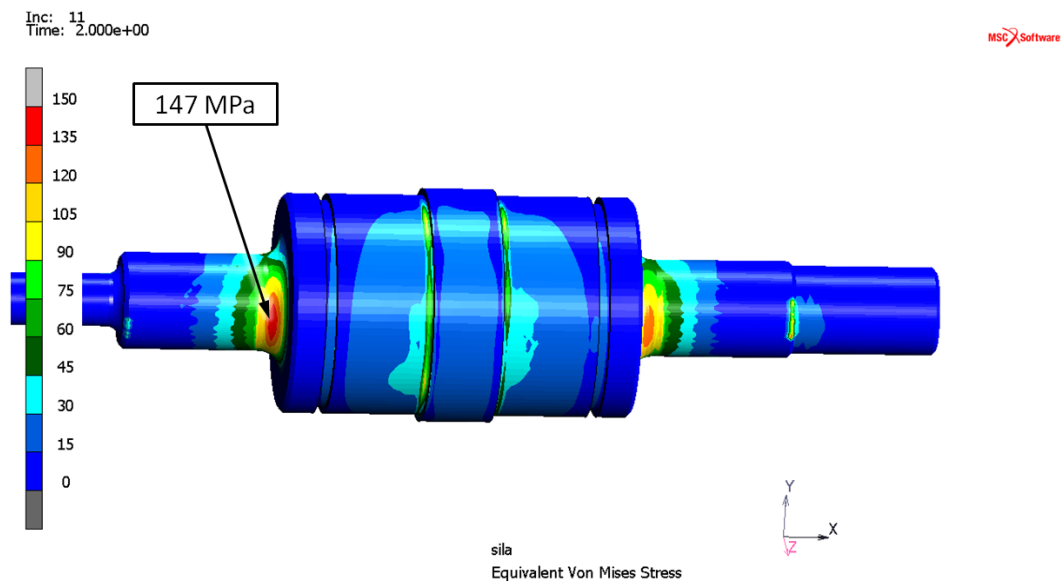
Na obr. 21 je zobrazeno ekvivalentní napětí von Mises na hřídeli přípravku při maximálním zatížení. Maximální hodnota napětí σ_{max} odečtená z modelu je 147 MPa. V porovnání s mezí kluzu navrhovaného materiálu je tato hodnota nižší. Pro spolehlivou funkci přípravku je však nutné zohlednit součinitel bezpečnosti b dle vzorce

$$Re > b \times \sigma_{max}, \quad 2$$

kde b volíme 2 a σ_{max} je maximální hodnota odečtená z modelu. Dosazením do nerovnice je zjištěno, že materiál ČSN 11 500 pro hřídel nevyhovuje. Je tedy nutné volit materiál s vyšší mezí kluzu. Navržen byl materiál s označením ČSN 11 523 s mechanickými vlastnostmi:

- mez pevnosti $Rm = 520$ MPa,
- mez kluzu $Re = 333$ MPa. (12)

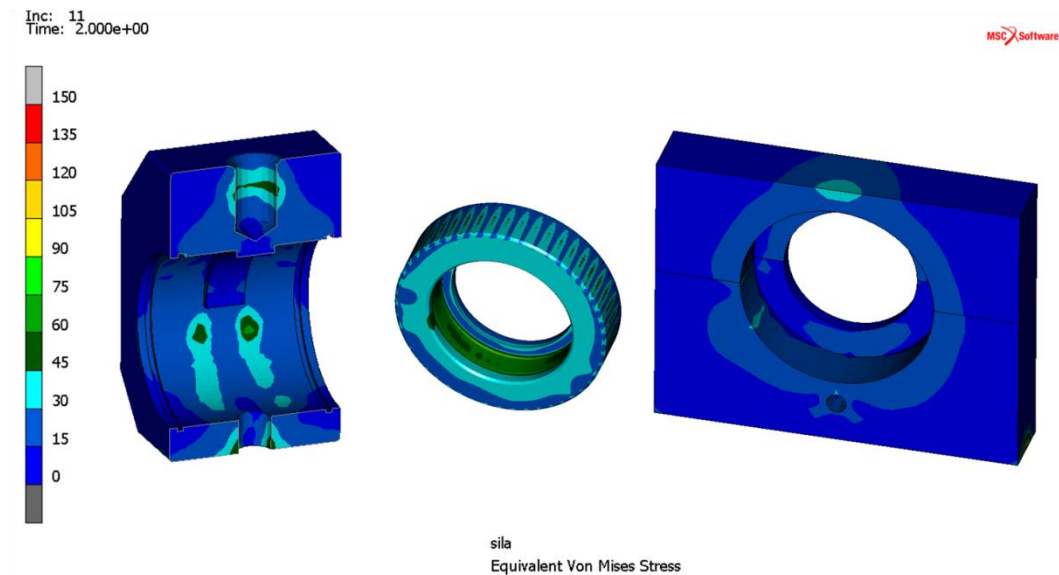
Nově navržený materiál podmínku bezpečnosti dle vzorce 2 splňuje.



Obr. 21 Ekvivalentní napětí von Mises – hřídel.

Ekvivalentní napětí na ostatních dílech identifikovaných FMEA analýzou jako potenciálně problematických je zobrazeno na obr. 22. Z výsledků je patrné, že žádný z dílů není namáhán takovým zatížením, aby ekvivalentní napětí překročilo mez kluzu materiálu se zohledněním součinitele bezpečnosti dle rovnice 2. Maximální hodnota napětí $\sigma_{max} = 104$ MPa na těchto dílech byla vyhodnocena na distančním kroužku v místě kontaktu s testovaným ložiskem. V tomto případě se jedná o kombinaci zatížení

od přesahu kontaktních těles (lisování) a zatížení vznikajícího od síly F . Výrobní výkresová dokumentace dílů vyhodnocovaných při FEM analýze je přílohou této diplomové práce.



Obr. 22 Ekvivalentní napětí von Mises – třmen (řez), distanční kroužek a rám.

7.4 Použité vybavení

Experimentální měření bylo provedeno v Laboratoři aplikované mechaniky na Technické univerzitě v Liberci s použitím následujícího vybavení.

7.4.1 inova FU 250

Jednoosé univerzální měřicí zařízení (trhačka) s hydraulickým válcem určené pro statické a dynamické zatěžování (obr. 23). Zařízení bylo použito s příslušenstvím v podobě hydraulických svěrných čelistí. Parametry zařízení:

- elektricky nastavitelná poloha horního příčnicku,
- maximální síla 250 kN,
- pracovní zdvih 100 mm,
- maximální rychlost 0,1 m/s. (13)



Obr. 23 Inova FU 250. (13)

7.4.2 Měřicí ústředna DEWE-5000

Vysoce univerzální měřicí ústředna od společnosti DEWETRON G.m.b.H. Ústředna je vybavena 16 izolovanými vstupy pro analogové moduly zesilovačů a přizpůsobivým panelem pro připojení dalších konektorů (např. vstupy čítačů). Ústředna je vybavena softwarem Dewesoft 7 pro sběr dat. (14)



Obr. 24 Měřicí ústředna DEWE-5000. (14)

7.4.3 Aparatura Kistler

K měření axiální síly byla použita aparatura Kistler, která byla sestavena z nábojového zesilovače Kistler typ 5011B a piezoelektrického snímače síly Kistler typ 9031A. Standardní napěťový výstup nábojového zesilovače ($\pm 10V$) byl připojen k měřicí ústředně DEWE-5000.



Obr. 25 Aparatura Kistler – měření axiální síly. (15)(16)

7.4.4 Inkrementální snímač posunutí hřídele

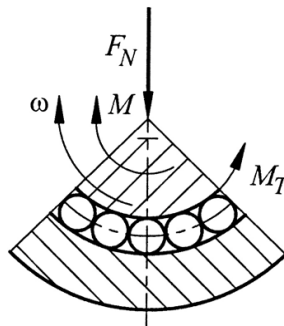
Pro snímání posunutí hřídele byl použit inkrementální snímač RLS LM13 a magnetický pásek upevněný v dotyku. Magnetický pásek je tvořen příčně uloženými magnetickými póly se střídající se polaritou. Magnetický pól na pásku je široký 1 mm. Magnetický pár je tedy tvořen jedním severním a jedním jižním pólem o celkové šířce 2 mm. Změny magnetického pole (vzájemný pohyb snímače a magnetického pásku) jsou snímány pomocí Hallových senzorů umístěných v inkrementálním snímači. Elektronika v inkrementálním snímači převádí informace o poloze na digitální výstup s rozlišením 1 μm .



Obr. 26 Inkrementální snímač RLS LM13. (17)

8 Metodika a měření radiální tuhosti

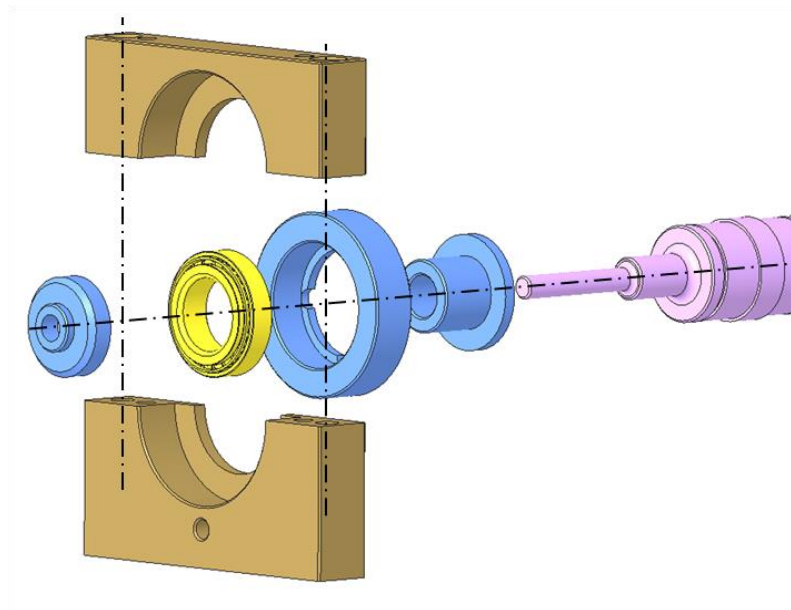
Valivá ložiska patří do kategorie pohyblivých spojů umožňující součástem vzájemný pohyb. V případě ložisek použitých v převodových skříních se jedná o pohyb rotační. Valivá uložení jsou založena na valivém tření, které vzniká mezi pohyblivou částí, valivým tělesem a nepohyblivou částí ložiska nebo vedení. Odpor proti pohybu, který představuje moment M_T (obr. 27), vznikne v důsledku pružných deformací stykových oblastí, přes které se přenáší síla F_N mezi spojovanými součástmi. (11)



Obr. 27 Valivé tření. (11)

Vzhledem k výše uvedenému vznikl požadavek prověřit, jaký vliv mají třecí síly způsobené pružnými deformacemi na radiální tuhost testovaných ložisek. Proto byly navrženy dva režimy testování. Statická zkouška, při které nebyla hřídel přípravku protáčena a zkouška kvazi-dynamická s protáčením hřídele. Zejména u kuželíkových ložisek vznikají vlivem radiálního zatížení třecí síly mezi valivým tělesem a kroužkem ložiska ve směru dotykové přímky, které mohou způsobovat rozdílné výsledky u testovaných režimů.

Pro každé ložisko (pár ložisek) je tedy potřeba provést dva typy zkoušek. U ložisek kuličkových a kuželíkových je navíc potřeba zmapovat závislost radiální tuhosti na axiálním předpětí u obou typů zkoušek. Pro axiální předpětí byly vybrány hladiny axiální síly 0 N, 500 N, 1 kN, 3 kN a 5 kN. Válečková ložiska axiální síly nezachytávají, proto nebyla testována s axiálním předpětím. Vzhledem k vysoké časové náročnosti byly pro každý typ ložiska testovány 3 vzorky (páry ložisek).



Obr. 28 Rozpad montáže ložiska do přípravku.

