

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh způsobu měření funkčních prvků (vahadel) ložiskového systému
„Axiálního samovyvažovacího ložiska“.

Autor: **Zdeněk PAUL**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Helena ZÍDKOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Zdeněk PAUL**
Osobní číslo: **S19B0067K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Návrh způsobu měření funkčních prvků (vahadel) ložiskového systému „Axiálního samovyvažovacího ložiska“**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Popis principů a důvodů aplikace ložiskového systému „Axiálního samovyvažovacího ložiska“
3. Navržení kvalitativních parametrů obráběných funkčních součástí „vahadel“
4. Návrh způsobu měření daných komponent vč. návrhu měřicího přípravku
5. Praktická verifikace navržených postupů a přípravku
6. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- VINŠ, J. Kluzná ložiska. 1.vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
- STROJÍRENSTVÍ. Materiály kluzných ložisek [online]
- MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Moderní kluzná ložiska [online]

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Marek Urban**
GTW Bearings s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Mé poděkování patří Doc. Ing. Heleně Zídkové, Ph.D. za odborné vedení a konzultantovi z firmy GTW BEARINGS s.r.o. Ing. Marku Urbanovi za trpělivost a ochotu, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Paul	Jméno Zdeněk	
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zidková, Ph.D.	Jméno Helena	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh způsobu měření funkčních prvků (vahadel) ložiskového systému „Axiálního samovyvažovacího ložiska“.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	67	TEXTOVÁ ČÁST	46	GRAFICKÁ ČÁST	21
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce je zaměřena na návrh nového způsobu měření výšky vahadel ložiskového systému „axiálního samovyvažovacího ložiska“ a s tím spojeného návrhu nového měřicího přípravku pro zjednodušení a zrychlení měření. Přípravek v průběhu práce prošel mnoha úpravami. Na závěr byl přípravek testován z hlediska kvality, časové náročnosti a variability.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Samovyrovňovací ložisko, axiální segmentové ložisko, kluzná ložiska, vahadla, měřicí přípravek.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Paul	Name Zdeněk	
FIELD OF STUDY	B 2301 “ Manufacturing technology-machining technology“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zidková, Ph.D.	Name Helena	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of method of measuring functional elements (rocker arms) of bearing systém “Axial self-balancing bearing”.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Manufacturing technology-machining technology	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	---	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	67	TEXT PART	46	GRAPHICAL PART	21
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The bachelor thesis is focused on a new method of height measuring of self-equalizing levers through newly designed measuring tool with aim for simplicify and reduce the measurement time compared to the current measurement method. Measuring tool was modified several times in period of time.</p> <p>At the end the measuring tool was tested in terms of quality, time consuming of measuring and variability comparing with current measurement method.</p>
KEY WORDS	Self-equalized bearing, thrust bearing, plain bearing, leveling plates, measuring jig.

Obsah

1. Úvod.....	6
1.1 Představení firmy	7
1.1.1 Historie	7
1.1.2 Výrobky	8
2. Popis principů a důvodů aplikace ložiskového systému	10
2.1 Historie.....	10
2.2 Složení.....	10
2.3 Princip	11
2.4 Použití	11
2.5 Aplikace	11
3. Navržení kvalitativních parametrů obráběných funkčních součástí vahadel	12
3.1 Vahadlo	12
3.2 Funkční plochy vahadel	13
3.3 Technologičnost konstrukce vyrovnávacího elementu	13
3.3.1 Tvar.....	14
3.3.2 Materiál.....	16
3.3.3 Technologie	18
4. Návrh způsobu měření daných komponent vč. návrhu měřicího přípravku.	20
4.1 Současný stav měření vahadel	20
4.2 První koncepční návrh měřicího přípravku.....	20
4.3 Druhý koncepční návrh měřicího přípravku	22
4.4 Třetí koncepční návrh měřicího přípravku.....	23
4.5 Finální měřicí přípravek.....	25
4.6 Návrh způsobu měření	33
5. Praktická verifikace navržených postupů a přípravku	35
5.1 Prostředí měření	35
5.2 Příprava měření v současném stavu	35
5.3 Příprava měření u navrženého přípravku	35
5.4 Testování přípravku	36
5.4.1 Testování kvality měření	37
5.4.2 Testování časové náročnosti	42
5.4.3 Test variability navrženého přípravku	43
6. Závěr.....	44

Literatura a odkazy	45
Seznam odborné literatury a zdrojů	45
Seznam příloh	46

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Znak společnosti GTW Bearings [1].....	7
Obrázek 1.2 - Společnost GTW BEARINGS s.r.o. [1].....	7
Obrázek 1.3 - Rad. profilové ložisko [1].....	8
Obrázek 1.4 - Ložisko s rad. nakl. segmenty [1].....	8
Obrázek 1.5 - Ložisko s axiál. nakl. segmenty [1].....	8
Obrázek 1.6 – Axiální samovyrovnávací ložisko [1].....	9
Obrázek 1.7 - Elektricky izolované ložisko [1].....	9
Obrázek 2.1 - Přejít na samovyrovnávací ložisko [3].....	10
Obrázek 2.2 - Znázornění samovyrovnávacího principu [3].....	11
Obrázek 3.1 – Vahadlo [1]	12
Obrázek 3.2 - Sestava vahadel včetně segmentů bez těla ložiska [2]	13
Obrázek 3.3 - První prototyp 18-ti segmentového ložiska [3]	15
Obrázek 3.4 - Druhý prototyp 8-mi segmentového ložiska [3].....	15
Obrázek 3.5 - Graf porovnávající varianty vahadel [3]	16
Obrázek 3.6 - Simulace procesu obrábění vahadla [3].....	18
Obrázek 4.1 – Současný způsob měření.....	20
Obrázek 4.2 - První prototyp.....	21
Obrázek 4.3 - Druhý prototyp	23
Obrázek 4.4 - Třetí prototyp.....	24
Obrázek 4.5 - Finální měřicí přípravek	26
Obrázek 4.6 - Úchylkoměr [15]	27
Obrázek 4.7 - Deska s T-drážkami.....	28
Obrázek 4.8 - Větší půlkruh	28
Obrázek 4.9 - Menší půlkruh.....	28
Obrázek 4.10 - Tyč pro uchycení úchylkoměru.....	29
Obrázek 4.11 - Tyč se závitem.....	29
Obrázek 4.12 - Kvádr pro propojení tyčí	30
Obrázek 4.13 - Rozměry nožičky [8]	31
Obrázek 4.14 – Nožička [8]	31
Obrázek 4.15 - T-matka [9].....	31
Obrázek 4.16 - Rozměry T-matky [9].....	31
Obrázek 4.17 - První a druhý typ šroubu [10].....	32
Obrázek 4.18 - Třetí typ šroubu [10].....	32
Obrázek 4.19 - Závěsný šroub s okem [16]	32

Obrázek 4.20 - Rozměry závěsného šroubu [16]	32
Obrázek 4.21 – Upnutí půlkruhů na navrženém přípravku	33
Obrázek 4.22 - Vyznačený postranní rádius	33
Obrázek 4.23 – Nastavení nulové polohy pomocí koncový měrek.....	34
Obrázek 4.24 – Navržený přípravek.....	34
Obrázek 5.1 – Prostředí měření	35
Obrázek 5.2 – Použité koncové měrky	35
Obrázek 5.3 - Vyznačení problému se stabilitou současného přípravku	36
Obrázek 5.4 - Vnitřní a vnější výška vahadla	37
Obrázek 5.5 – Test variability přípravku	43

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Formy zatížení ložisek [3]	12
Tabulka 3.2 - Tvarové varianty kontaktů vahadel [3]	14
Tabulka 3.3 - Požadavky pro výběr materiálu [3].....	16
Tabulka 3.4 - Návrh a ověření [6]	19
Tabulka 5.1 - Tabulka procentuální odchylky opakového měření	40
Tabulka 5.2 - Tabulka procentuální odchylky současného měření	41

Seznam grafů

Graf 5.1 - Horní sada vahadel (RR)	37
Graf 5.2 - Spodní sada vahadel (RP).....	38
Graf 5.3 – Horní sada vahadel (RP1)	38
Graf 5.4 – Spodní sada vahadel (RP2)	39
Graf 5.5 - Test časové náročnosti	42

Seznam použitých zkratk a výrazů

USA	Spojené státy americké
ČR	Česká republika
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
FST	Fakulta strojní
KTO	Katedra technologie obrábění
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization
3D	Three-dimensional
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
NC	Numerical Control

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem způsobu měření funkčních prvků (vahadel) ložiskového systému „Axiálního samovyvažovacího ložiska“. Zadavatelem práce je firma GTW BEARINGS s.r.o., která se zabývá navrhováním, vývojem a zakázkovou výrobou kluzných ložisek a ložiskových systémů. Současný způsob měření vahadel je poměrně komplikovaný a časově náročný, proto by ho firma potřebovala nahradit rychlejším a jednodušším procesem měření.

Pro návrh nového způsobu měření bude potřeba seznámit se s principem a fungováním samovyrovňovací funkce ložiska, jeho složením a způsobem použití v praxi. Bude nezbytné zjistit, jakým způsobem se v současné době měření provádí a vyhledat nedostatky, které bude třeba odstranit. Na základě zjištěných informací bude navržen a sestaven nový měřicí přípravek a s tím spojený nový způsob měření vahadel.

Součástí této práce bude kromě návržení nového přípravku pro měření i jeho otestování a porovnání stávajícího procesu měření výšky vahadel s nově navrženým, a to z pohledu kvality měření, časové náročnosti a variability velikostí měřených vahadel.

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodný měřicí přípravek a způsob měření funkčních prvků kluzného samovyrovňovacího axiálního ložiska, které značnou mírou urychlí a ulehčí správné měření vahadel. Výstup této práce může společnost GTW BEARINGS s.r.o. použít jako doporučení k úpravám měření.

1.1 Představení firmy



Obrázek 1.1 - Znak společnosti GTW Bearings [1]

Společnost GTW BEARINGS s.r.o. je česko-německá společnost, založená v roce 1996. Zabývá se navrhováním, vývojem, výrobou a opravami kluzných hydrodynamických ložisek a ložiskových systémů. V současné době vyrábí především kluzná kompozicová ložiska pro strojírenské společnosti z různých částí světa, hlavně z Evropy a Asie. Sídlí v Příšově okr. Plzeň-sever a zaměstnává více než 130 zaměstnanců. Ve výrobních halách s moderním strojním vybavením vyrábí a opravuje kluzná kompozicová ložiska a jejich příslušenství, která jsou důležitými funkčními díly složitých technických zařízení. Výrobky společnosti GTW BEARINGS s.r.o. – axiální a radiální segmenty, ložiska apod. jsou používány např. v elektromotorech, generátorech, plynových a parních turbínách, lišech, bucharech, naftových a plynových motorech atd. [1]

Firma dále spolupracuje na projektech aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje, vyhlašovaných Technickou agenturou ČR nebo Evropským fondem pro regionální rozvoj.