8.1 Montáž ložisek do přípravku

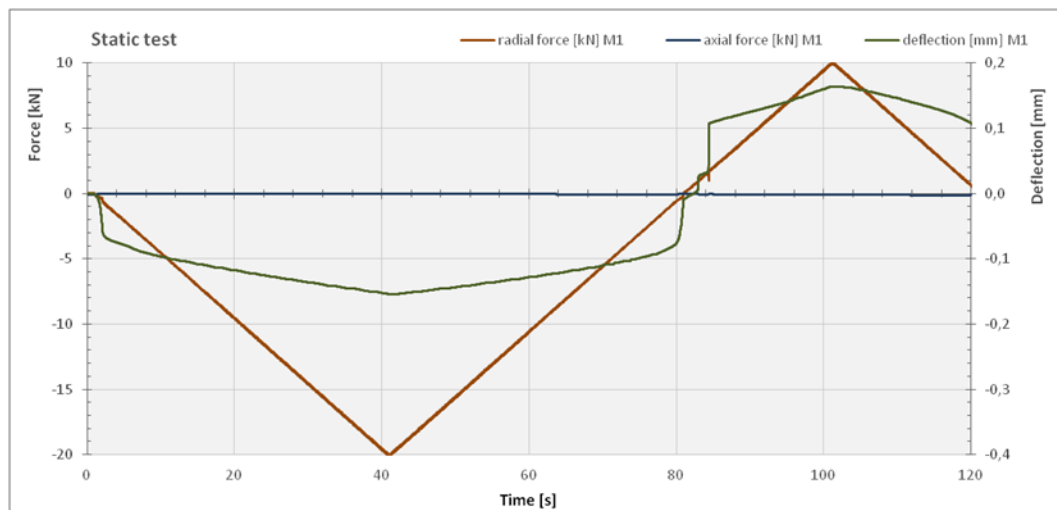
Pro montáž nebo výměnu ložisek je nutné přípravek částečně demontovat. Testovaná ložiska jsou nejprve nalisována do příslušného distančního kroužku. Na vnitřní montážní průměr ložiska je nasunuta odpovídající distanční vložka. Tento celek je poté nasunut na hřídel přípravku opatřenou děleným třmenem s jehlovými ložisky a upínacím trnem. Distanční vložky jsou opřeny o osazení hřídele. Hřídel s ložisky a distančními prvky je volně vložen do děleného rámu přípravku, který je následně sestaven šroubovým spojem. Jako poslední jsou na hřídel namontovány dílce pro axiální aretaci (a případné axiální předpětí) hřídele v přípravku. Tolerance montážních průměrů distančních dílců odpovídá výrobní dokumentaci ŠA. Graficky znázorněný postup montáže ložiska do přípravku je zobrazen na obr. 28.

8.2 Statická zkouška (bez protáčení)

Po sestavení přípravku, jeho upnutí do zkušebního zařízení a nastavení požadovaného axiálního předpětí je možné spustit statickou zkoušku. Při statické zkoušce je zkušebním zařízením nejprve postupně vyvozena tlaková síla do hodnoty -20 kN. Po dosažení požadované hodnoty síly je přípravek odlehčován a přechází přes „nulu“ do tahového režimu. V tahovém režimu je vyvozena síla $+10$ kN. Následuje odlehčení přípravku a ukončení zkoušky. Statická zkouška je prováděna v plně

automatickém režimu s plynulým zatěžováním. Časový průběh statické zkoušky je zobrazen v grafu na obr. 29. Konvence znamének odpovídá běžným zvyklostem pro tahovou zkoušku (záporné hodnoty síly – tlak, kladné hodnoty síly – tah).

V průběhu zkoušky jsou záznamovým zařízením kontinuálně zaznamenávány hodnoty sledovaných veličin frekvencí 100 Hz. Mezi tyto veličiny patří síla vyvolaná zkušebními zařízením, axiální síla působící na testovaná ložiska a posunutí hřídele.

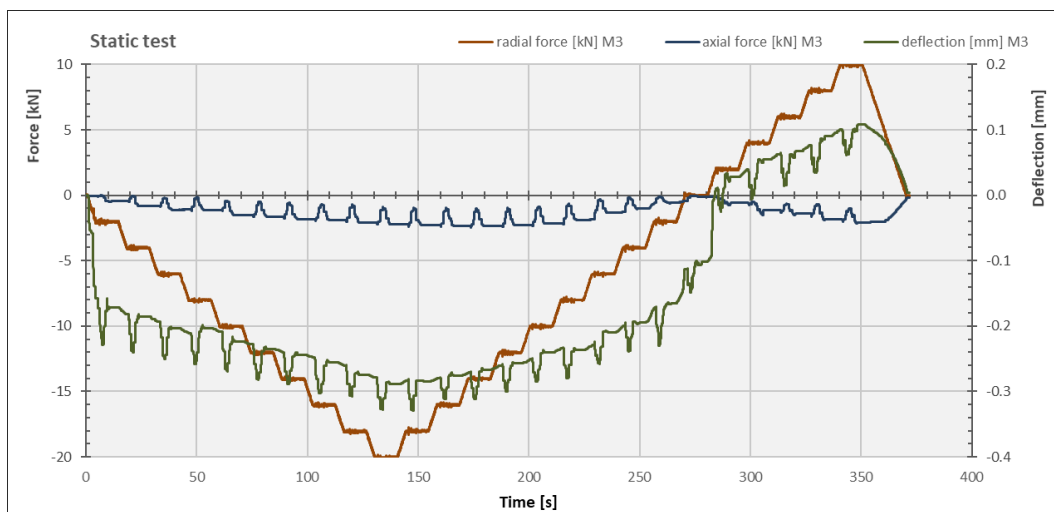


Obr. 29 Časový průběh statické zkoušky.

8.3 Kvazi-dynamická zkouška (s protáčením)

Pro kvazi-dynamickou zkoušku platí obdobný postup zatěžování jako pro zkoušku statickou. Z nezatíženého stavu je přípravek zatěžován na hodnotu -20 kN, poté je odlehčován a přechází do tahové oblasti až na hodnotu +10 kN. Během tohoto cyklu je však po přírůstku 2 kN zatížení pozastaveno na dobu nezbytnou pro protočení hřídele přípravku o 360°. Finální odlehčení je provedeno bez pozastavení zatížení a protáčení. Celý proces je řízen silou, tak jako u zkoušky statické. Protáčení hřídele přípravku je prováděno obsluhujícím pracovníkem za pomoci ráčnového klíče. Časový průběh kvazi-dynamické zkoušky je zobrazen v grafu na obr. 30.

V průběhu zkoušky jsou záznamovým zařízením kontinuálně zaznamenávány hodnoty sledovaných veličin frekvencí 100 Hz. Mezi tyto veličiny patří síla vyvolaná zkušebními zařízením, axiální síla působící na testovaná ložiska a posunutí hřídele.



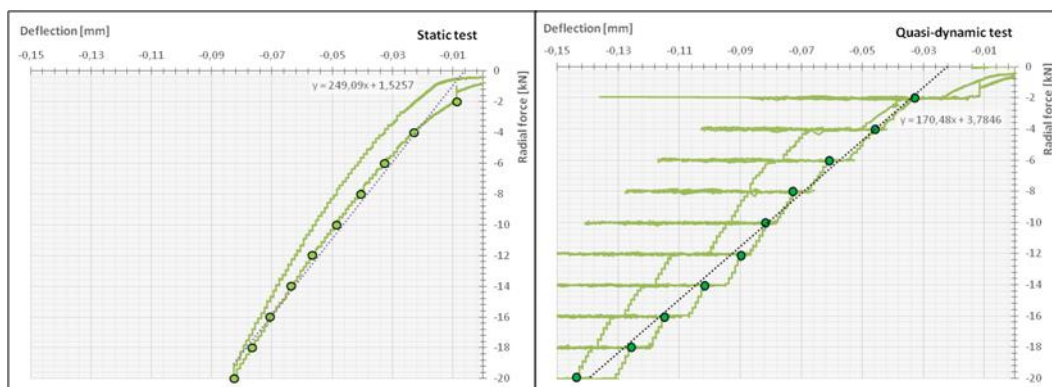
Obr. 30 Časový průběh kvazi-dynamické zkoušky.

8.4 Vyhodnocení radiální tuhosti

Pro práci s naměřenými daty a vlastní vyhodnocení radiální tuhosti testovaných ložisek byl použit tabulkový software MS Excel. Na obr. 31 jsou zobrazeny typické průběhy závislosti síly na deformaci pro oba typy zkoušky (kuželíkové ložisko). Vlevo je zobrazena statická zkouška, vpravo pak kvazi-dynamická zkouška. Pro oba typy zkoušek byla radiální tuhost ložisek vyhodnocována z tlakové části křivky. Z průběhů na obr. 31 je patrný poměrně dobrý lineární charakter křivky s viditelnou hysterezí. Pro vyhodnocení radiální tuhosti byla tedy zvolena metoda lineární regrese. Z naměřených křivek bylo vybráno 10 bodů (-2 až -20 kN, po -2 kN), ze kterých byla vyhodnocena regresní funkce. U statických zkoušek byly body vybrány vyhledávací funkcí. Pro zkoušky kvazi-dynamické byly body vybírány ručně na výše uvedených hodnotách síly vždy po protočení hřídele přípravku. Výsledkem lineární regresní analýzy je směrnice křivky k , která představuje dvojnásobek tuhosti testovaného ložiska. Tuhost ložiska k_L tedy získáme podle rovnice 3. Tuto operaci je nutné provést z důvodu naznačeného v kapitole 7.1. Celková síla (měřená) působící na přípravek je distribuována přes hřídel na testovaná ložiska podle rovnice 1. Pro zpracování dat je výhodnější provést tuto operaci až po vyhodnocení směrnice přímky.

$$k_L = \frac{1}{2}k$$

3



Obr. 31 Závislost síly na deformaci (vlevo – statická zkouška, vpravo – kvazi-dynamická zkouška).

Na obr. 31 jsou zobrazeny oba typy zkoušek pro jeden typ kuželíkového ložiska. Jak je patrné, vliv protáčení na radiální tuhost u kuželíkových ložisek je značný.

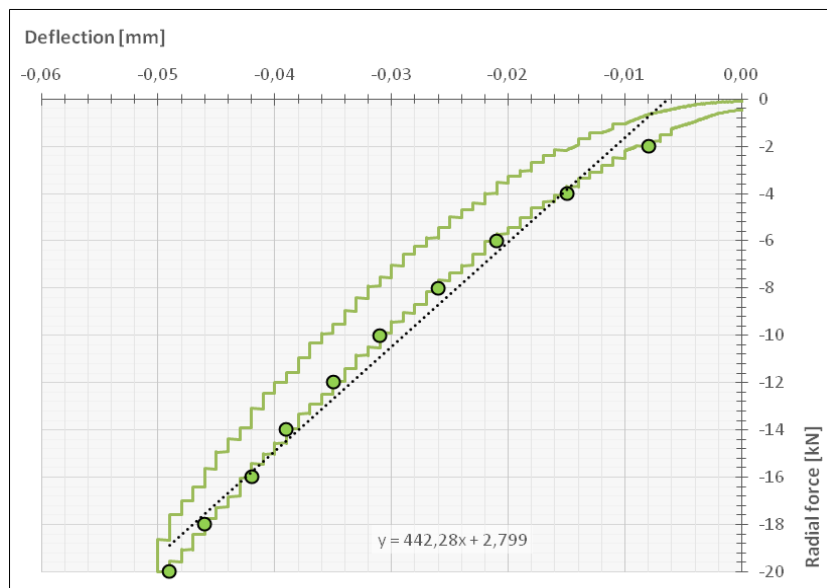
8.5 Korekce tuhosti přípravku

Vzhledem k poddajnosti jednotlivých komponent zkušebního přípravku bylo třeba učit vliv těchto komponent na průhyb hřídele při měření tuhosti ložisek. Vliv poddajnosti přípravku ovlivňuje výsledné hodnoty naměřené tuhosti ložisek, proto je nutné povést korekci výsledných hodnot. Byl tedy navržen a realizován postup pro určení korekce tuhosti přípravku.