Obrázek 1.2 - Společnost GTW BEARINGS s.r.o. [1]

1.1.1 Historie

1996: Založení GTW BEARINGS s.r.o. – výroba kluzných kompozicových ložisek

1997: Stavba vylévárny kompozic

1998: Založení GTW TECHNIK s.r.o. – obchodní zastoupení v České republice a východní Evropě

1998: Stavba první výrobní haly

2003: Stavba druhé výrobní haly

2006: Certifikace dle EN ISO 9001:2000

2007: Stavba nové administrativní budovy

2010: Recertifikace dle EN ISO 9001:2008

2010: Stavba třetí výrobní haly

2011: Implementace IS Helios Orange

2012: Certifikace dle EN ISO 14001:2016

2014: Stavba čtvrté výrobní haly

2016: Certifikace dle OHSAS 18001:2008

2017: Dosažení počtu 135 zaměstnanců, rozsáhlá modernizace strojního vybavení

2018: Recertifikace dle EN ISO 9001:2016

1.1.2 Výrobky

Radiální profilová ložiska

Profilová ložiska jsou ložiska s fixní geometrií. Tato ložiska se využívají u pomaloběžných a rychloběžných strojů a to proto, že mají velký rozsah možných geometrií jejich kluzných ploch. [1]



Obrázek 1.3 - Rad. profilové ložisko [1]

Ložiska s radiálními naklápěcími segmenty

Pro mnoho aplikací v oblasti radiálních ložisek jsou používána ložiska s radiálními naklápěcími segmenty, mimo jiné pro jejich použitelnost při velkých obvodových rychlostech. [1]

Výhody ložisek s Radiálními naklápěcími segmenty:

- hydrodynamická stabilita při vysokých obvodových rychlostech
- malá citlivost na směr zatížení
- malá citlivost na nevyrovnanost hřídele
- minimalizování průtoku oleje [1]



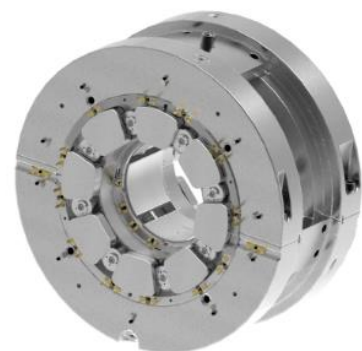
Obrázek 1.4 - Ložisko s rad. nakl. segmenty [1]

Axiální ložiska

Axiální ložiska mohou být opět s fixní geometrií anebo v případě přenosu většího axiálního zatížení jsou pak navržena ložiska s axiálními naklápěcími segmenty.

Technické přednosti ložisek s axiálními naklápěcími segmenty jsou:

- každý segment je volně kyvný (vytváří samostatný hydrodynamický film)
- jsou sníženy ztráty
- řešení vyhovuje pro oba směry otáček
- lze dodávat ve mnoha velikostech
- lze použít jak typ mazání zaplavení olejem, tak způsob přímým vstřikem tryskami
- segmenty mohou být uloženy jak přímo v ložisku, tak v samostatném nosném kruhu [1]



Obrázek 1.5 - Ložisko s axiál. nakl. segmenty [1]

Samovyrovnávací axiální ložiska

Samovyrovnávací axiální ložiska na první pohled vypadají jako konvenční axiální ložiska s naklápěcími segmenty, ale uvnitř tělesa ložiska se nachází systém vahadel (neboli samovyrovnávacích prvků). Tento typ ložiska se používá tehdy, když může dojít k nesouososti osy límce hřídele a osy ložiska, což bývá způsobeno prohnutím hřídele nebo vlivem tepelné deformace. [1]



Obrázek 1.6 – Axiální samovyrovnávací ložisko [1]

Elektricky izolovaná ložiska

Druhy elektricky izolovaných ložisek:

- s izolovanými vnějšími kameny
 - s odizolováním celkového vnějšího průměru
- [1]

Izolovaná ložiska se využívají zejména v oblasti turbogenerátorů.



Obrázek 1.7 - Elektricky izolované ložisko [1]

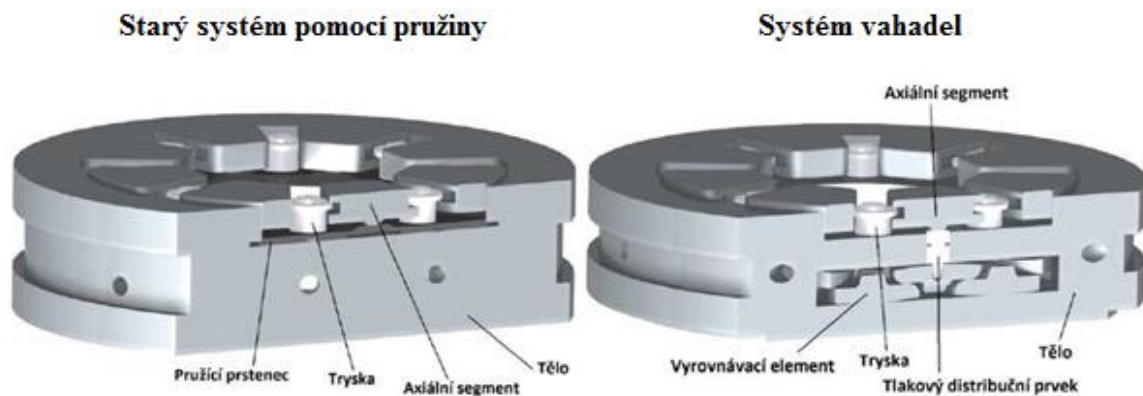
2. Popis principů a důvodů aplikace ložiskového systému

Tato kapitola bakalářské práce se zabývá vznikem a vývojem samovyrovnávacího kluzného ložiska. Dále popisuje složení takového ložiska. Pokračuje vysvětlením principu samovyrovnávací funkce ložiska, a nakonec se zmíní o použití a aplikaci těchto ložisek v praxi.

2.1 Historie

První zmínka o samovyrovnávacím ložisku byla registrována v roce 1938 v USA. V roce 1950 se poprvé u samovyrovnávacího ložiska začala používat pružina. Důvodem byla potřeba přitlačit límeč hřídele na ložisko a tím co nejvíce rovnoměrně rozložit zatížení působící na ložisko. Stále ale nedocházelo k plnohodnotnému vyrovnání bez rizika proměnlivé přítláčivé síly pružiny, proto se v dnešní době používá systém vahadel. Tento systém využívá řetězce vahadel, které se naklápějí tak, aby bylo zatížení rozloženo na celém ložisko stejnoměrně. [2]

Přechod ze systému s pružinou na samovyrovnávací systém



Obrázek 2.1 - Přechod na samovyrovnávací ložisko [3]

2.2 Složení

Axiální samovyrovnávací kluzné ložisko se skládá z těchto částí (viz. obrázek 2.1):

- tělo ložiska
- axiální segment-tělo segmentu, kompozitová výstelka (na bázi cínu, olova, nebo mědi), sférický tlakový díl (sférický tlakový díl nemusí být vždy)
- vyrovnávací element (vahadlo)
- tlakový distribuční dílec
- tryska
- spodní plech
- tenzometrický snímač neboli „load cell“ pro snímání zatížení [3]

Pro každý segment jsou potřeba dvě vahadla. To znamená, že např. u 18-ti segmentového ložiska je potřeba 36 vahadel.

2.3 Princip

Pro přizpůsobení se vychýlení axiálního ložiska vůči límci hřídele (které je zpravidla do $0,1^\circ$) se používá systém vahadel (vyrovnávací člen). Rovnoměrné zatížení ložiska je zajištěno pomocí samovyrovnávací funkce, která zaručí stejnou tloušťku olejového filmu u každého axiálního segmentu. Jak je patrné z obrázku 2.2, při správném vyrovnání je kluzná plocha axiálních segmentů a límce hřídele v konstantní vzdálenosti po celém obvodu. [2] [3]



Obrázek 2.2 - Znázornění samovyrovnávacího principu [3]

2.4 Použití

Tato ložiska se používají při vysokých zatíženích a rychlostech, a to jak v horizontální, tak i ve vertikální poloze. Nejčastěji se využívají pro případy, u kterých hrozí riziko limitního naklonění límce hřídele vůči ložisku. To vzniká například při teplotní dilataci stroje nebo prohnutím hřídele vlastní vahou. Naklonění límce hřídele vůči ložisku má za následek snížení nosné plochy ložiska s hřídelí. Díky menší nosné ploše dochází ke zvýšení teploty u některých více zatěžovaných segmentů. Teplotní rozdíl mezi horním a spodním segmentem se liší klidně až o 60°C . Ložiskové kovy nesmí překročit teplotu 120°C , která je pro ně limitní. Systém samovyrovnávacích ložisek zvýší životnost, provozní bezpečnost a interval oprav oproti standardním axiálním ložiskům. Právě tyto vlastnosti byly zjištěny praktickými testy, které jsou základem doporučeného použití v API normách. [2]

2.5 Aplikace

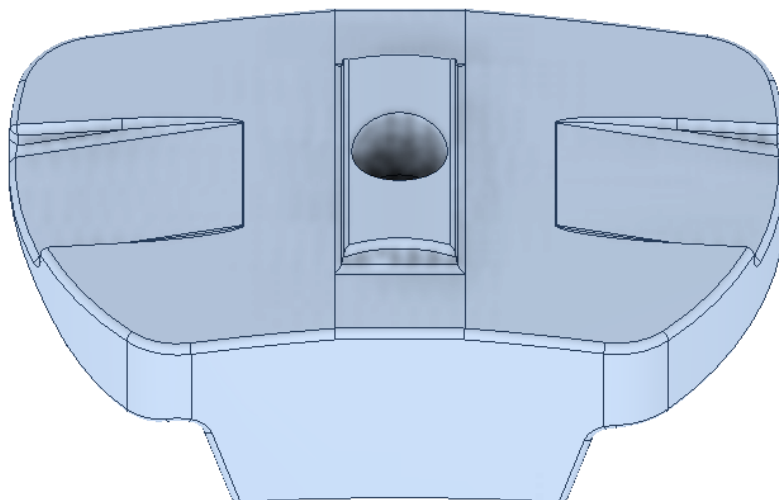
- Kompresory
- Průmyslové převodovky
- Průmyslové turbíny
- Generátory
- Vodní a parní turbíny

3. Navržení kvalitativních parametrů obráběných funkčních součástí vahadel

Tato kapitola se zaměřuje na navržení kvalitativních parametrů vahadel pro možnou výrobu. Začíná popisem vahadla a jeho funkčních ploch. Poté pokračuje technologií konstrukce vahadla. Technologičnost se určuje podle tří základních parametrů-tvaru, materiálu a technologie. Materiál je pak dále ještě rozebrán od polotovaru až po povrchovou úpravu.

3.1 Vahadlo

Vahadlo je nejdůležitější komponent samovyrovnávacího ložiska, neboť přenáší zatížení z více zatížených segmentů na méně zatížené. Je u něj klíčová geometrie, která zajišťuje správnou funkci samovyrovnávacího systému. [2]



Obrázek 3.1 – Vahadlo [1]

Pro správné fungování samovyrovnávací funkce ložiska je nutné, aby vahadla mezi sebou navzájem vykonávala obecný pohyb – odvalování se třením. U tohoto pohybu by neměl vzniknout žádný problém ani po miliónech cyklů. S ohledem na to je jasné, že požadavky na kontaktní plochu mezi vahadly jsou vysoké. Jelikož je toto ložisko převážně určeno pro parní turbíny nebo turbokompresory, dochází u něj k více formám (kombinacím) zatížení: [3]

Statické	Toto zatížení je zpravidla známo od výrobce zařízení (turbíny, turbokompresorů) a lze velice snadno spočítat, zda vahadlo (resp. povrch vahadla) toto statické zatížení vydrží.
Dynamické	Frekvenční – Silně závislé na dominantní frekvenci turbíny nebo turbokompresoru => v případě použití ložiska v turbíně je tato hodnota v Evropě 50 Hz a v USA 60 Hz. Tato dominantní složka frekvence se promítá do vibrací, které jsou v rámci desítek mikronů a mají za následek mikro-tření mezi vahadly a následný tzv. „fretting“.
	Nahodilé - Nezávislé na dominantní frekvenci => toto zatížení je závislé na tepelné deformaci celého soustrojí, na celkovém prohnutí hřídele, ale i nepřesnosti ve výrobě. Toto proměnlivé zatížení se projevuje v kontaktu mezi vahadly tím, že vahadla se po sobě odvalují / třou v rámci milimetrů.