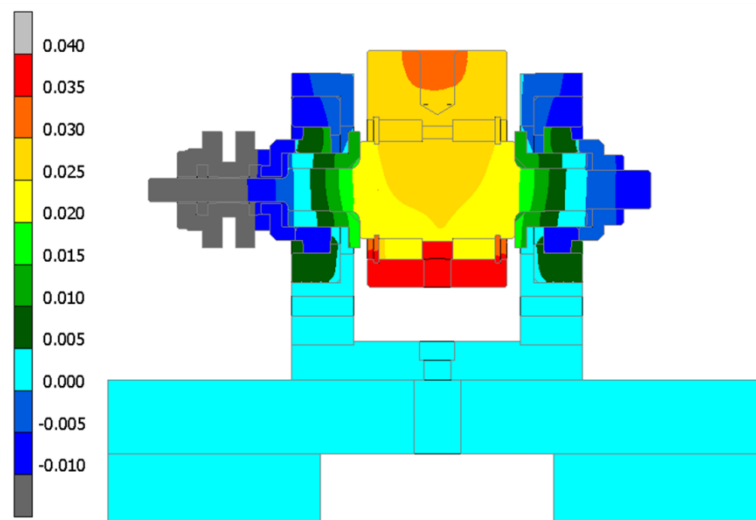
V první fázi byla provedena fyzická zkouška přípravku, při níž byla měřená ložiska nahrazena ocelovými kroužky s rozměry odpovídajícími měřenému ložisku. Průběh zkoušky byl stejný jako u statické zkoušky. Výsledkem této zkoušky byla směrnice k_{PEX} vyhodnocená dle postupu v kapitole 8.4. Graf závislosti radiální síly na deformaci a rovnice regresní přímky je zobrazena na obr. 32.

Jelikož i ocelová náhrada ložisek je pružné těleso, a cílem postupu je určit pouze tuhost vlastního přípravku, je třeba i tento vliv vyloučit. Proto byl vytvořen FE model přípravku. Tolerované rozměry uložení rotačních součástí přípravku byly v FE modelu zohledněny jako průměrná hodnota předepsaných výkresových mezí. Na FE modelu byly provedeny dva výpočty. První výpočet byl simulací zkoušky přípravku s ocelovými kroužky. V druhém výpočtu byly ocelové kroužky nahrazeny tuhými (nepoddajnými) tělesy. Obdobně jako u experimentálních dat byl počet kroků výpočtu zatěžování nastaven na 10, tak aby přírůstek síly činil -2 kN. V každém kroku byla odečtena

hodnota deformace hřídele v místě odpovídajícím kontaktu hřídele s dotykem měřicí sestavy.

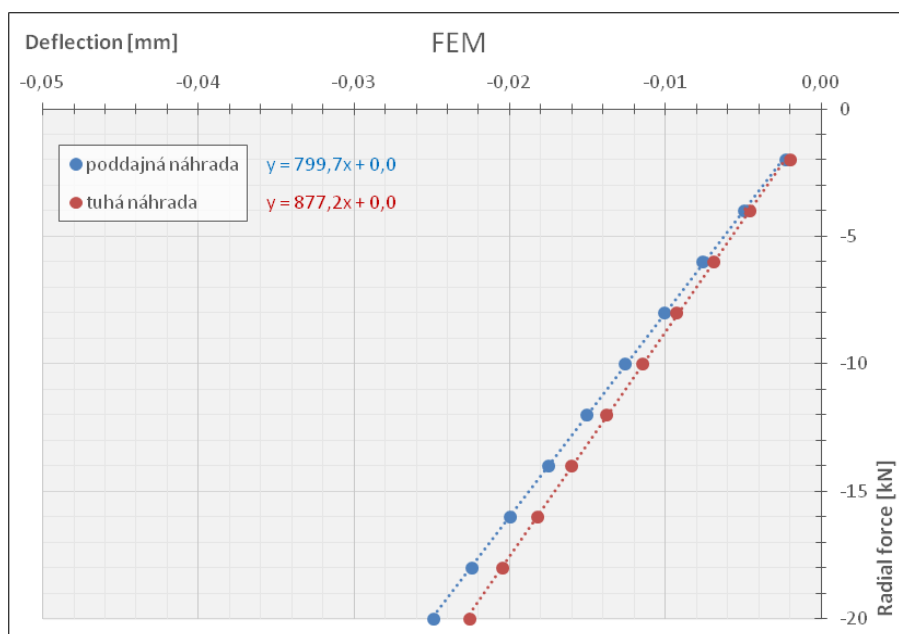


Obr. 32 Graf závislosti radiální síly na deformaci zkoušky s ocelovými náhradami.



Obr. 33 Deformace přípravku ve směru zatížení.

Na obr. 33 je zobrazen řez přípravku při zatížení -20 kN se zobrazenými deformacemi ve směru zatěžování pro model s poddajnými náhradami ložisek. Z odečtených bodů byly sestaveny regresní přímky pro oba výpočty (obr. 34). Z výsledků FEM analýz byly stanoveny dvě směrnice tuhosti přípravku k_{PD} pro výpočet s poddajnými kroužky a k_{PR} pro výpočet s kroužky tuhými.



Obr. 34 Graf závislosti radiální síly na deformaci pro výpočty FEM.

Tab. 12 Hodnoty deformace hřídele v místě měření vyhodnocené z FEM výpočtů.

		FEM střední hodnota										regresní funkce		poměr	
		síla [kN]	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20	k	q	%
Deformace [mm]	poddajná náhrada	-0,002	-0,005	-0,008	-0,010	-0,013	-0,015	-0,018	-0,020	-0,022	-0,025	799,7	0,000	91%	
	tuhá náhrada	-0,002	-0,005	-0,007	-0,009	-0,012	-0,014	-0,016	-0,018	-0,020	-0,023	877,2	0,000		

Pro stanovení vlastní tuhosti přípravku k_p je jako výchozí absolutní hodnota uvažována směrnice k_{PEX} stanovená z experimentálního měření. Tato hodnota je však ovlivněna poddajností ocelové náhrady ložisek. Pro výpočet výsledné tuhosti přípravku k_p je předpokládán stejný relativní poměr pro tuhosti stanovené FEM analýzou a tuhost experimentálně změřenou. Platí tedy

$$\frac{k_{PR}}{k_{PD}} = \frac{k_P}{k_{PEX}} \quad 4$$

Po úpravě

$$k_P = \frac{k_{PR} \times k_{PEX}}{k_{PD}} = \frac{877,2 \times 221,1}{799,7} = 242,6 \text{ kN/mm}. \quad 5$$

Stanovená směrnice tuhosti přípravku k_p je určena ke korekci experimentálních dat. Změřené a vyhodnocené tuhosti ložisek jsou korigovány podle vzorce 6, kde k_V představuje výslednou korigovanou hodnotu tuhosti měřeného ložiska.

$$k_V = \left(\frac{1}{k_L} - \frac{1}{k_P} \right)^{-1} \quad 6$$

9 Návrhy optimalizace přípravku

Při měření radiální tuhosti valivých ložisek byly zaznamenány určité jevy chování přípravku, kterým bude věnována tato kapitola.

Prvním z těchto projevů je poměrně obtížné nastavení přesné hodnoty axiálního předpětí. Utahování matice pro axiální předpětí vyžaduje určitý cit a zkušenosti obsluhy k vyvození stanovené hodnoty axiálního předpětí. Síla axiálního předpětí je přímo úměrná míře utahení matice a axiální tuhosti hřídele. Na obr. 30 je zobrazen průběh kvazi-dynamické zkoušky, kde je patrný nárůst axiální síly při radiálním zatížení. Je otázkou, zda je závislost axiální síly na radiálním zatížení při měření nežádoucí. V reálných podmínkách v převodových skříních jsou ložiska zatížena obdobně a je tedy možné předpokládat závislost podobnou. K eliminaci tohoto jevu je možné použít sestavu talířových pružin umístěných mezi maticí a podložkou.

Dalším odhaleným jevem je nedostatečné vedení dotyku v rámu přípravku. Vůle mezi díly způsobuje výkyv dotyku při protáčení hřídel a tím znehodnocuje měření. Dále je třeba zmínit, že dotyk zanechává stopu (vydírá drážku) na válcové části hřídele.

Pro odstranění těchto projevů budou uplatněny metody systematické kreativity. (18)

9.1 Funkční objektová analýza

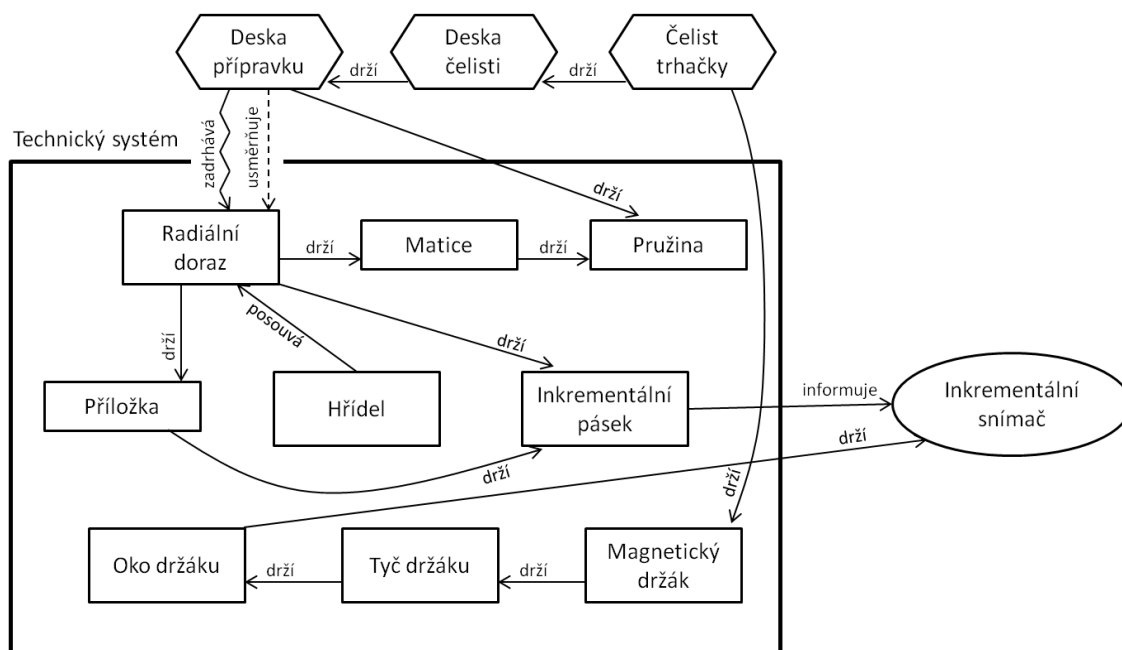
Pro řešený technický systém a vybrané komponenty nadsystému byla nejprve vytvořena tabulka komponent (tab. 13). Hlavní funkce technického systému je převod mechanické deformace (posunu) hřídele na měřitelnou elektrickou veličinu. Pro grafické znázornění prvků technického systému a vazeb mezi nimi byl sestaven model funkcí zobrazený na obr. 35.

9.2 Trimming

Aplikací trimmingu na model funkcí byla zjištěna nadbytečná komponenta deska přípravku. Úpravou desky čelisti je možné nahradit desku přípravku. Tato úprava však neodstraňuje problematické vazby s komponentou radiálního dorazu. Je tedy nutné aplikovat další postupy systematické kreativity.

Tab. 13 Model komponent FOA.

Model komponent		
Technický systém	Komponenty	Komponenty nadsystému
Systém snímání deformace hřídele	radiální doraz	deska přípravku
	matice	deska čelisti
	tlačná pružina	čelist trhačky
	příložka	
	inkrementální snímač	
	inkrementální pásek	
	oko držáku	
	tyč držáku	
	magnetický držák	
	hřídel	
hlavní funkce TS: převádí posun hřídele na elektrickou veličinu		hřídel



Obr. 35 Model funkcí – stávající řešení.