Tabulka 3.1 - Formy zatížení ložisek [3]

Všechny tyto formy zatížení, jako je statické zatížení, mikro-tření, tření a odvalování probíhají samozřejmě naráz.



Obrázek 3.2 - Sestava vahadel včetně segmentů bez těla ložiska [2]

Pro testování povrchu vahadla na dlouhodobou trvanlivost a zatížení všemi faktory zatížení naráz by byla jediná možnost, a to postavit jednoúčelové experimentální zařízení. V podstatě je potřeba vyvinout takovou turbínu nebo jiné zařízení, které je schopné vytvořit všechny tyto faktory zatížení najednou. To je ale finančně náročné, a proto se přistoupilo k vybudování jednodušších zařízení, nebo využití několika již existujících experimentálních zařízení schopných otestovat dílčí vlastnosti vahadel, nebo celého ložiska. Testování těchto parametrů není předmětem této práce. Pomocí těchto experimentů byly definovány kvalitativní parametry popsané v následujících kapitolách. [3] [4]

3.2 Funkční plochy vahadel

Funkční plochy vahadel jsou zatěžovány relativně vysokým tlakem neboli Hertzovým tlakem. Proto bylo nutné vyhledat takovou technologii výroby, která by měla nízké výrobní náklady, ale zároveň by splňovala požadavky na funkčnost a trvanlivost. [2]

Požadavky kladené na funkční plochy vahadel:

- Minimální tvrdost funkčních ploch 50 HRC do hloubky 0,3-0,4 mm
- Maximální drsnost funkčních ploch udaná střední aritmetickou odchylkou Ra 0,8 μm .
- Rozměrová a geometrická přesnost funkčních ploch dle výkresové dokumentace. [2]

Tyto požadavky byly získány z diplomové práce, která se zabývá právě výrobou vahadel. Vyplynuly z prvotních zkoušek funkčnosti systému vahadel u prototypového ložiska.

Výrobní náklady jsou hlavním a základním kritériem pro posouzení technologičnosti konstrukce při splnění všech funkčních požadavků. Toto kritérium dále může být doplněno dalšími kritérii.

3.3 Technologičnost konstrukce vyrovnávacího elementu

Z hlediska technologičnosti konstrukce je vahadlo díl, který je výrazně namáhán na tlak a ohyb, a zároveň je součástí velkého řetězce. Z tohoto důvodu je potřeba se soustředit na dvě zásadní oblasti – tvarová přesnost a odolnost vůči otláčení. V dalších kapitolách je proto vahadlo popsáno především z pohledu tvaru, možné technologie výroby a použitého materiálu. [3]

Pro účel analýzy jednotlivých dílů ložiska byly vybrány tyto tematické okruhy, které obsahují již výše zmíněné požadavky:

- **Tvar**
- **Materiál**
- **Technologie**

Klíčové díly axiálního samovyrovnávacího ložiska musí více či méně obsahovat všechny tyto okruhy při návrhu i při optimalizaci.

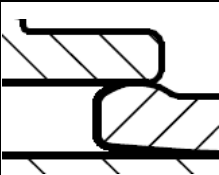
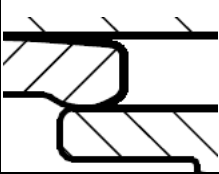
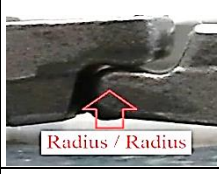
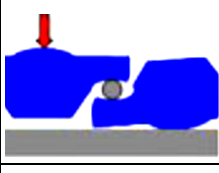
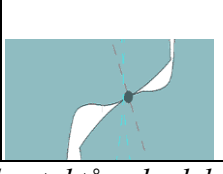
3.3.1 Tvar

Volba tvaru vahadel z hlediska požadavků na technologičnost konstrukce:

- Využít jednoduché konstrukční prvky z hlediska tvaru
- Tvary ploch by měly odpovídat možnostem již stávajících výrobních zařízení
- Tvar ploch musí být možno změřit
- Použít vhodný tvar vahadel, aby mezi vahadly docházelo k odvalování. [3]

Je složité najít kompromis mezi těmito požadavky. K jeho hledání je potřeba pomocí 3D simulací provést několik iterací.

Možné tvarové varianty kontaktů dvojice vahadel:

1	Rádius na plochu	
2	Plocha na rádius	
3	Rádius na rádius	
4	Vložené válečky	
5	Evolventní profil na evolventní profil	

Tabulka 3.2 - Tvarové varianty kontaktů vahadel [3]

Volba tvaru

Nejdůležitější při volbě tvaru samotného vahadla je dodržení výše uvedených požadavků. Vahadlo je z hlediska tvaru velice složité. U vahadel je zapotřebí, aby byl přesný celý řetězec vahadel s tolerancí na dvě setiny milimetru. Z toho důvodu je důležité, aby bylo možné přesně změřit funkční plochy každého vahadla. To se bude provádět na přípravku, který je navržen v další části bakalářské práce.

Tvarové varianty z hlediska kontaktů dvojice vahadel jsou vybrány rádius na plochu a rádius na rádius na jedné straně a plocha na plochu na druhé straně vahadla. Tyto tvary byly zvoleny proto, aby mezi vahadly docházelo k odvalování, které je nutné pro fungování samovyrovnávací funkce ložisek.

Pro ověření vahadla z hlediska volby tvaru byly vytvořeny dva prototypy kluzného ložiska. Tyto prototypy byly následně testovány ve společnosti DOOSAN Škoda Power na speciálním standu. [3]

Pro první testovaný prototyp bylo zvoleno ložisko s 18 segmenty a tvar vzájemného kontaktu Rádius/Rádius na jedné straně a z druhé strany Plocha/plocha (obrázek 3.3). [3]

Pro druhý testovaný prototyp samovyrovnávacího ložiska byla zvolena varianta s 8 segmenty. U této varianty ložiska byl zvolen tvar vzájemného kontaktu nejprve stejný jako u varianty s 18 segmenty, takže Rádius/Rádius na jedné straně a na druhé Plocha/Plocha, a poté byl zvolen tvar vzájemného kontaktu Rádius/Plocha pro obě strany (obrázek 3.4). [3]

Detail zobrazuje kontakt vahadel



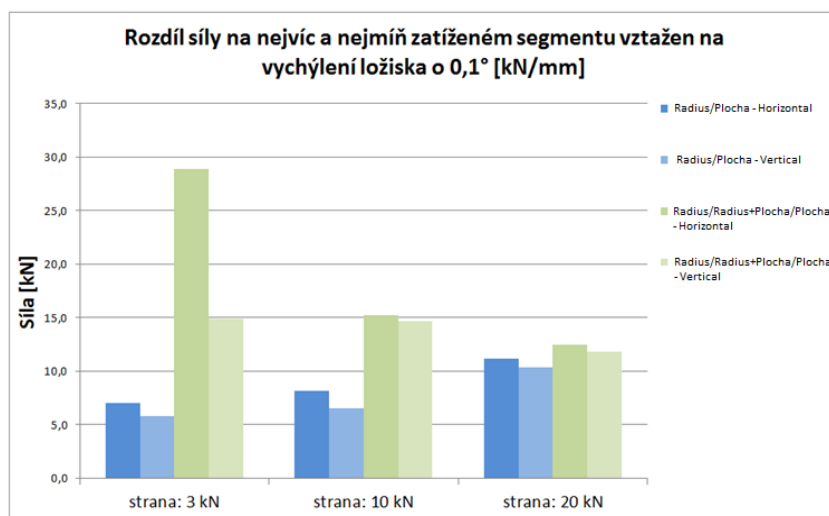
Obrázek 3.3 - První prototyp 18-ti segmentového ložiska [3]

Detail zobrazuje kontakt vahadel



Obrázek 3.4 - Druhý prototyp 8-mi segmentového ložiska [3]

Tyto varianty tvaru vzájemných kontaktů byly následně porovnány a varianta **Rádius/Plocha** se jevila jako lepší (viz. obrázek 3.5). Z tohoto důvodu byl tvar kontaktu mezi vahadly zvolen **Rádius/Plocha**. [3]



Obrázek 3.5 - Graf porovnávací varianty vahadel [3]

3.3.2 Materiál

Technologie a mechanika (znalost mechanického namáhání) jsou zde nejdůležitější hlediska v rámci technologičnosti konstrukce.

Z hlediska výběru materiálu jsou požadavky technologičnosti konstrukce následující:

Vyrábět součástky z polotovaru, které jsou pro daný případ vhodné	Minimalizovat počet a velikost povrchů dokončovaných obráběním
	Použití pružné technické přípravy
	Znalost stávajícího výrobního zařízení
Zvolit materiál s dostatečnými mechanickými vlastnostmi materiálu	Tuhost
	Tvrдость
	Únavová pevnost
	Odolnost proti korozi třením
Vzít v úvahu aspekty integrity povrchu	

Tabulka 3.3 - Požadavky pro výběr materiálu [3]

Při výběru materiálu se dále postupuje v těchto třech krocích:

1. Výběr polotovaru
2. Výběr materiálu
3. Výběr povrchového zpevnění (když je třeba)

Volba polotovaru

Na výběr druhu polotovaru pro výrobu vahadla působí tři základní parametry: potřebný počet kusů výrobku, zvolený materiál a v neposlední řadě možnosti zpracování polotovaru. Jelikož je potřeba pouze malý počet vahadel stejné velikosti (samovyrovnávací ložiska se vyrábí jako kusová výroba, kdy je potřeba jen malý počet kusů od jedné velikosti), je nevhodné použít polotovary ve formě výkovku nebo odlitku. Lepší variantou je proto použít polotovar z normalizovaného profilu (např. tyč, pás, plech atd). V tom případě ale vzniká nevýhoda týkající se omezení rozměrové řady podle normy. Pokud polotovar neodpovídá tvaru vahadla,

nastává větší potřeba opracování a tím pádem se mění i další faktory s tím spojené (např. zvýšený odpad, větší pracnost, vyšší náklady na výrobu a spotřeba energie). [2] [5]

Zvoleným polotovarem je **tyč ve tvaru kvádrů**. Rozměry tyčí a jednotlivých nařezaných kvádrů se budou lišit podle velikosti ložiska a tím spojené velikosti vahadla. Tvar a rozměr tyče je zvolen tak, aby co nejvíce odpovídal tvaru finálního výrobku. Tímto krokem je možné snížit ztráty spojené s odpadem, pracností, vyššími náklady atd. [2]

Volba materiálu

Materiál je nutné zvolit podle vlastností, kterých je potřeba docílit u vahadla. Vahadla jsou velice tvarově složité komponenty ložiska, navíc jsou namáhané na otláčení a ohyb. To znamená, že pro správné fungování je nutné, aby funkční plochy nepodléhaly otláčení. Proto tyto plochy musejí být dostatečně tvrdé. S ohledem na zatížení ohybem nesmí být jádro vahadla pružné. Těchto vlastností materiálu je možné docílit i s pomocí povrchové úpravy. Velice důležité je najít rovnováhu mezi cenou, obrobitelností a náročností na výrobu, tak aby výsledek byl co nejoptimálnější.