9.3 Překonání technického rozporu

Pro překonání technického rozporu bude využito nástrojů TRIZ. Nejprve je však nutné technický rozpor (TR) definovat. K identifikaci TR je využito postupu,

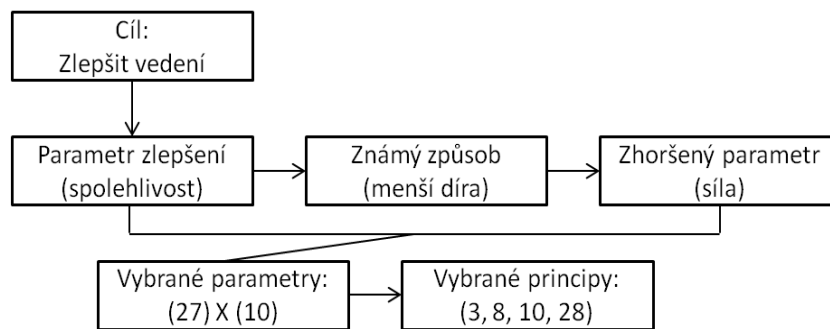
kdy dosažení požadovaného výsledku známým způsobem způsobuje nepřipustný vedlejší výsledek.

TR: Zlepšit vedení dorazu, zmenšením průměru díry, zhorší (zvýší) se síla potřebná k posouvání dorazu.

Identifikací technického rozporu je možné definovat rozpor fyzikálního (FR).

FR: Aby se doraz volně posouval, musí být průměr díry velký, a současně musí být průměr díry malý, aby byl doraz vedený přesně.

K eliminaci technického rozporu je využito tabulky s invenčními principy, kde k výběru principů slouží parametry vycházející z TR. Schéma postupu výběru invenčních principů je zobrazeno na obr. 36.



Obr. 36 Schéma řešení technického rozporu.

Invenční principy doporučují, jak uvedený rozpor překonat. Vybrané principy:

- 3 – princip místní kvality,
- 8 – princip antitíže,
- 10 – princip předběžného působení,
- 28 – princip náhrady mechanické soustavy.

9.3.1 Princip místní kvality

Rozdělit desku čelisti na nosnou část a část kluznou pro lepší posouvání radiálního dorazu. Idea konceptů: kluzné ložisko.

9.3.2 Princip antitíže

Kompenzace tření styčných ploch pomocí aerodynamických sil. Idea konceptu: plynový polštář – pneumatické ložisko.

9.3.3 Princip předběžného působení

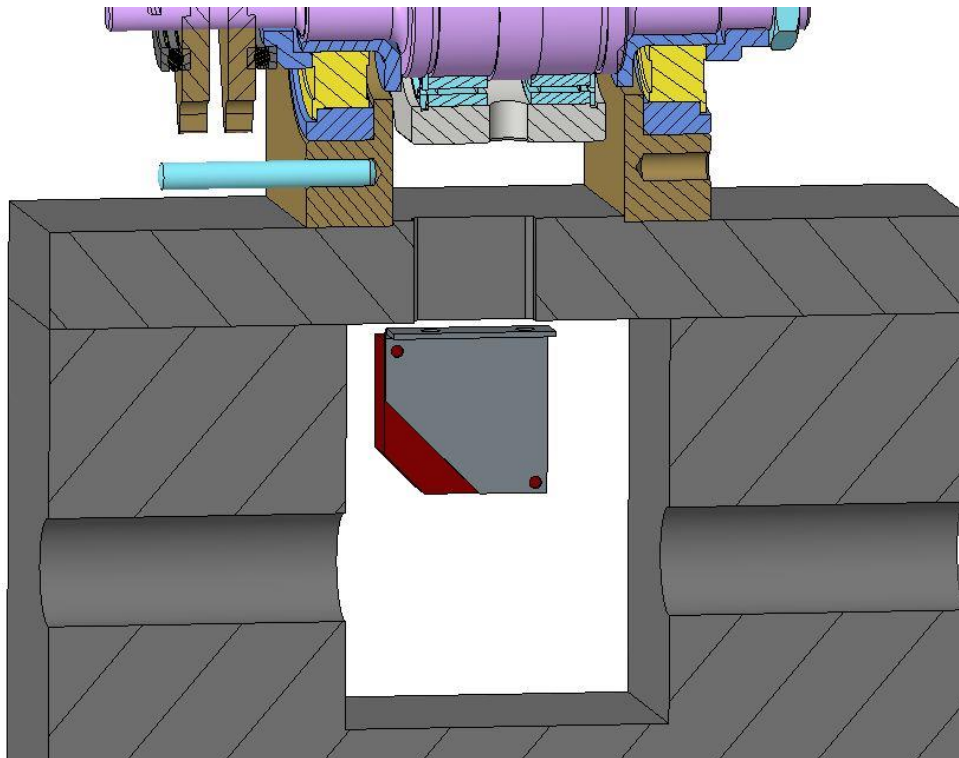
Snížení tření styčných ploch působením maziva.

9.3.4 Princip náhrady mechanické soustavy

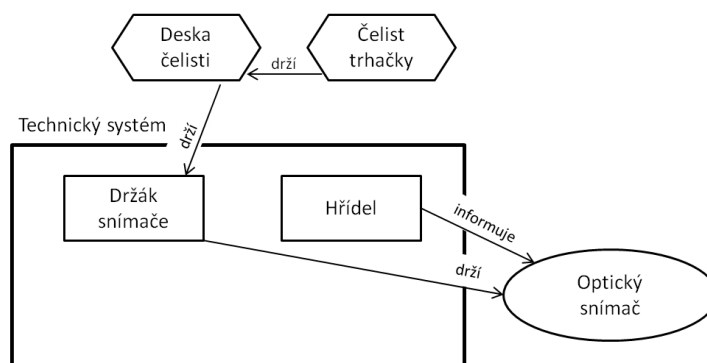
Přechod od mechanického měřicího doteku k optické metodě. Idea konceptu: použití optického snímače polohy.

9.4 Varianta optického měření

Pro další zpracování byl vybrán princip náhrady mechanické soustavy. Pomocí totálního trimmingu bylo dosaženo minimálního počtu komponent technického systému obr. 38. Invenční princip náhrady mechanické soustavy vedl k použití optického snímače vzdálenosti. Tato varianta optického měření odbourává problematické vazby radiálního dorazu, a proto se jeví jako nejvýhodnější. Technické řešení s použitím laserového snímače je zobrazeno na obr. 37. Laserové snímače v současnosti pracují s přesností okolo 1 μm , což je pro tuto aplikaci dostatečné. Náklady na případnou optimalizaci přípravku odpovídají investici na pořízení laserového snímače v hodnotě desítek tisíc Kč.



Obr. 37 Konstrukční řešení varianty s optickým měřením deformace.



Obr. 38 Model funkcí – optimalizovaný koncept.

10 Ekonomické zhodnocení

Pro kompletaci přípravku bylo třeba zadat výrobu navržených dílů a nakoupit díly normalizované. Mezi normalizované díly je započítán spojovací materiál a pomocná ložiska přípravku. Testovaná ložiska byly dodány zákazníkem (ŠA) a nejsou zahrnuty v nákladech. Konstruované díly byly tvořeny převážně obrobky z tvářených normalizovaných polotovarů. Malá část konstruovaných dílů byla navržena jako obrobek z polotovaru vypalovaného plechu. Obráběné díly tak tvořily majoritní část externích nákladů. Přehled externích nákladů rozdělených podle výrobců konstruovaných dílů a dodavatelů normalizovaných dílů je zobrazen v tab. 14.

Tab. 14 Externí náklady.

Existující externí náklady	
dodavatel	náklady
výroba	
Výrobce 1	68 920 Kč
Výrobce 2	1 620 Kč
Výrobce 3	460 Kč
Výrobce 4	200 Kč
nakupovaný materiál	
Dodavatel 1	772 Kč
Dodavatel 2	324 Kč
Dodavatel 3	833 Kč
EN CELKEM	73 129 Kč

Při návrhu této konstrukční varianty byly odhadnuty náklady na 65.000 Kč. Skutečné náklady byly překročeny o částku 8.129 Kč, tedy o 13 %. Maximální uvažované náklady na výrobu přípravku byly v kapitole 2 stanoveny na 100.000 Kč. Lze tedy konstatovat, že i po překročení odhadovaných nákladů o 13 % nebyla překročena maximální stanovená investice.

Pro stanovení jednotkové ceny na proměření jednoho typu ložiska, dle metodiky uvedené v kapitole 8, je třeba uvažovat čas pronájmu zkušebního zařízení a mzdu obsluhujícího pracovníka. Podle zmíněné metodiky je možné během jedné osmihodinové směny změřit dva typy valivých ložisek.

11 Závěr

Motivací této diplomové práce byla myšlenka experimentálního stanovení radiální tuhosti valivých ložisek použitých v modulových převodových skříních koncernu Volkswagen pro účely použití této tuhosti v MBS simulacích prováděných ve společnosti LENAM při vývojových pracích.

Vytyčeným cílem bylo navrhnout univerzální přípravek s vhodnými parametry, s jehož pomocí by bylo možno stanovit radiální tuhost valivých ložisek. Přípravek s funkcemi radiálního zatížení testovaných ložisek, axiálního zatížení testovaných ložisek a funkcí umožňující vzájemného protáčení kroužků ložisek při zatížení. Pro účely konstrukce přípravku byl v této oblasti nejprve proveden průzkum současného stavu trhu a patentový průzkum databáze patentů. Získané informace z průzkumů byly použity jako ideové podklady pro návrh variant konstrukčních řešení.

Formou skic byly vypracovány tři návrhy variant doplněné o textový popis. Pomocí metody AHP byly jednotlivé návrhy mezi sebou porovnány na základě vhodně zvolených kritérií. Vybraná varianta byla detailně zkonstruována ve 3D softwaru se zaměřením na DFX metody. Aplikací metody FMEA byla odhalena slabá místa konstrukce, která by mohla ovlivnit funkce přípravku. K výstupům z FMEA analýzy byly navrženy opatření k jejich odstranění. Sestava přípravku byla prověřena z hlediska výskytu nepřípustných napětí nelineární kontaktní FEM simulací, která odhalila potenciální místo vzniku nežádoucích trvalých deformací na hlavním hřídeli přípravku. Proto byl pro korektní funkci přípravku navržen materiál hřídele s vyšší mezí kluzu.

V experimentální části diplomové práce bylo uvedeno použité laboratorní vybavení při měření radiální tuhosti ložisek pomocí inovovaného přípravku. Dále zde byla zpracována metodika měření radiální tuhosti statickou a kvazi-dynamickou zkouškou. Na experimentálních datech byl zpracován postup vyhodnocení radiální tuhosti měřených ložisek. Pro korekci naměřených hodnot radiální tuhosti ložisek byla navržena a aplikována metodika definující vlastní tuhost inovovaného přípravku. Při aplikaci této metodiky bylo využito kombinace experimentu a deformační FEM analýzy.

V závěrečné části práce bylo provedeno hodnocení funkce přípravku na základě zkušeností s jeho použitím. Pomocí nástrojů metody TRIZ byla úspěšně provedena optimalizace stávajícího řešení přípravku. Poslední kapitola byla věnována ekonomickému zhodnocení projektu.

Seznam obrázků

Obr. 1 Řez převodovou skříní MQ100. (1)	13
Obr. 2 Hodnoty radiální tuhosti válečkových ložisek SKF. (2)	15
Obr. 3 Schéma zkušebního stroje RAH-1D. (3)	16
Obr. 4 Fotografie zkušební baterie 5x RAH-1D. (3)	16
Obr. 5 Schéma zkušebního zařízení firmy Schaeffler. (4)	17
Obr. 6 Schéma patentu 186108. (6)	18
Obr. 7 Schéma patentu 218005. (7)	19
Obr. 8 Schéma patentu 248316. (8)	20
Obr. 9 Skica varianty A „třmen“.	23
Obr. 10 Skica varianty B „závaží“.	24
Obr. 11 Skica varianty C „symetrie“.	26
Obr. 12 Měřené typy valivých ložisek (zleva: kuličkové, válečkové a kuželíkové). (11)	32
Obr. 13 Kuličkové ložisko s osazeným vnějším kroužkem a drážkou pro pojistný kroužek.	33
Obr. 14 Uspořádání zkoušky v prostoru zkušebního zařízení.	34
Obr. 15 Řez přípravkem.	34
Obr. 16 Rozložení sil na nosníku (hřídeli).	35
Obr. 17 Měření posunutí hřídele.	35
Obr. 18 Závislost radiální tuhosti ložiska (kuličkové) na axiálním předpětí.	36
Obr. 19 Okrajové podmínky výpočetního modelu.	39
Obr. 20 Kontaktní tabulka.	40
Obr. 21 Ekvivalentní napětí von Mises – hřídel.	41
Obr. 22 Ekvivalentní napětí von Mises – třmen (řez), distanční kroužek a rám.	42
Obr. 23 Inova FU 250. (13)	43
Obr. 24 Měřicí ústředna DEWE-5000. (14)	43
Obr. 25 Aparatura Kistler – měření axiální síly. (15)(16)	44
Obr. 26 Inkrementální snímač RLS LM13. (17)	44
Obr. 27 Valivé tření. (11)	45
Obr. 28 Rozpad montáže ložiska do přípravku.	46

Obr. 29 Časový průběh statické zkoušky.	47
Obr. 30 Časový průběh kvazi-dynamické zkoušky.	48
Obr. 31 Závislost síly na deformaci (vlevo – statická zkouška, vpravo – kvazi-dynamická zkouška).	49
Obr. 32 Graf závislosti radiální síly na deformaci zkoušky s ocelovými náhradami.	50
Obr. 33 Deformace přípravku ve směru zatížení.	50
Obr. 34 Graf závislosti radiální síly na deformaci pro výpočty FEM.	51
Obr. 35 Model funkcí – stávající řešení.	53
Obr. 36 Schéma řešení technického rozporu.	54
Obr. 37 Konstrukční řešení varianty s optickým měřením deformace.	55
Obr. 38 Model funkcí – optimalizovaný koncept.	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry přípravku pro měření radiální tuhosti valivých ložisek.	14
Tab. 2 Inovační prohlášení.	21
Tab. 3 Saatyho doporučená stupnice intenzity významnosti. (10)	27
Tab. 4 Matice párového porovnání kritérií, váhy kritérií.	28
Tab. 5 Porovnávací matice pro kritérium K1.	29
Tab. 6 Porovnávací matice pro kritérium K2.	29
Tab. 7 Porovnávací matice pro kritérium K3.	30
Tab. 8 Porovnávací matice pro kritérium K4.	30
Tab. 9 Poměrová matice pro kritérium K5.	31
Tab. 10 Vyhodnocení priorit jednotlivých konceptů.	32
Tab. 11 Analýza FMEA-K	38
Tab. 12 Hodnoty deformace hřídele v místě měření vyhodnocené z FEM výpočtů.	51
Tab. 13 Model komponent FOA.	53
Tab. 14 Externí náklady.	56

Seznam použité literatury

1. **CHLUPÁČ, Martin.** *Historie převodovek Laurin & Klement a Škoda.* Moto Public, 2019. ISBN 978-80-906693-4-5.
2. **SKF.** Super-precision bearings. *SKF.* [Online] [Citace: 10. květen 2020.] https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680495562-Super-precision-bearings-catalogue---13383_2-EN_tcm_12-129877.pdf.
3. **ZKL.** Ověřování vlastností valivých ložisek. [Online] [Citace: 10. květen 2020.] <https://www.sczl.cz/download/download/2011-boretice/14-zkl-kotlan-zkouseni.pdf>.
4. **SCHAEFFLER.** Innovative Bearing Concepts for the Powertrains of the Future. [Online] [Citace: 10. květen 2020.] <http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/t5/index.html#literature>.
5. **MAŠÍN, Ivan, PETRŮ, Michal a NOVÁK, Ondřej.** *Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-187-0.
6. **RATHUSKÝ, Jiří.** *Zařízení ke zkoušení ložisek. 186108* Česká republika, 28. únor 1978. vynález.
7. **BOHÁČEK, František a SÁBLÍK, Radoslav.** *Zařízení na zkoušení mezních vlastností radiálních valivých ložisek. 218005* Česká republika, 26. únor 1982. vynález.
8. **RATHUSKÝ, Jiří.** *Zařízení k zatěžování ložisek při jejich zkoušení. 248316* Česká republika, 12. červen 1986. vynález.
9. **MAŠÍN, Ivan.** *Inovační inženýrství. Plánování a návrh inovovaného výrobku.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.
10. **TOMEŠ, Rostislav a ALCNAUER, Július.** Konzistence matice párových porovnání při použití Analytického hierarchického procesu (AHP). <https://web.fsv.cvut.cz/>. [Online] únor 2014. [Citace: 20. květen 2020.] http://bit.fsv.cvut.cz/issues/02-14/full_02-14_06.pdf.
11. **PEŠÍK, Lubomír.** *Části strojů, 1. díl.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-573-0.
12. **LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel.** *Strojnické tabulky. Úvaly :* ALBRA, 2003. ISBN 80-86490-74-2.

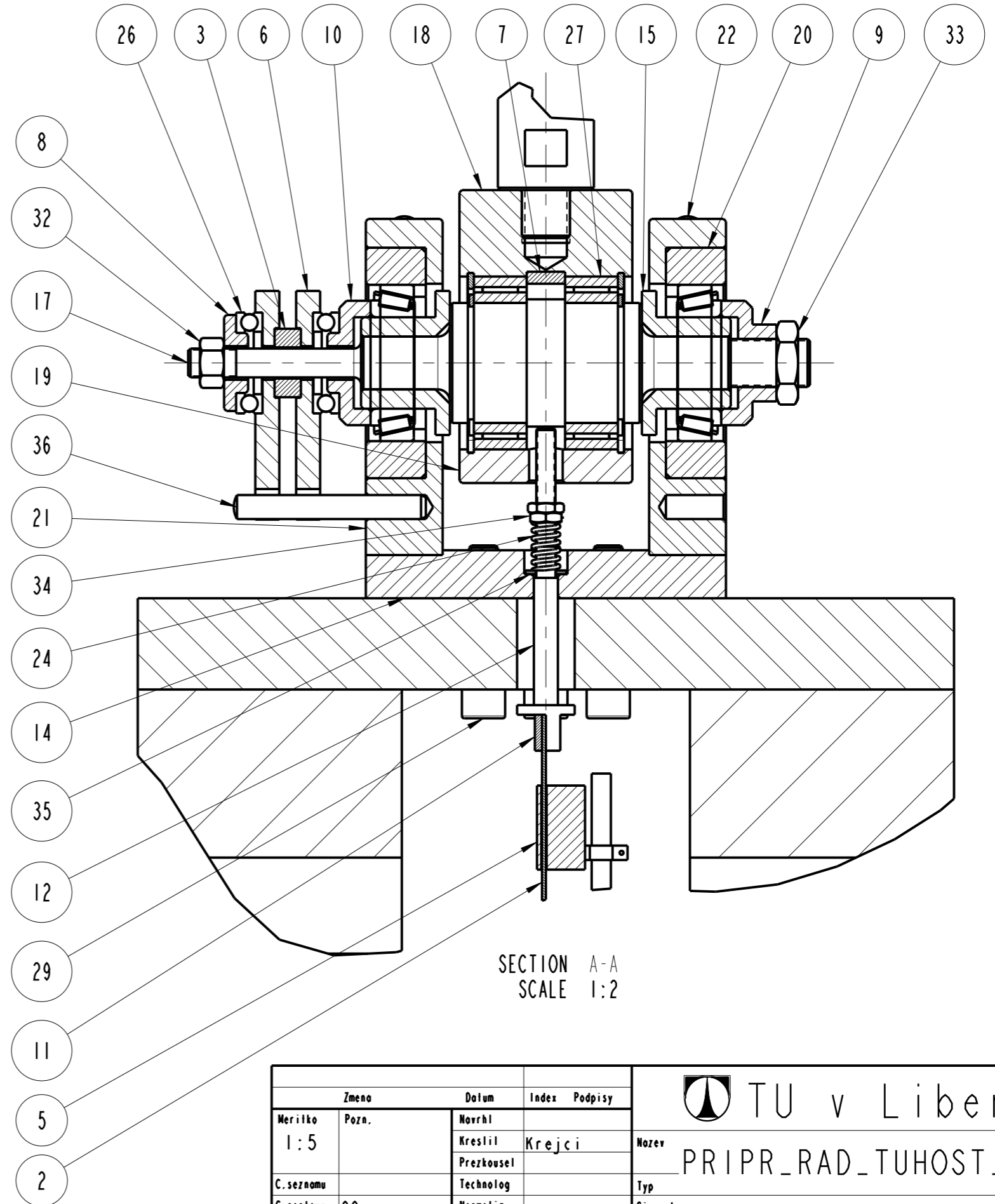
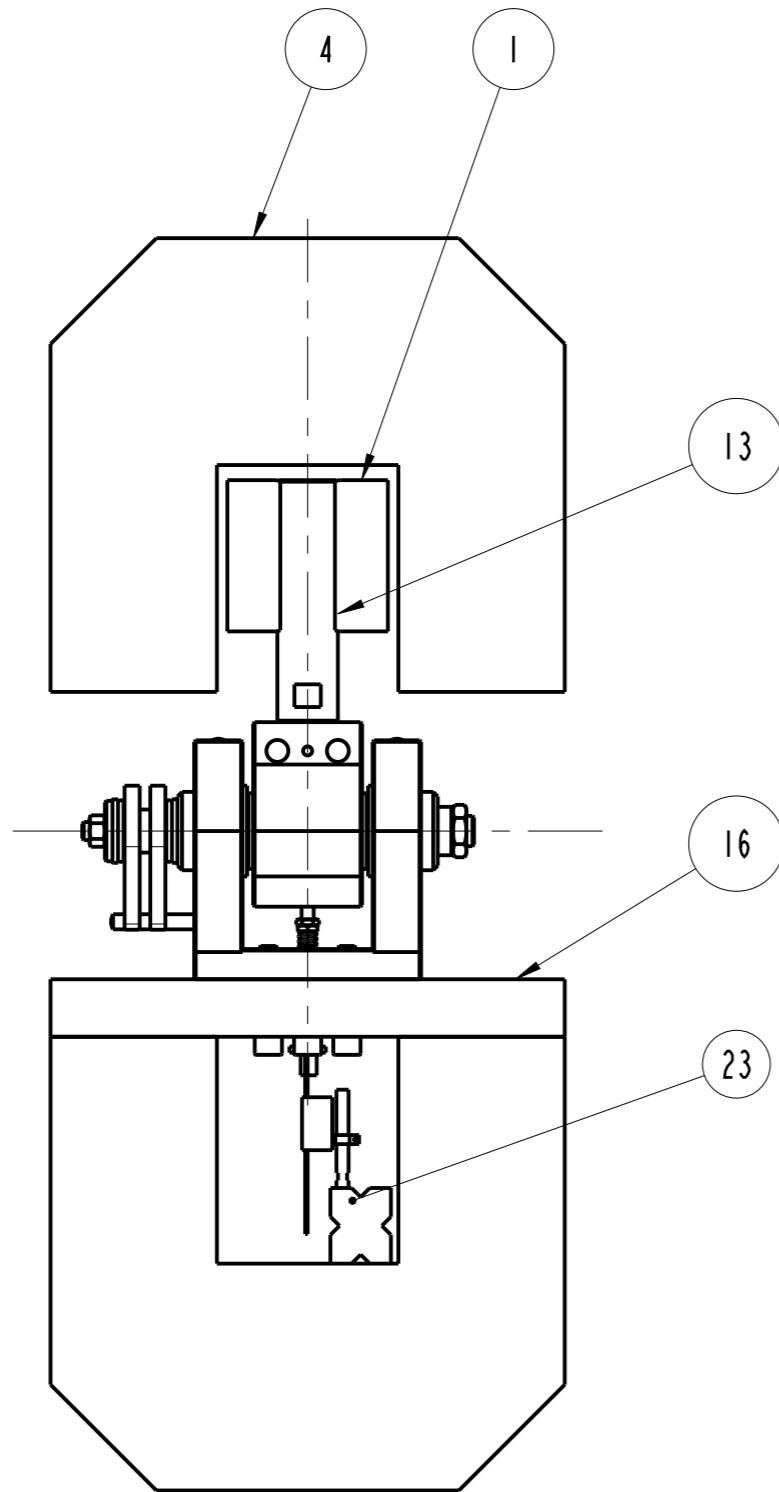
13. **Technická univerzita v Liberci.** <http://new.cxi.tul.cz/>. *Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace.* [Online] [Citace: 16. 03 2020.]
https://cxi.tul.cz/files/pages/other/Slu%C5%BEby/Spolupr%C3%A1ce%20s%20pr%C5%AFmyslem/CZ_Pristroje.pdf.
14. **DEWETRON.** Technical Reference Guide. Grambach, Rakousko : DEWETRON, 2012.
15. **Kistler.** Charge Amplifier. [Online] 2005. [Citace: 17. březen 2020.]
https://www.process-controls.com/intertechnology/Kistler/pdfs/ACC_5011B_Charge_Amplifier.pdf.
16. **Kistler.** Force Measurement with Load Washers. [Online] 2009. [Citace: 17. březen 2020.] <https://www.kistler.com/?type=669&fid=83668&model=document>.
17. **RLS.** LM13 incremental magnetic encoder system. [Online] 2018. [Citace: 20. březen 2020.]
https://www.rls.si/en/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom%2Fupload%2FLM13D02_05_EN_data_sheet.pdf.
18. **MAŠÍN, Ivan a JIRMAN, Pavel.** *Metody systematické kreativity.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.
19. **PEŠÍK, Lubomír.** *Části strojů, 2. díl.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-574-7.