Chrom-nikl-molybdenová zušlechťená ocel

Ze získaných materiálů byla jako nejvhodnější varianta zvolena chrom-nikl-molybdenová zušlechťená ocel třídy 16. Ta dobře kombinuje zpracovatelnost, mechanické vlastnosti a odolnost proti korozi. Mez pevnosti má až 1300 MPa a mez kluzu až 900 MPa. Dále je nutné zdůraznit dobrou únavovou pevnost oceli, a to i v korozivních médiích. Nevýhodou této oceli je vysoká cena, malá pružnost a vysoká hmotnost. [6]

U této skupiny ocelí je nutná jemnozrnná struktura, a to pro získání dobrých technologických vlastností. Proto se jako konečné tepelné zpracování provádí rozpouštěcí žíhání při teplotách 1000 a 1150 °C s následným ochlazením ve vzduchu nebo ve vodě. [6]

Volba technologie povrchového zpevnění

Materiál zvolený v předchozí kapitole je vhodný pro tepelnou úpravu povrchu, která docílí dostatečné pevnosti a tvrdosti povrchu funkčních ploch vahadla. Tyto vlastnosti jsou nutné pro funkčnost vahadla, protože funkční plochy jsou při kontaktu s podložkou nebo při kontaktu mezi samotnými vahadly zatěžována poměrně vysokými Hertzovými tlaky.

Bezproude niklování

Bezproude niklování bylo vybráno z důvodu rovnoměrné tloušťky vytvořené vrstvy bez nutnosti dalšího opracování. Díky tomu lze bezproude niklování použít až po finálním obrábění načisto bez rizika velkých rozměrových změn výrobku. Tvrdost povrchu po bezproude niklování dosahuje až 500 HV, tuto hodnotu je možné ještě zvýšit pomocí tepelného zpracování. [7] [6]

Základní důvody pro použití bezproude niklování:

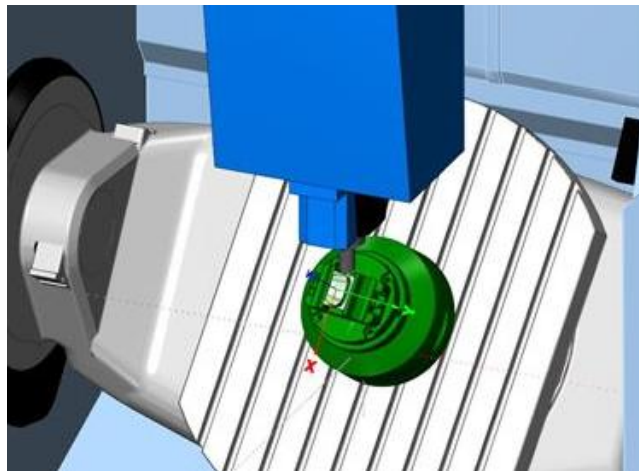
- Korozní odolnost
- Odolnost proti ořezu
- Tvrdost
- Kluzkost povrchu
- Pájitelnost a lepitelnost povrchu
- uniformita vyloučeného povlaku bez ohledu na geometrii pokovované plochy nemagnetické vlastnosti niklových vrstev s vysokým obsahem fosforu [7]

3.3.3 Technologie

Na předchozí dvě kapitoly navazuje kapitola Technologie. Zde je především rozebrána problematika výroby vahadla od technické přípravy výroby až po finální montáž a měření.

Požadavky technologičnosti konstrukce z hlediska volby technologie výroby:

- Pružná technická příprava výroby
- Minimalizovat pracnost výroby, výrobní náklady, délku celého výrobního cyklu vč. montáže a také znát požadované kvalitativní parametry
- Z pohledu nástrojů a rezných podmínek vzít v úvahu aspekty integrity povrchu
- Vysoká přesnost
- Změření klíčových rozměrů rychle a jednoduše [6] [3]



Obrázek 3.6 - Simulace procesu obrábění vahadla [3]

Volba technologie

Výroba vahadel je provedena na pětiosém CNC frézovacím centru. NC program je vytvořen pomocí CAD softwaru. Použité nástroje jsou závislé na vybavení společnosti vlastníci CNC stroj. Vřeteno je opatřeno upínacím kuželem. Další parametry se liší dle výrobce stroje. Podle doporučených katalogových hodnot výrobce nástrojů jsou vybrány rezné podmínky. Tyto podmínky je potřeba ještě optimalizovat po spuštění výroby, protože nemusí být optimální pro danou technologii výroby. [2] [3] [6]

Po dokončení obrábění vahadla se vytvořený kus změří na přípravku pro měření výšky, který je popsán v další kapitole. Zároveň je nutné provést i kontrolu opotřebení klíčových nástrojů. Poté proces pokračuje bezproudým niklováním funkčních ploch vahadla. Nově vzniklý tvrdý povrch není potřeba dále obrábět, a to díky zvolené povrchové technologii, která nepotřebuje následné opracování povrchu. Po této operaci se již jen vahadlo zámečnický očistí. V tabulce 3.4 je názorně popsán postup operací.

Pořadí operací			
1	2	3	4
Kompletní obrobení	Změření rozměrů	Úprava povrchu pomocí bezproudého niklování	Zámečnické očištění vahadla

Tabulka 3.4 - Návrh a ověření [6]

4. Návrh způsobu měření daných komponent vč. návrhu měřícího přípravku.

Tato kapitola se věnuje vývoji přípravku od prvního koncepčního návrhu až po finální měřící přípravek. U finálního přípravku jsou popsány podrobně jednotlivé části, jak z pohledu výroby, tak i ceny a použitých materiálů. Nakonec je v této kapitole popsáno, jak se měří výška vahadla pomocí nového přípravku.

4.1 Současný stav měření vahadel

V současné době probíhá měření vahadel srovnávací metodou pomocí digitálního úchylkoměru a koncových (Johansonových) měrek.

Postup měření:

Nejprve se očistí měřené součásti a granitová deska. Úchylkoměr se upne do stojánku. Z koncových měrek se pak složí dva podstavce o shodné výšce pro ustavení vahadla. Další koncové měrky se složí na jmenovitý rozměr výšky vahadla vč. připočtené výšky podstavců. Jmenovitý rozměr výšky vahadla se nastaví na úchylkoměru. Poté se vyhledá největší odchylka výšky vahadla. [2]



Obrázek 4.1 – Současný způsob měření

4.2 První koncepční návrh měřícího přípravku

Ze získaných poznatků ze současného způsobu měření vyplynulo, že se zvyšujícím se počtem vyrobených kusů vahadel je potřeba měření inovovat. Pro ulehčení, zjednodušení a zrychlení měření výšky vahadla byl navržen základní model měřícího přípravku.

První koncepční návrh se skládá z těchto částí:

- Úchylkoměr

Byl navržen digitální a to pro ulehčení měření. Digitální úchylkoměr vypíše celou hodnotu a není nutno nic odečítat.

- Upínací deska s T-drážkami

Rozměry upínací desky byly 300x300x30 mm. Měla vyfrézovány dvě T-drážky 50 mm od sebe. V upínací desce byl vyvrtán otvor a v něm vyříznut závit M10 do hloubky 20 mm.

- Půlkruhy

Půlkruhový tvar byl zvolen, protože je výhodnější z důvodu tvaru vahadla. Pokud by bylo potřeba mít rovný konec stačí půlkruh otočit.

Menší půlkruh měl průměr 80 mm a tloušťku 30 mm. V něm byly vyvrtány dva otvory o průměru 9 mm, přičemž od středu půlkruhu jsou díry 25 mm na každou stranu a 13 mm

od rovné strany půlkruhu. Horní část otvoru byla rozšířena na průměr 14 mm a do hloubky 10 mm (pro zapadnutí hlavy šroubů).

Větší půlkruh měl průměr 120 mm a tloušťku 30 mm. Otvory měly stejné rozměry a rozmístění jako u menšího půlkruhu.

- Tyče

Tyč propojující desku s kvádrem měla délku 200 mm a průměr 10 mm. Z jedné strany byl vyřezán pravotočivý závit M10 s délkou 20 mm. Tyč měla z obou stran sražené hrany.

Tyč pro uchycení úchylkoměru měla délku 300 mm a průměr 10 mm. Do tyče byl vyvrtán otvor o průměru 8 mm a ve vzdálenosti 15 mm od kraje. Nakonec byl ještě otvor proříznut, aby se dal stáhnout úchylkoměr.

- Kvádr pro propojení tyčí

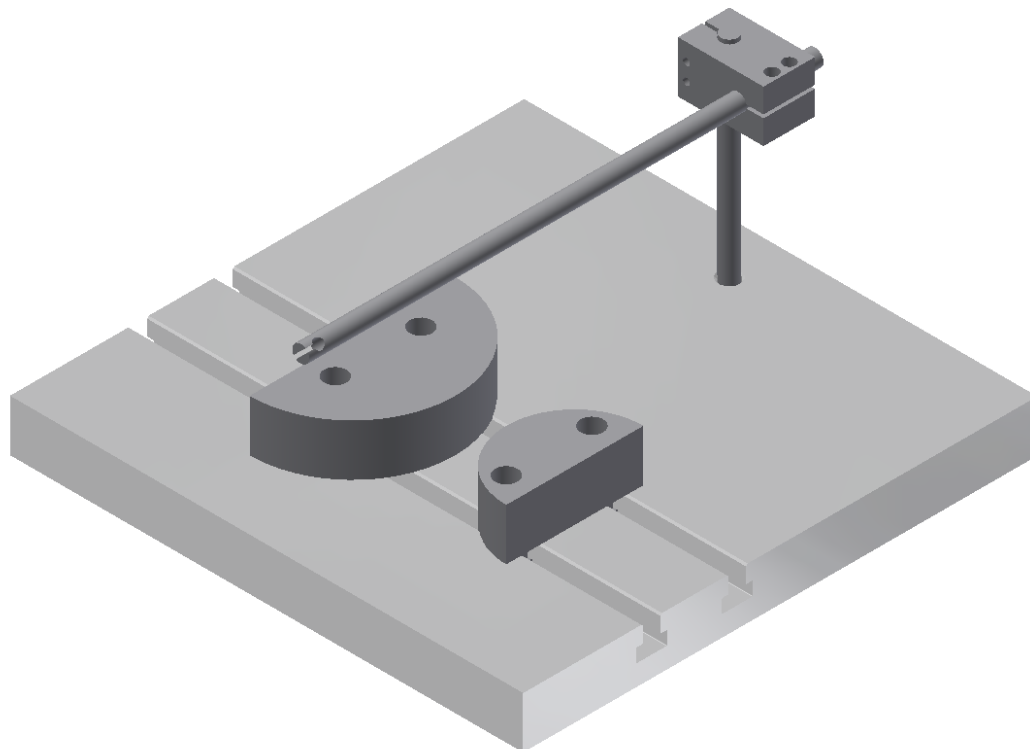
Kvádr pro propojení tyčí měl rozměry 50x30x30 mm. V kvádru byly vyvrtány dva otvory o průměru 10 mm s tolerancí H8 a čtyři otvory o průměru 4 mm. Větší z otvorů byly po stranách proříznuty pilou pro možnost stažení tyčí. Horní část menších otvorů byla rozšířena na průměr 8 mm a do hloubky 5 mm (pro zapadnutí hlavy šroubů), a z druhé strany menších otvorů je vyřezán závit M4 do vzdálenosti 15 mm.

- T-matky

T-matka měla rozměr 15x15x12 mm a měla v sobě M8 závit. Pro navržený přípravek byly použity 4 kusy.

- Šrouby

Šrouby pro navržený přípravek měly dvě varianty. První variantou byl šroub s vnitřním šestihranem o průměru M8 a délkou 35 mm. Druhou byl stejný šroub, ale o průměru M4 a délkou 25 mm. Od každé varianty byly pro přípravek potřeba 4 kusy.



Obrázek 4.2 - První prototyp

4.3 Druhý koncepční návrh měřícího přípravku

První měřící přípravek měl i přes veškerou snahu mnoho nedostatků, které bylo nutno upravit. Byl příliš velký a těžký, vážil 23 kg. Chyběl komponent, který by zajistil přenos přípravku pomocí malého jeřábu. Také měl příliš dlouhé rameno pro zapojení úchylkoměru, které by se mohlo prověšovat a tím znehodnotit měření. Tyče nebyly dostatečně tuhé. Přípravek nebyl dostatečně stabilní.

Změny jednotlivých částí přípravku:

- Upínací deska s T-drážkami

Rozměry upínací desky se zmenšily na 200x200x25 mm. Tím se přípravek výrazně zmenšil a především odlehčil (11 kg). Otvor se závitem pro uchycení tyče se zvětšil z M10 na M12 a byl posunut více na střed desky. Dále přibyl druhý otvor se závitem M12 do hloubky 20 mm pro uchycení závěsného šroubu vedle otvoru pro uchycení tyče. Ze spodní strany desky přibily tři otvory se závitem M8 do hloubky 20 mm pro propojení nožiček s deskou.

- Půlkruhy

U půlkruhů došlo pouze ke zdvojení počtu kusů od každé velikosti.

- Tyče

U tyče propojující desku s kvádrem došlo ke zvětšení průměru tyče na 12 mm, s tím související i zvětšení závitu na M12. Ke zvětšení průměru došlo pro zajištění vyšší tuhosti.

U tyče pro uchycení úchylkoměru došlo ke zvětšení průměru na 12 mm ze stejného důvodu jako u předchozí tyče. Dále se změnila délka tyče na 200 mm, aby nedocházelo k prověšení.

- Kvádr pro propojení tyčí

U kvádrů se zvětšily dva větší otvory na 12 mm s tolerancí H12, v důsledku zvětšení průměru tyčí.

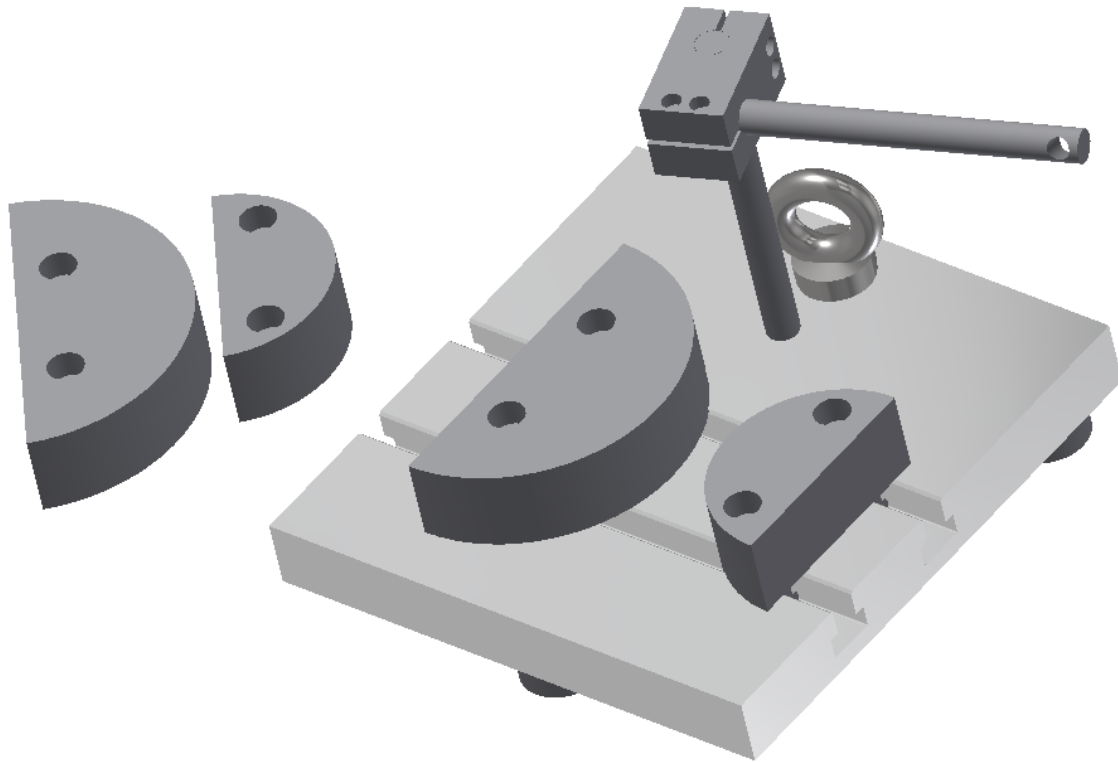
Nové části přípravku:

- Závěsný šroub

Díky snížení hmotnosti se zjednodušila manipulace s přípravkem. Přesto byl do přípravku přidán závěsný šroub s okem pro přenos pomocí malého jeřábu, protože i při snížené hmotnosti by si při delším nošení mohl technik poškodit záda.

- Nožičky

U druhého prototypu přípravku přibily zesponu upínací desky tři nožičky. Ty měly závit M8 a délku 20 mm. Byly pogumované pro zamezení klouzání po povrchu. Do přípravku byli přidány hlavně pro získání stability na každém povrchu.



Obrázek 4.3 - Druhý prototyp

4.4 Třetí koncepční návrh měřicího přípravku

Ani druhý koncepční návrh ještě nebyl vyhovující. Měl ostré hrany, které nebyly při manipulaci bezpečné. Povrch kruhů i desky nebyl dostatečně hladký, nerovnosti mohly narušit přesnost měření. Nebylo možné uchytit úchylkoměr pro měření.

Změny jednotlivých částí přípravku:

- Upínací deska s T-drážkami

Upínací deska prošla znovu mnoha úpravami. Přibyl další otvor se závitem M12 do hloubky 20 mm pro uchycení druhého závěsného šroubu s okem. Ten byl přidán do rohu přípravku a do protějšího rohu se přesunul otvor pro uchycení prvního závěsného šroubu s okem. Tato úprava byla důležitá pro lepší přenášení přípravku pomocí malého jeřábu. Dále došlo ke sražení všech hran desky, aby nebyly ostré a nedošlo ke zranění při manipulaci. Všechny hrany zasahující do T-drážky byly sraženy o 1 mm, všechny okolní byly sraženy o 2 mm. Vrchní část desky byla obroušena na Ra 0,4 pro zajištění rovného a pravidelného povrchu.

- Půlkruhy

U všech půlkruhů se zmenšila tloušťka na 20 mm, protože byly zbytečně naddimenzovány pro obrovské rozměrové rozpětí. Dále pak byly z obou stran obroušeny stejně jako upínací deska na Ra 0,4, taktéž pro zajištění rovného a pravidelného povrchu.

- Tyče

Na tyč pro uchycení úchylkoměru byl přidán otvor o průměru 5 mm do hloubky 6 mm, dále otvor pokračuje o průměru 4 mm až do konce tyče s vyříznutým závitem M4. Nový otvor je nutný pro stažení úchylkoměru pomocí šroubu.

- Kvádr pro propojení tyčí

U kvádru byly kvůli bezpečnosti práce sraženy všechny hrany o 1 mm, aby nebyly ostré a nebylo možné se o ně zranit.

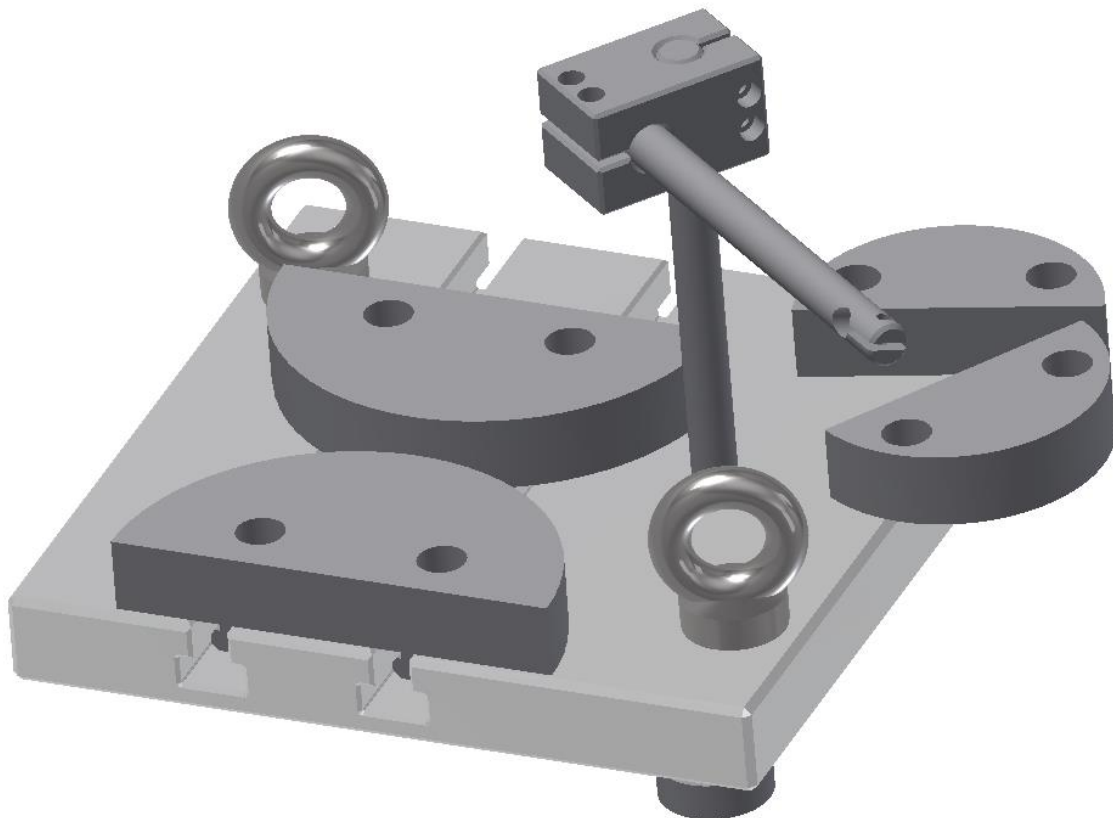
- Šrouby

U první varianty šroubů – tj. šrouby s vnitřním šestihranem o průměru M8 se zkrátila délka na 25 mm. Zkrácení je způsobeno ztenčením půlkruhů.

Přibyla třetí varianta šroubů-šroub drážkový s vnitřním šestihranem, s průměrem M4 a délkou 12 mm. Tento šroub byl použit pro stažení úchylkoměru. Pro přípravek je použit jeden kus toho šroubu.