Seznam příloh

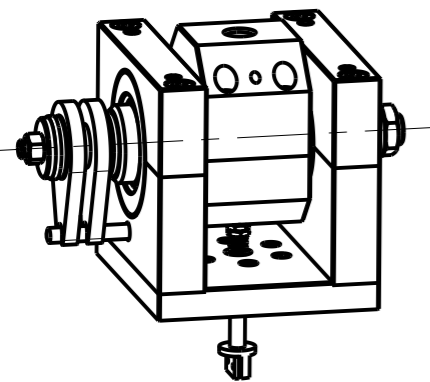
• Výkres sestavy	PRIPR_RAD_TUHOST_F	č. 17047-00-0000-00	list 1
• Kusovník sestavy	PRIPR_RAD_TUHOST_F	č. 17047-00-0000-00	list 2
• Výrobní výkres	HRIDEL_RADIAL	č. 17047-00-0000-01	list 1
• Výrobní výkres	TRMEN_1	č. 17047-00-0000-02	list 1
• Výrobní výkres	TRMEN_2	č. 17047-00-0000-03	list 1
• Výrobní výkres	DISTANCNI_KROUZEK	č. 17047-00-0000-04	list 1
• Výrobní výkres	RAM_BOK_1	č. 17047-00-0000-05	list 1
• Výrobní výkres	RAM_BOK_2	č. 17047-00-0000-06	list 1

ZASTAVBA VE ZKUSEBNIM ZARIZENI

REZ PRIPRAVKEM - DETAIL



SECTION A-A
SCALE 1:2



Zmena		Datum		Index Podpisy	
Meritko	Pozn.	Navrh	Kreslil	Krejci	Nazev
1:5		Prezkouset			PRIPR_RAD_TUHOST_F
C.seznamu		Technolog			Typ
C.sestavy	00	Normaliz.			Cis.vykresu
Stary vykr.		Schvalil			17047-00-0000-00
Novy vykr.		Datum	08-06-2020		Lisť


TU v Liberci

PRIPR_RAD_TUHOST_F

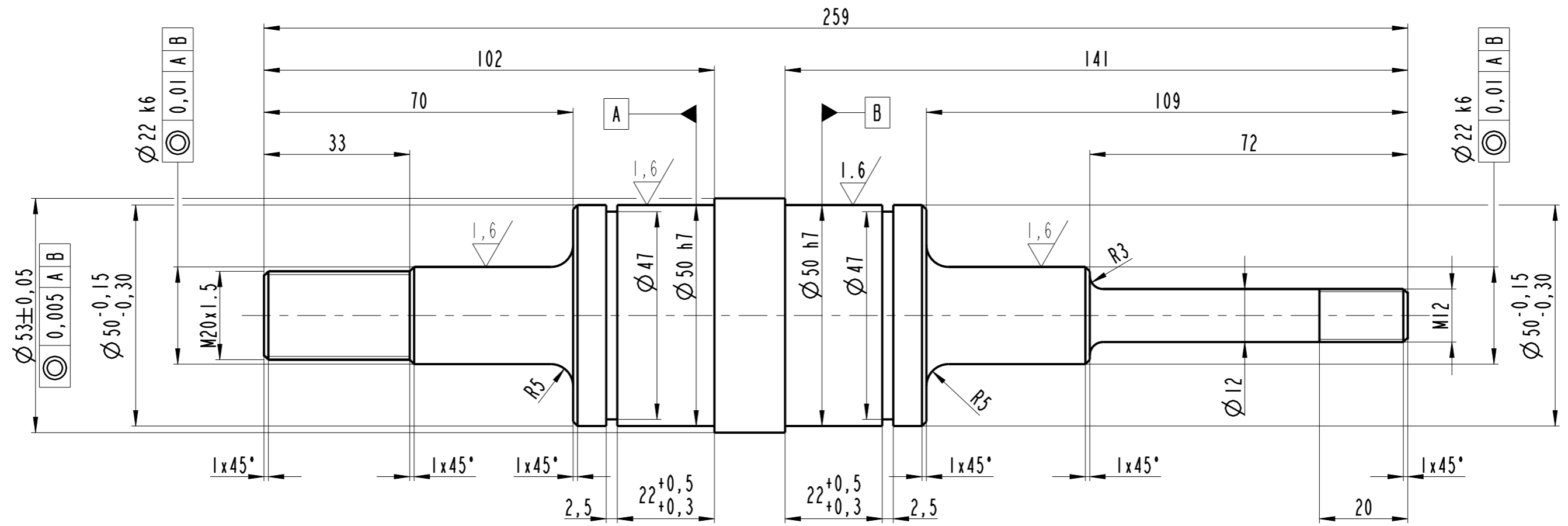
17047-00-0000-00

40	CSN022931_DI_72	CSN 02 2931		ks	2	
39	CSN022930_DI_50	CSN 02 2930		ks	2	
38	CSN022150_8X80	CSN 02 2150		ks	4	
37	CSN022150_6X60	CSN 02 2150		ks	2	
36	CSN022150_10X80	CSN 02 2150		ks	1	
35	CSN021702_8_4	CSN 02 1702		ks	1	
34	CSN021403M8	CSN 02 1403		ks	2	
33	CSN021403M20X1_5	CSN 02 1403		ks	1	
32	CSN021401M12X1_25	CSN 02 1401		ks	1	
31	CSN021143M8X1X50	CSN 02 1143		ks	4	
30	CSN021143M12X70	CSN 02 1143		ks	4	
29	CSN021143M12X60	CSN 02 1143		ks	6	
28	CSN021143M12X30	CSN 02 1143		ks	4	
27	NA4910			ks	2	
26	51105A			ks	2	
25	KEGELROLLAGER		-	ks	2	235,469
24	049_115_421-DRUCKFEDER			ks	1	0,000
23	DRZAK_INKREMENTAL	asm	-	ks	1	
22	RAM_BOK_2	17047-00-0000-06	11 500	ks	2	1,675
21	RAM_BOK_1	17047-00-0000-05	11 500	ks	2	2,656
20	RAD_DIST_KROUZEK	17047-00-0000-04	11 500	ks	2	0,784
19	RAD_TRMEN_2	17047-00-0000-03	11 500	ks	1	1,648
18	RAD_TRMEN_1	17047-00-0000-02	11 500	ks	1	2,587
17	HRIDEL_RADIAL	17047-00-0000-01	11 523	ks	1	1,615
16	ZAKLADOVA_DESKA	-	11 500	ks	1	17,770
15	VLOZKA	-	11 500	ks	2	0,286
14	RAD_ZAKLAD_DESKA	-	11 500	ks	1	3,782
13	RAD_UPINACI_TRN	-	11 500	ks	1	1,611
12	RAD_DORAZ	-	11 500	ks	1	0,087
11	PRILOZKA_PASEK	-	11 500	ks	1	0,008
10	OPERA_LOZISKA_003_519_185	-	11 500	ks	1	0,151
9	OPERA_LOZISKA_2	-	11 500	ks	1	0,187
8	OPERA_AXIAL_LOZISKA	-	11 500	ks	1	0,055
7	DISTANCNI_VLOZKA	-	11 500	ks	1	0,070
6	MEZILOZISKOVA_VLOZKA	-	11 373	ks	2	0,254
5	INKREMENTAL -	-	-	ks	1	
4	ULOZENI_CELISTI	-	-	ks	2	108,900
3	KISTLER9031A	-	-	ks	1	0,043
2	IKREMENTAL_PASEK	-	-	ks	1	0,015
1	CELIST	-	-	ks	2	2,117