- Závěsný šroub

Přibyl druhý závěsný šroub s okem.



Obrázek 4.4 - Třetí prototyp

4.5 Finální měřicí přípravek

U třetího koncepční návrhu bylo zjištěno několik drobných vad, které bylo třeba ve finálním přípravku odstranit. Bylo potřeba přípravek ještě trochu odlehčit a zajistit pevnější uchycení tyčí v kvádru.

Změny jednotlivých částí přípravku:

- Upínací deska s T-drážkami

Poslední změna upínací desky se týkala přebytečného materiálu. Ten byl vyfrézován ze spodní desky, jak pro další odlehčení přípravku, tak i pro lepší uchopení.

- Kvádr pro propojení tyčí

U kvádru pro propojení tyčí byly zmenšeny rozměry na 50x22x22 mm. Ke zmenšení došlo hlavně z toho důvodu, aby bylo možné kvádr zmáčknout a tím dostatečně pevně uchytit tyče.

- Šrouby

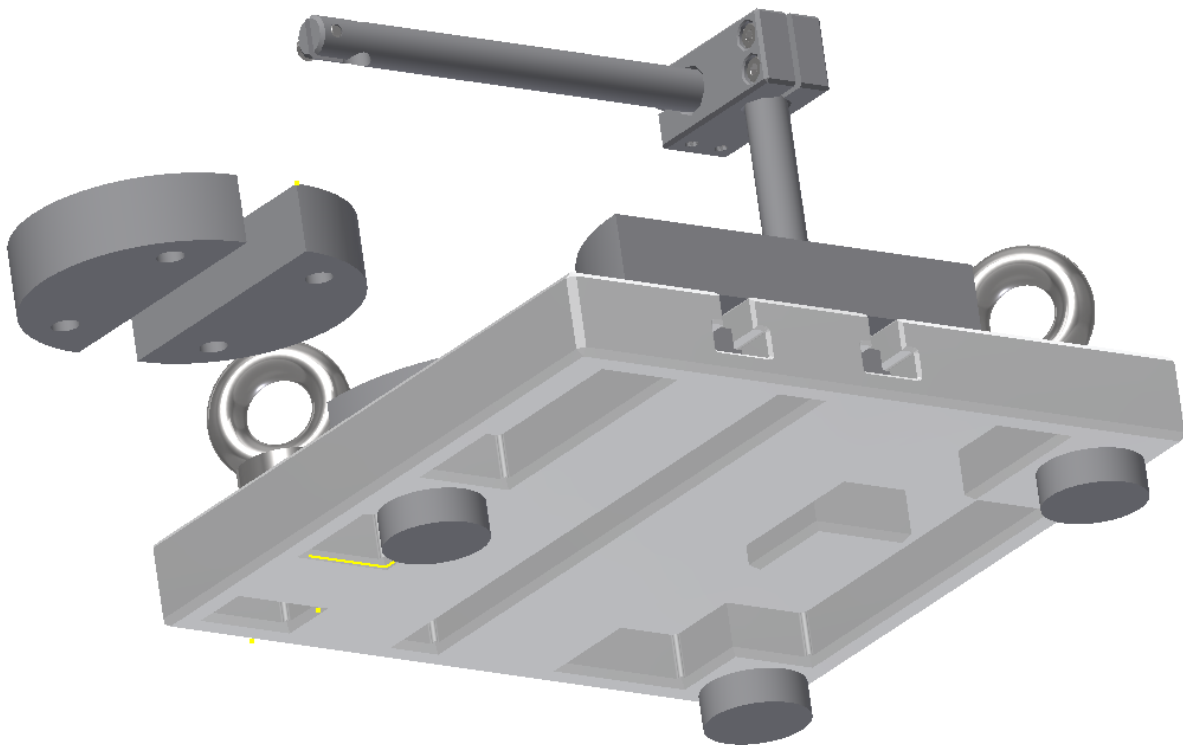
Kvůli zmenšení kvádru pro propojení tyčí bylo zapotřebí zmenšit i druhou variantu šroubů, aby šrouby odpovídaly hloubce otvoru. Druhá varianta šroubů s vnitřním šestihranem o průměru M4 měla po zmenšení délku 16 mm.

Finální měřicí přípravek je všestranně použitelný. Díky nastavitelným půlkruhům umožňuje měření pro všechny velikosti vahadel.

Finální přípravek je navržený s T-matkami a deskou s T-drážkami, díky nimž se mohou posouvat půlkruhy po drážkách a tím pádem je přípravek univerzální a lze s ním měřit mnoho velikostí vahadel. Přípravek se dá jednoduše složit a rozložit, díky tomu se dají lehce vyměnit části, které se časem poškodí. Půlkruhy jsou použity proto, aby se eliminovaly chyby způsobené špatným uložením vahadla, kdy vahadlo najede na postranní rádius namísto správného uložení pouze na funkční plochy. Přípravek váží okolo 8 kg, proto jsou na přípravek připevněny závěsné šrouby pro rovnoměrný přenos pomoci jeřábu. Všechny části přípravku jsou ošetřeny proti korozi. Přípravek má protiskluzové nožičky pro dobrou stabilitu přípravku. Pro jednodušší měření byl u přípravku použit digitální úchylkoměr na místo obyčejného analogového úchylkoměru. Cena přípravku včetně digitálního úchylkoměru je 9 800 Kč.

Finální přípravek se skládá z těchto částí:

- Digitální úchylkoměr
- Upínací deska s T drážkami
- Půlkruhy (dvě velikosti pro lepší měření)
- Tyče (dvě varianty)
- Kvádr pro propojení tyčí
- Nožičky
- T-matky
- Šrouby (tři varianty)
- Závěsné šrouby s okem



Obrázek 4.5 - Finální měřicí přípravek

Úchylkoměr

Úchylkoměr je délkové měřidlo, využívané především ve strojírenství. Takové měření je potřebné například pro kontrolu odchylek od předepsané míry, při vystředování rotačních obrobků atd. U analogového úchylkoměru malá ručička ukazuje celé milimetry a velká ručička ukazuje obvykle setiny. Pro přípravek je ale navržen úchylkoměr digitální, který vypíše celou číselnou hodnotu na displeji. Úchylkoměr se nepoužívá pro měření absolutní délky, ale pro měření rozdílu od výchozí nastavené hodnoty. Rozlišení může být na setiny nebo i tisíce milimetru, pro přípravek je zvolen úchylkoměr měřící na tisíce milimetru. Pro navržení přípravku je také důležitý průměr a délka části úchylkoměru sloužící pro upnutí do držáku. Cena úchylkoměru je 6 500 Kč a jeho rozměry použité pro přípravek i celý digitální úchylkoměr jsou na obrázku 4.6.

Použití:

Při měření je úchylkoměr pevně upnut do držáku a nastaví se tak, aby při daném rozměru ukazoval nulu. Pohybem součásti pod měřidlem úchylkoměr ukazuje, o kolik se v určitém místě naměřená hodnota liší od nastavené hodnoty. Páčka se používá k rychlému zdvižení měřícího hrotu při vkládání a vyjímání součástek.

Technické parametry úchylkoměru:

- Digitální úchylkoměr
- Přesnost na setiny milimetru
- IP42 – chráněno před kapající vodou
- Nejvyšší přesnost díky měřicímu systému Absolut
- Solární provoz do 40 luxů
- Není nutno měnit baterie

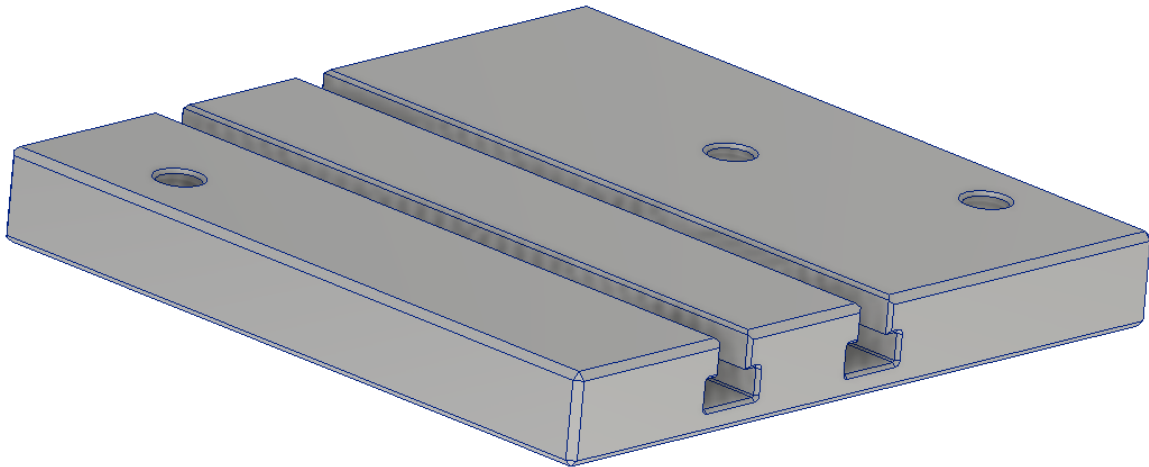


Obrázek 4.6 - Úchylkoměr [15]

Upínací deska

Upínací deska je vyrobena z uhlíkové nízkolegované vysokopevnostní oceli S355JR, která se používá v konstrukci mostů, dopravních staveb a dalších inženýrských staveb. Zvolená ocel je dobře obrobitelná a je také dobře tvářitelná jak za tepla, tak i za studena. Jak už je z názvu patrné, má materiál vysokou pevnost v tahu až 630 MPa a tvrdost 187 HB. Rozměry upínací desky jsou 200x200x25 mm a cena je 2 300 Kč.

Upínací deska se téměř celá obrábí na frézce. Nejprve se vyfrézují T-drážky, které jsou rozmístěny tak, že jedna je 50 mm od kraje a druhá 40 mm od ní. T-drážky mají profil obráceného T. Obě drážky se vyfrézují do hloubky 18 mm, přičemž prvních 10 mm je drážka široká 12 mm a dalších 8 mm je široká 18 mm. Dále se pro odlehčení vyfrézuje zespodu upínací desky nadbytečný materiál. Následuje operace na sražení všech hran upínací desky, aby nebyly ostré. Nakonec se vrchní část upínací desky zbrousí na Ra 0,4, aby byl povrch dokonale rovný. Po dokončení všech operací na frézce se upínací deska přesune a upne do vrtačky. Zde jsou vyvrtány z vrchní strany desky tři otvory o průměru 12 mm. Do otvorů je vyřezán závit M12 se stoupáním 1,75 do vzdálenosti 20 mm. Dva z nich slouží pro uchycení závěsných šroubů, tyto otvory se nacházejí v rozích desky. Prostřední otvor je určený pro tyč propojující desku s kvádrem. Ze spodní strany upínací desky jsou též vyvrtány tři otvory, ale o průměru 8 mm. Do otvorů je vyřezán závit M8 se stoupáním 1,25 do vzdálenosti 20 mm. Tyto otvory slouží pro upevnění nožiček.