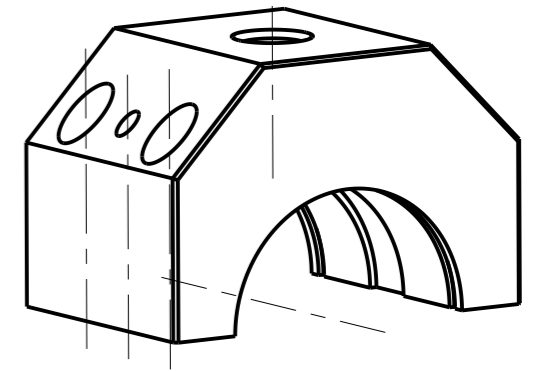
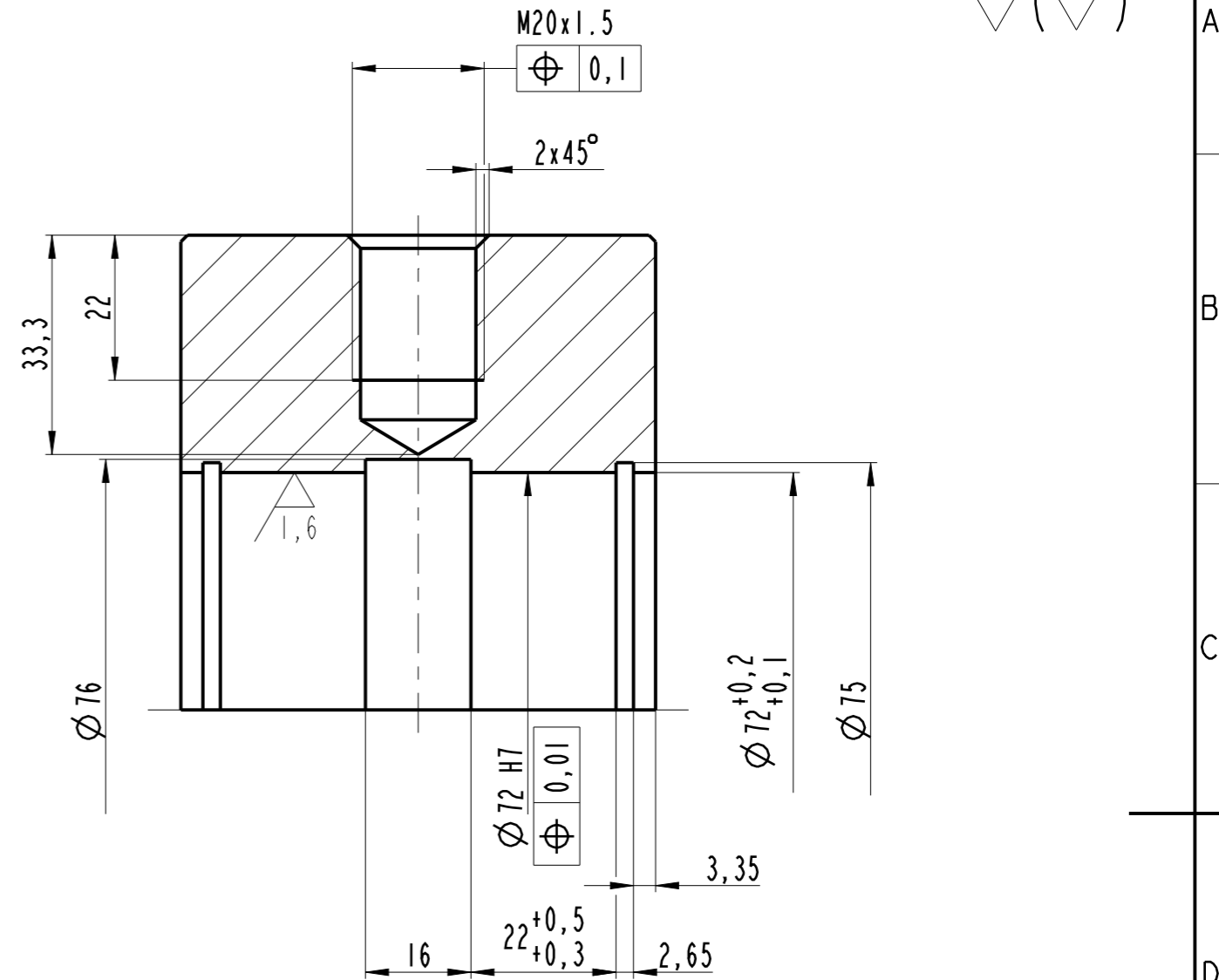
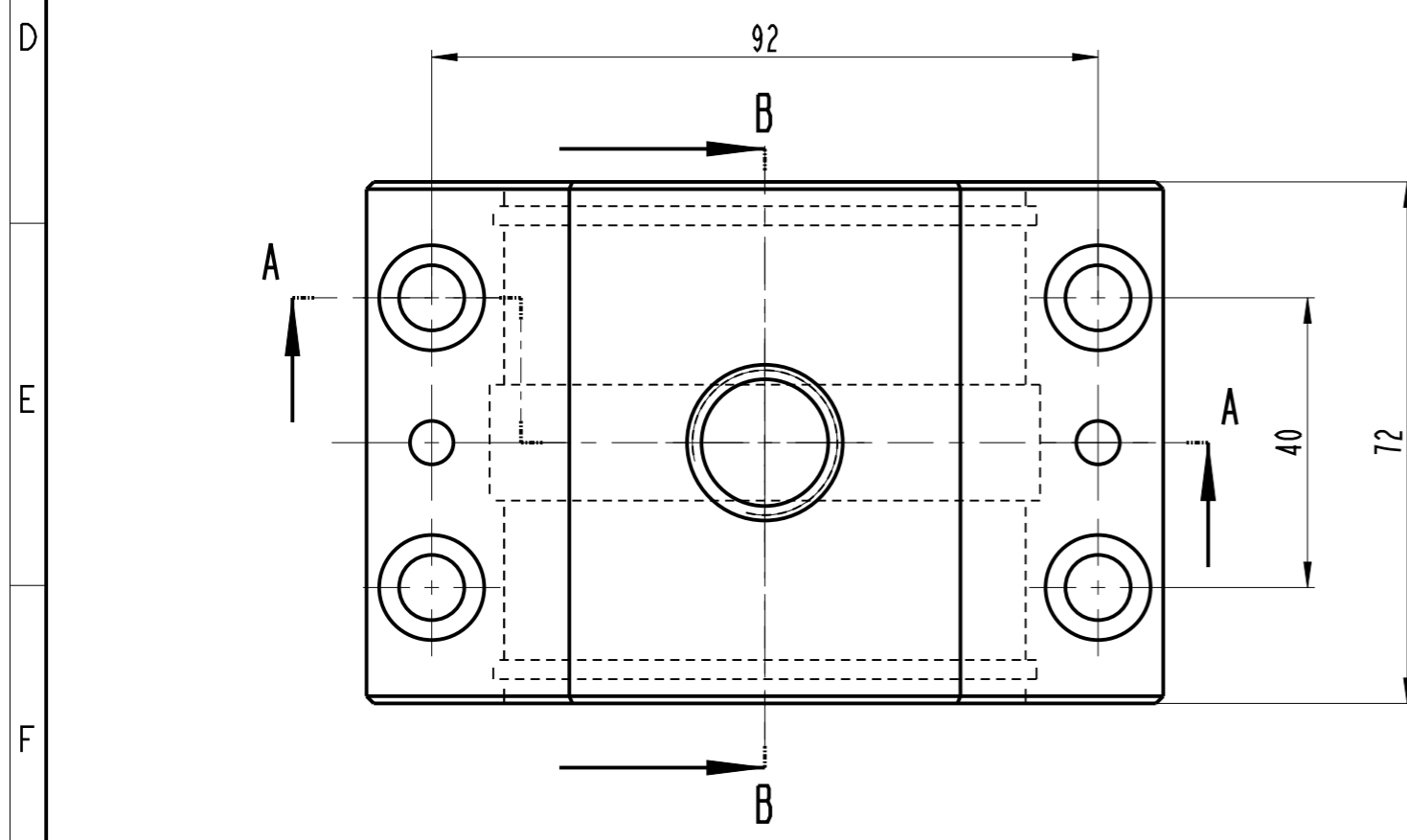
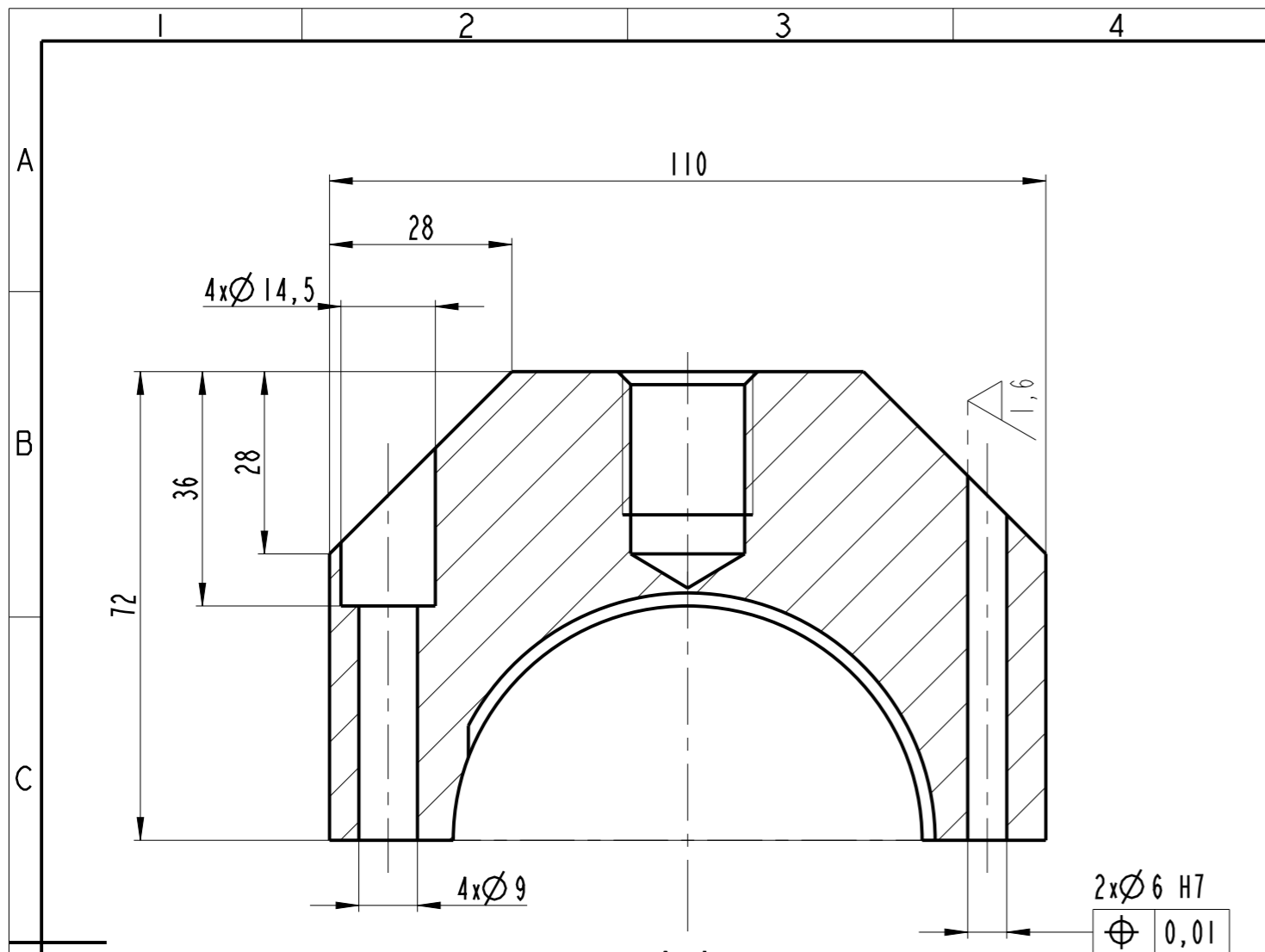
POZ. NAZEV-ROZMER VYKRES-NORMA MATERIAL J MN HM.Kg

KUSOVNIK SESTAVY				 TU v Liberci	
Zmena	Datum	Index	Podpisy		
Meritko N	Pozn.	Navrhil	Krejci	Nozov	PRIPR_RAD_TUHOST_F
		Kreslil			
		Prezkoušel			
C.seznamu		Technolog		Typ	
C.sestavy		Normaliz.		Cis.vykresu	17047-00-0000-00
Stary vykr.		Schválil			
Novy vykr.		Datum	08-06-2020		

3.2 / (∇)

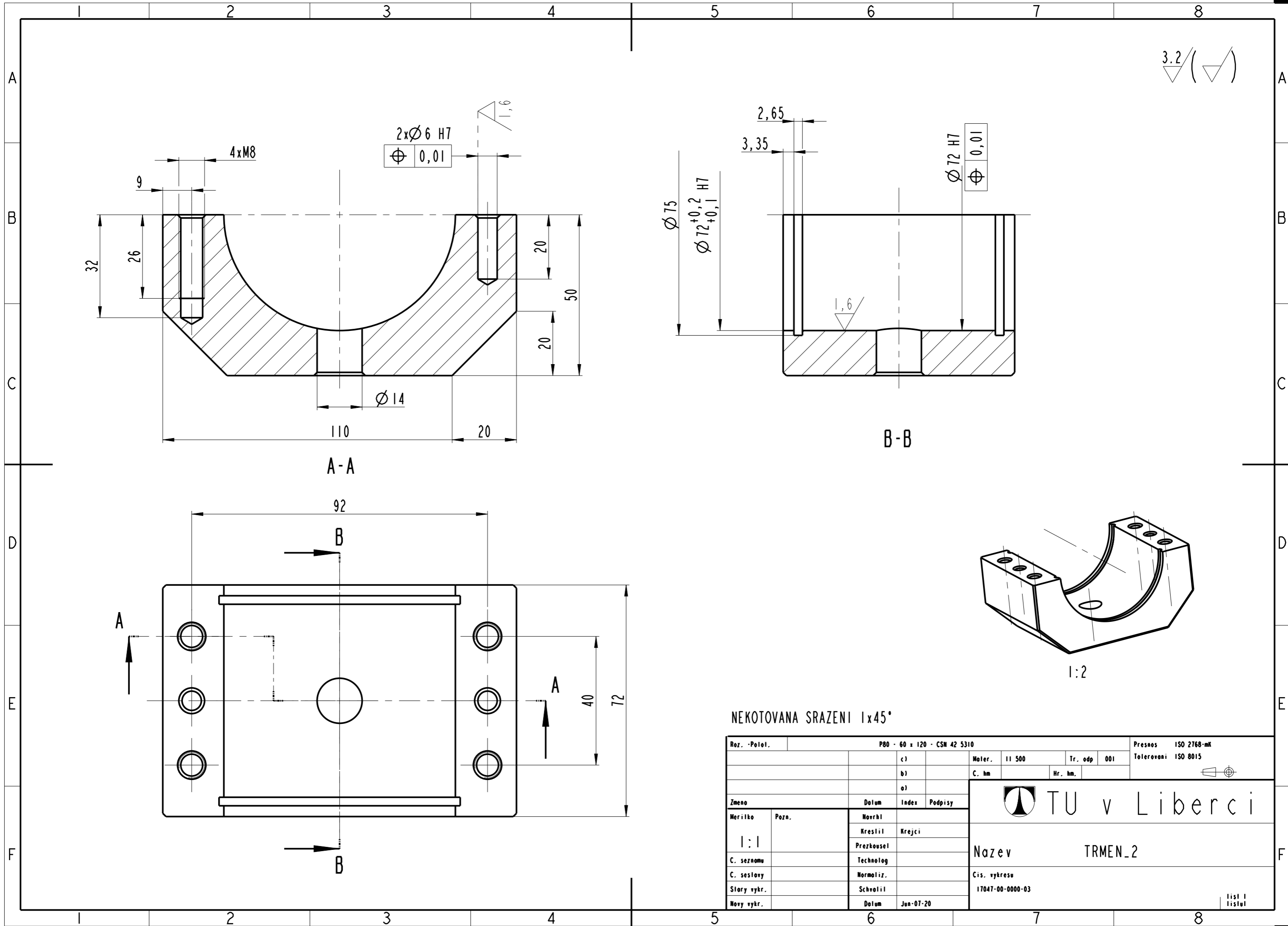


Roz. - Polot.		Ø60-270 - CSN 425510				Presnos ISO 2768-mK	
		c)	Mater.	II 523	Tr. odp	Tolerovani ISO 8015	
		b)	C. hm	I.62	Hr. hm.		
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy			
Merilko	Pozn.	Navrhl					
1:1		Kreslil	Krejci				
C. seznamu		Prezkoušel					
C. seslavy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schválil					
		Datum	Jun-08-20				
						Nazev HRIDEL_RADIAL	
						Cis. vykresu 17047-00-0000-01	
						list 1 listul	