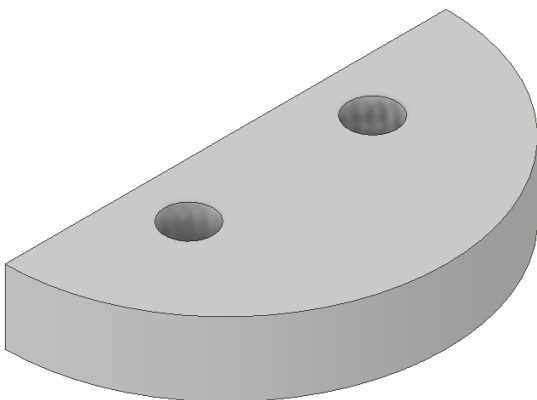


Obrázek 4.7 - Deska s T-drážkami

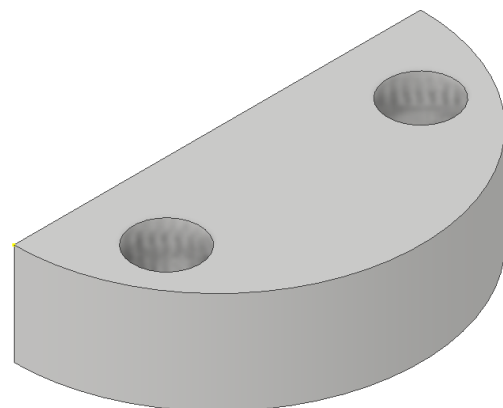
Půlkruhy

Půlkruhy jsou vyrobeny ze středně legované oceli určené k zušlechtnění označené 34CrNiMo6, která je dobře obrobitelná a žárupevná. Tato ocel se používá pro velmi náročné konstrukční části nebo také pro práci při nízkých teplotách. Vybraný materiál má po zušlechtnění pevnost v tahu až 950-1100 MPa a tvrdost až 35 HRC. Větší půlkruhy mají průměr 120 mm a tloušťku 20,00 mm. Menší půlkruhy mají stejnou tloušťku, ale průměr jen 80 mm. Cena půlkruhů činí 450 Kč.

Jelikož jsou polotovary tyčí přesně v obou požadovaných průměrech, stačí uříznout z každé tyče kruh o tloušťce 20 mm a poté ho přepůlit. Dále se půlkruhy upnou do vrtačky a do každého jsou vyvrtány dva otvory o průměru 9 mm. Poté je pro zapadnutí hlavy šroubů do půlkruhů rozšířena horní část otvoru na průměr 14 mm a do hloubky 10 mm. Středů otvorů jsou od sebe vzdáleny vždy 50 mm, přičemž od středu půlkruhu jsou díry 25 mm na každou stranu a 13 mm od rovné strany půlkruhu. Půlkruhy jsou zobrazené na obrázku 4.8 a 4.9. Nakonec se spodní i vrchní část půlkruhů zbrousí na Ra 0,4, aby byl povrch dokonale rovný.



Obrázek 4.8 - Větší půlkruh



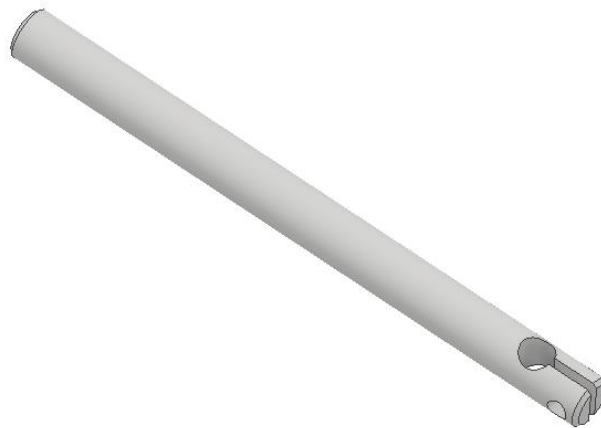
Obrázek 4.9 - Menší půlkruh

Tyče

Tyč použitá na níže uvedené tyče přípravku je vyrobena z tažené oceli (tzv. hlazenka 11 109). Tato ocel je na povrchu upravena bílým zinkem, aby byla odolná proti korozi. Cena této tyče je 102 Kč. Její průměr je 12 mm a délka 1 m. Z této tyče se pomocí pásové pily odříznou 2 kusy, jeden dlouhý 200 mm pro tyč na uchycení úchylkoměru a druhý dlouhý 200 mm pro tyč propojující desku s kvádrem.

Tyč pro uchycení úchylkoměru:

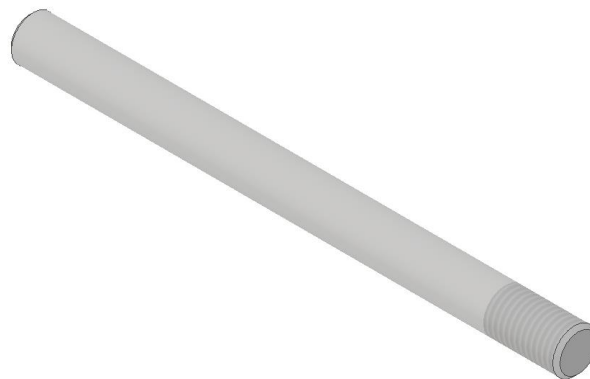
Pro výrobu tyče na uchycení úchylkoměru je použit nejprve soustruh, kterým jsou sraženy hrany tyče. Poté je vrtačkou vyvrtán otvor o průměru 8 mm ve vzdálenosti 15 mm od kraje tyče a druhý otvor o průměru 5 mm do hloubky 6 mm ve vzdálenosti 5 mm od stejného kraje, dále otvor pokračuje o průměru 4 mm až do konce tyče s vyříznutým závitem M4. Nakonec je větší z otvorů ze strany proříznut pilou pro možnost stažení úchylkoměru. Rozmístění daných děr a prořezů je na obrázku 4.10.



Obrázek 4.10 - Tyč pro uchycení úchylkoměru

Tyč propojující desku s kvádrem:

Pro výrobu tyče propojující desku s kvádrem se upne tyč do soustruhu. Při soustružení se nejprve srazí hrany tyče a poté je potřeba vyřezat z jedné strany pravotočivý závit M12 se stoupáním 1,75 a délkou 20 mm.

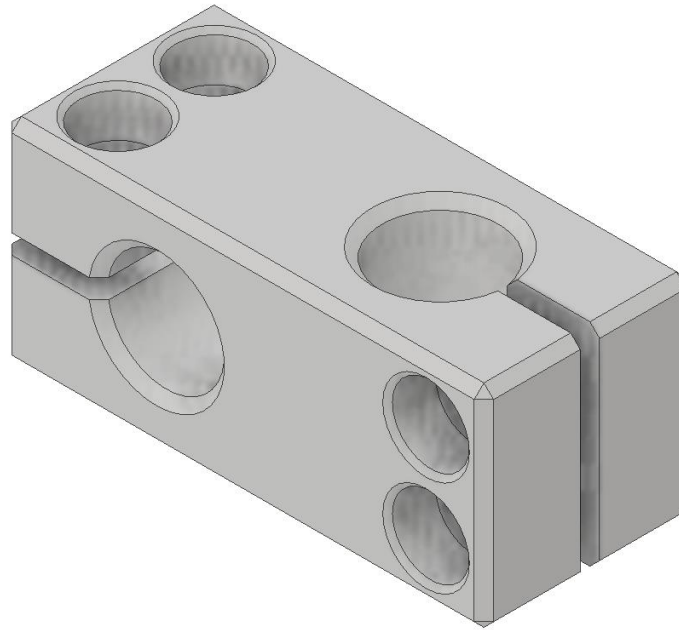


Obrázek 4.11 - Tyč se závitem

Kvadr pro propojení tyčí

Kvadr je vyroben z uhlíkové nízkolegované oceli S355. Vybraná ocel je dobře obrobitelná a také dobře tvářitelná. Ocel má pevnost v tahu 630 MPa a tvrdost 187 HB. Rozměry kvádrů jsou 50x22x22 mm a cena 50 Kč.

Výroba kvádrů začíná upnutím do vrtačky a vyvrtáním dvou otvorů o průměru 12 mm s tolerancí H12 a čtyř otvorů o průměru 4 mm. Větší z otvorů jsou po stranách proříznuty pilou pro možnost stažení tyčí. U menších otvorů je pro zapadnutí hlavy šroubů rozšířena horní část otvoru na průměr 8 mm do hloubky 5 mm, a z druhé strany otvoru je vyřezán závit M4 se stoupáním 0,7 do vzdálenosti 10 mm. Všechny hrany kvádrů jsou sraženy o 1 mm. Rozmístění daných děr a prořezů je na obrázku 4.12.



Obrázek 4.12 - Kvadr pro propojení tyčí

Nožičky

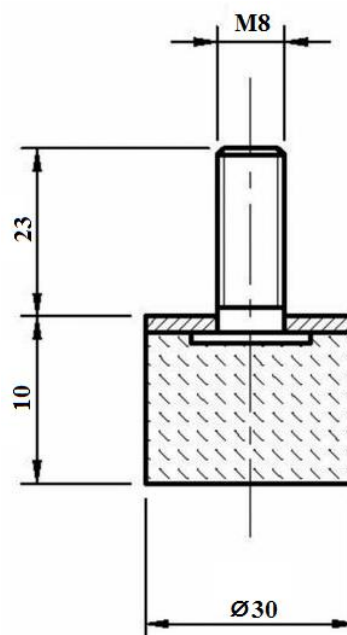
Pro přípravek jsou použity 3 nožičky pro jednodušší chycení roviny a stabilitu přípravku. Nožičky jsou vyrobeny z nerezové oceli třídy 17 a jsou pogumované, aby se zabránilo klouzáni po povrchu. Cena jedné nožičky je 43 Kč.

Technické parametry:

- Závít M8 x 1,25 a délkou 20 mm
- Maximální zatížení 42 kg
- Zbytek technických parametrů na obrázku 4.13



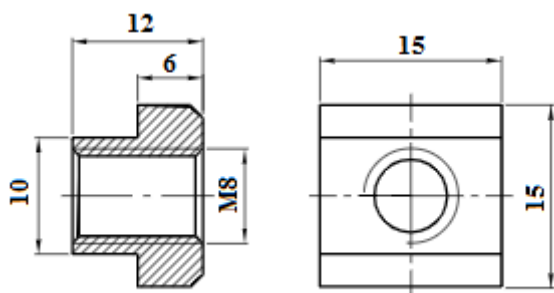
Obrázek 4.14 – Nožička [8]



Obrázek 4.13 - Rozměry nožičky [8]

T-matky

T-matka se využívá jako svorník pro upínání půlkruhů. Pro přípravek je použita matice ČSN 02 1529, která je vyrobena z oceli třídy 10 s pevností v tahu 1000 N/mm². Povrch matice je chemicky upraven brynýrováním neboli černěním pro zlepšení vzhledu i odolnosti proti korozi. Cena matice je 45 Kč a pro přípravek jsou potřeba 4 kusy. Rozměry matice jsou na obrázku 4.16.



Obrázek 4.16 - Rozměry T-matky [9]



Obrázek 4.15 - T-matka [9]

Šrouby

Pro přípravek jsou použity tři druhy šroubů. První ze šroubů je šroub ČSN 02 1143 s vnitřním šestihranem, který je vyroben z oceli třídy 12 s pevností v tahu 1200 N/mm². Šroub má průměr M8 se stoupáním 1,25 a délku 25 mm. Povrch šroubu je stejně jako u T-matice chemicky upraven černěním pro zlepšení vzhledu i pro zvýšení odolnosti proti korozi. Cena šroubu je 2 Kč a pro přípravek jsou potřeba 4 kusy. Těmito šrouby jsou upnuty půlkruhy k desce.