NEKOTOVANA SRAZENI 1x45°

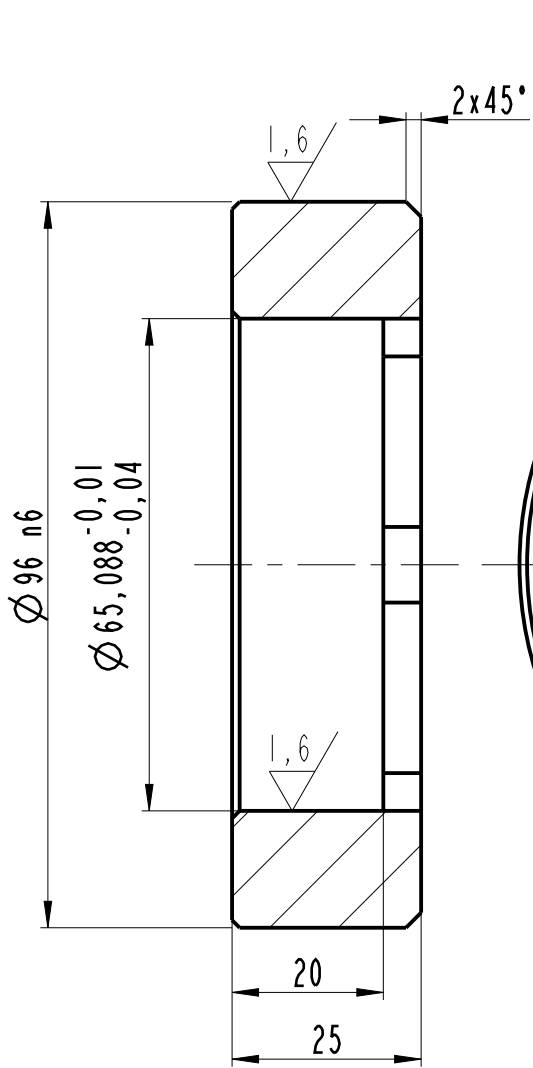
Roz. - Polot.		P80 - 80 x 120 - CSN 42 5310				Presnos ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 500	Tr. odp	001
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)					
Zmeno		Datum	Index	Podpisy			
Merilko	Pozn.	Navrhl	Kreslil	Krejci			
1:1		Prezkoušel					
C. seznamu		Technolog					
C. seslovy		Normaliz.					
Stary vykr.		Schválil					
Novy vykr.		Datum	Jun-07-20				
				TU v Liberci			
				Nazev TRMEN_1			
				Cis. vykresu 17047-00-0000-02			
				list 1 listul			



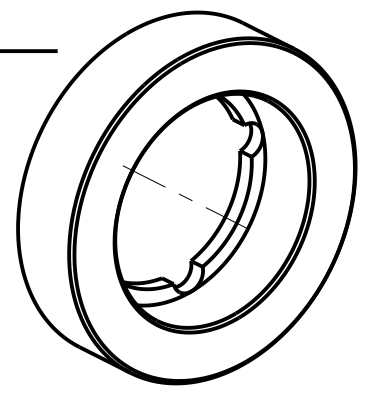
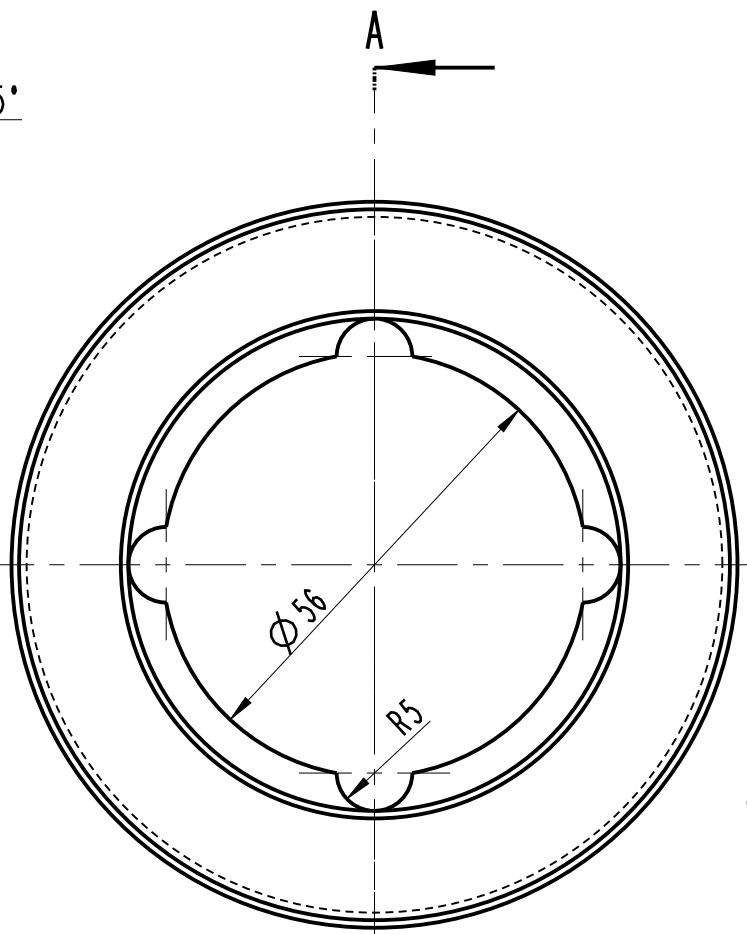
NEKOTOVANA SRAZENI 1x45°

Roz. - Polot.		P80 - 60 x 120 - CSN 42 5310				Presnos ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	II 500	Tr. odp	001
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)					
Zmeno		Datum	Index	Podpisy			
Merilko	Pozn.	Navrhl					
1:1		Kreslil	Krejci				
C. seznamu		Prezkoušel					
C. seslovy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schválil					
		Datum	Jun-07-20				
						Nazev TRMEN_2	
						Cis. vykresu 17047-00-0000-03	
						list 1 listul	

3.2 / ()




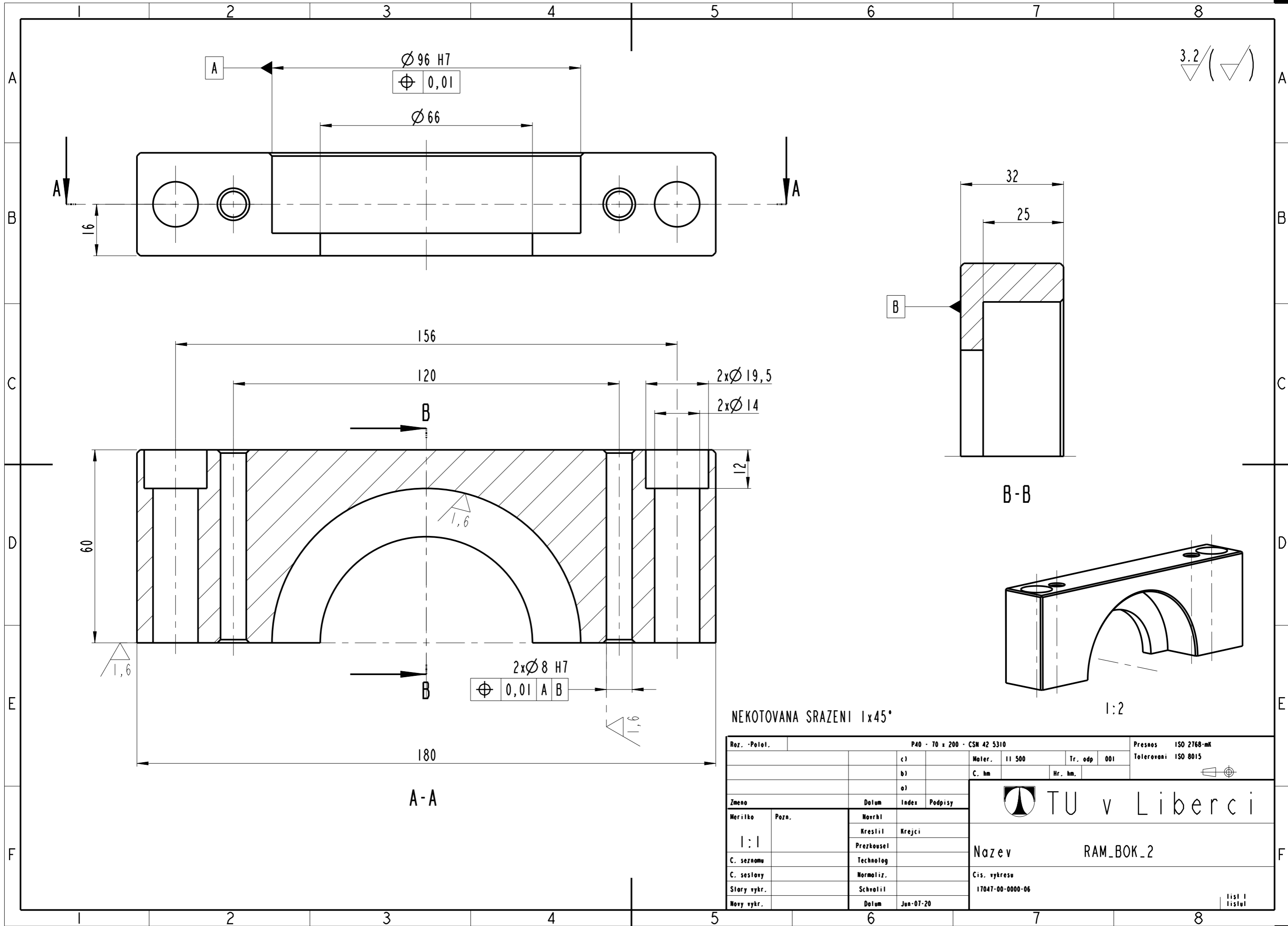
A-A



1:2

NEKOTOVANA SRAZENI $1 \times 45^\circ$

Roz. - Polot.		$\varnothing 110 - 35 \text{ CSN } 42 \text{ 5510}$				Presnos ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 500	Tr. odp	001
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy			
Meritko	Pozn.	Navrhl					
1:1		Kreslil	Krejci				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schvalil					
		Datum	Jun-08-20				
				 TU v Liberci			
				Nazev DISTANCNI_KROUZEK			
				Cis. vykresu 17047-00-0000-04			
				list 1 listul			



Roz. - Polot.		P40 - 70 x 200 - CSN 42 5310				Presnos ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 500	Tr. odp	001
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)		Tolerovani ISO 8015			
Zmeno		Datum	Index	Podpisy			
Merilko	Pozn.	Navrhl					
1:1		Kreslil	Krejci				
C. seznamu		Prezkoušel					
C. seslavy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schválil					
		Datum	Jun-07-20				
				Nazev RAM_BOK_2			
				Cis. vykresu 17047-00-0000-06			
				list 1 listul			