Druhý je také šroub ČSN 02 1143 s vnitřním šestihranem, který je vyroben z oceli třídy 12 s pevností v tahu 1200 N/mm². Šroub má ale průměr M4 se stoupáním 0,7 a délku 16 mm.

Povrch šroubu je taktéž chemicky upraven černěním. Cena šroubu je 1 Kč a pro přípravek jsou potřeba 4 kusy. Těmito šrouby jsou staženy tyče v krychli.



Obrázek 4.17 - První a druhý typ šroubu [10]

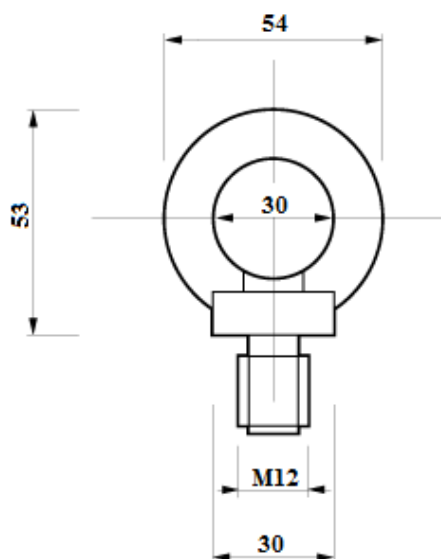
Poslední typ šroubu je šroub drážkový s válcovou hlavou ČSN 02 1131, který je vyroben z oceli třídy 12 s pevností v tahu 1200 N/mm². Šroub má průměr M4 se stoupáním 0,7 a délku 12 mm. Povrch šroubu je chemicky upraven bílým zinkem. Cena šroubu je 1 Kč a pro přípravek je potřeba 1 kus. Tímto šroubem je stažen úchylkoměr k přípravku.



Obrázek 4.18 - Třetí typ šroubu [10]

Šrouby závěsné s okem

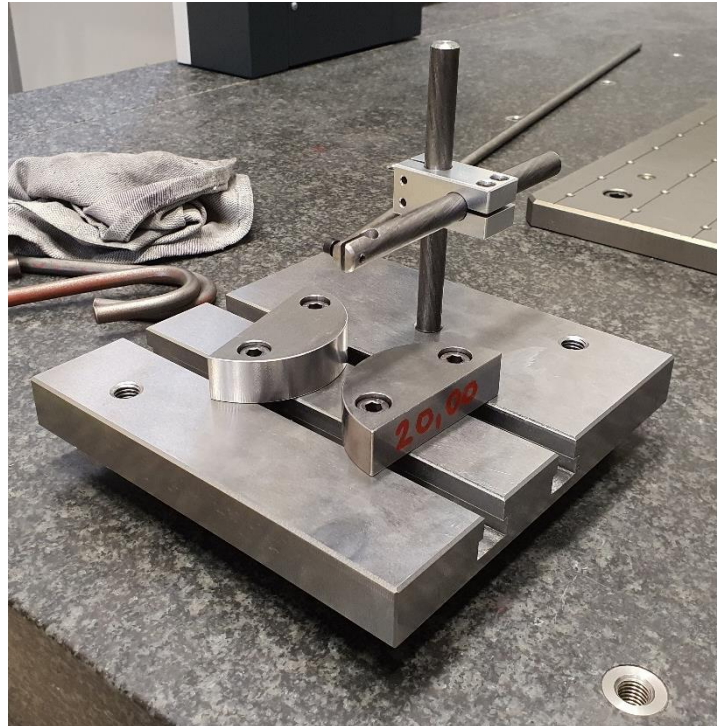
Pro přípravek je použit šroub závěsný s okem ČSN 02 1369. Tento závěsný šroub je vyroben z oceli C15 a následně je povrch šroubu galvanicky pozinkován pro zlepšení odolnosti proti korozi. Šroub má průměr M12 se stoupáním 1,75 a délku 20 mm. Nosnost závěsné soustavy dvou šroubů s okem je 340 kg. Cena šroubu s okem je 38 Kč a pro přípravek jsou potřeba 2 kusy. Ostatní rozměry závěsného šroubu jsou na obrázku 4.20.



Obrázek 4.20 - Rozměry závěsného šroubu [16] Obrázek 4.19 - Závěsný šroub s okem [16]

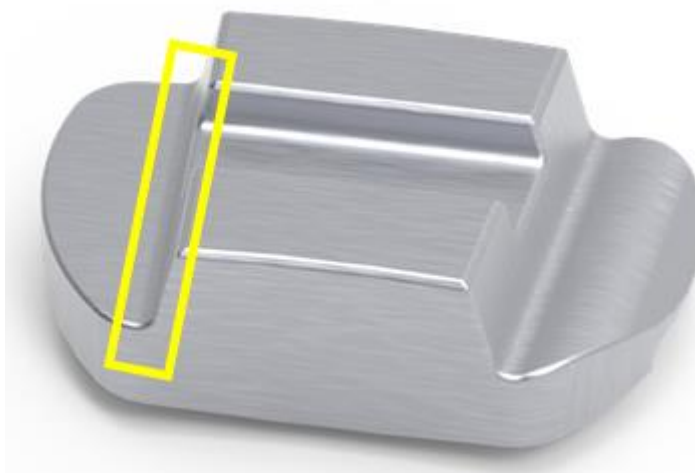
4.6 Návrh způsobu měření

Postup a způsob měření funkčních ploch vahadel je následující. Nejprve je nutné si podle velikosti vahadel zvolit, které půlkruhy použijeme. Dále je potřeba očistit měřené součásti a vrchní stranu použitých půlkruhů. Následuje jejich stažení pomocí momentového klíče.



Obrázek 4.21 – Upnutí půlkruhů na navrženém přípravku

Vahadlo se položí mezi dva zvolené broušené půlkruhy. Pro měření funkčních ploch vahadel je důležité správně uložit vahadlo tak, aby se dotýkalo půlkruhů pouze funkčními plochami a nedošlo ke kontaktu s postranními rádiusy (viz. Obrázek 4.22). Tím by se narušilo měření. Dále se upne do přípravku úchylkoměr a nastaví se tyč s upnutým úchylkoměrem tak, aby se hrot úchylkoměru dotýkal funkční plochy na vrcholu vahadla. Poté se vahadlo vyndá a na uchylkoměru se nastaví jmenovitý rozměr výšky vahadla pomocí koncových (Johansonových) měrek.



Obrázek 4.22 - Vyznačený postranní rádius



Obrázek 4.23 – Nastavení nulové polohy pomocí koncových měrek

Po nastavení jmenovitého rozměru výšky pomocí koncových měrek se vahadlo zpět uloží mezi půlkruhy. Nakonec je hledána největší odchylka výšky vahadla. Protože je na každé ložisko potřeba větší množství stejných vahadel je výhodné, že přípravek nastavíme jednou a můžeme na něm naměřit všechna vahadla v rychlém sledu.



Obrázek 4.24 – Navržený přípravek

5. Praktická verifikace navržených postupů a přípravku

V této kapitole je popsán průběh testování navrženého přípravku. Nejprve se zaměřuje na prostředí, ve kterém proběhlo měření, dále pak na přípravu měření jednotlivých přípravků. Nakonec proběhlo testování přípravku z hlediska kvality, časové náročnosti a variability.

5.1 Prostředí měření

U takto přesných měření je prostředí velice důležité. Z toho důvodu probíhalo měření v klimatizované místnosti, aby se dalo dohlížet na správnou vlhkost a teplotu v místnosti. Musí se měřit na takřka dokonale rovných deskách. Všechna vahadla se nechávají v místnosti několik dní před měřením, aby měli přesnou teplotu.

Prostředí, ve kterém byl testován navržený přípravek:

- Teplota v místnosti byla udržována okolo 20 °C
- Vlhkost v místnosti byla udržována okolo 50 %
- Měření probíhalo na granitové desce
- Vahadla byla v místnosti uložena 3 dny



Obrázek 5.1 – Prostředí měření

5.2 Příprava měření v současném stavu

U současného přípravku se nejprve musí očistit granitová deska. Poté se seskládají příslušné koncové měrky-dvě stejně velké jsou použité jako podstavce se stejnou výškou a třetí je rozměr, od kterého se měří odchylka vahadla od daného rozměru pomocí úchylkoměru. Po připravení koncových měrek se musí nastavit stojánek, což je poměrně náročné.



Obrázek 5.2 – Použité koncové měrky

Doba přípravy je kolem **10 minut**. To je dáno hlavně zdoluhavým nastavením stojánku a také velmi pečlivým očištěním granitové desky, protože i sebemenší nečistota může znehodnotit měření.

5.3 Příprava měření u navrženého přípravku

U navrženého přípravku stačí pouze očistit desku a půlkruhy přípravku. Čistit granitovou desku není potřeba. Poté se utáhnou půlkruhy na daný rozměr vahadla pomocí momentového klíče. Jako další krok se utáhne úchylkoměr do přípravku a posune na potřebnou výšku. Jako poslední

krok se nastaví nula na úchylkoměru pomocí koncové měrky velikosti 20 mm (20,00 mm jsou vysoké půlkruhy).

Doba přípravy je podstatně kratší a trvá kolem **5 minut**.

5.4 Testování přípravku

Testy byly rozděleny do tří kategorií

- na kvalitu měření,
- na časovou náročnost,
- variabilitu pro všechny velikosti vyráběných vahadel.

Pro testování byly vybrány dvě různé sady vahadel pro 18-ti segmentové ložisko.

Značení sady vahadel:

1. sada vahadel RR + RP

Celkem se tato sada skládá z 36 vahadel. Vahadla se rozdělují na horní a spodní se shodným počtem kusů. Horní mají na obou stranách rádius (RR) a spodní mají na jedné straně rádius a na druhé plochu (RP).

2. sada vahadel RP + RP

Druhá sada má stejný počet kusů jako první sada, ale má horní i spodní sadu vahadel stejnou. Na jedné straně plochu a na druhé rádius (RP).

Testování na současném přípravku bylo nekomfortní. Při postavení vahadla na koncové měrky bylo vahadlo velice nestabilní. Při hledání vrcholu pak byl velký problém měřit přesně, a přitom balancovat na koncových měrkách. Další problém vznikl tím, že stojánek se posouvá přímo po granitové desce, takže i sebemenší nečistota znehodnocovala měření. Proto se musela deska poměrně často otírat a kontrolovat úchylkoměr, zda zůstala správně nastavená nulová poloha.



Obrázek 5.3 - Vyznačení problému se stabilitou současného přípravku

Testování navrženého přípravku bylo podstatně komfortnější. Po přípravě přípravku se už jen položí vahadlo na půlkruhy. Zde je důležité ohlídat, aby se nenajelo na rádius vahadla (viz. Obrázek 4.22).

Tím, že je přípravek stabilní, se bez problémů během chvilky najde vrchol vahadla. U úchytkoměru zde nedocházelo ani k rozhození nulové polohy.

5.4.1 Testování kvality měření

Testování kvality měření je pochopitelně ze všech testů nejdůležitější. Je nezbytně nutné, aby tento test vyšel pozitivně, jinak se v dalších testech nemusí ani pokračovat a přípravek by se musel předělat.

Nejprve se změří všechna vahadla na navrženém přípravku. Tato měření se zopakují ještě jednou, jestli se hodnoty nebudou rozcházet. Nakonec se porovnají hodnoty s měřením na současném přípravku.

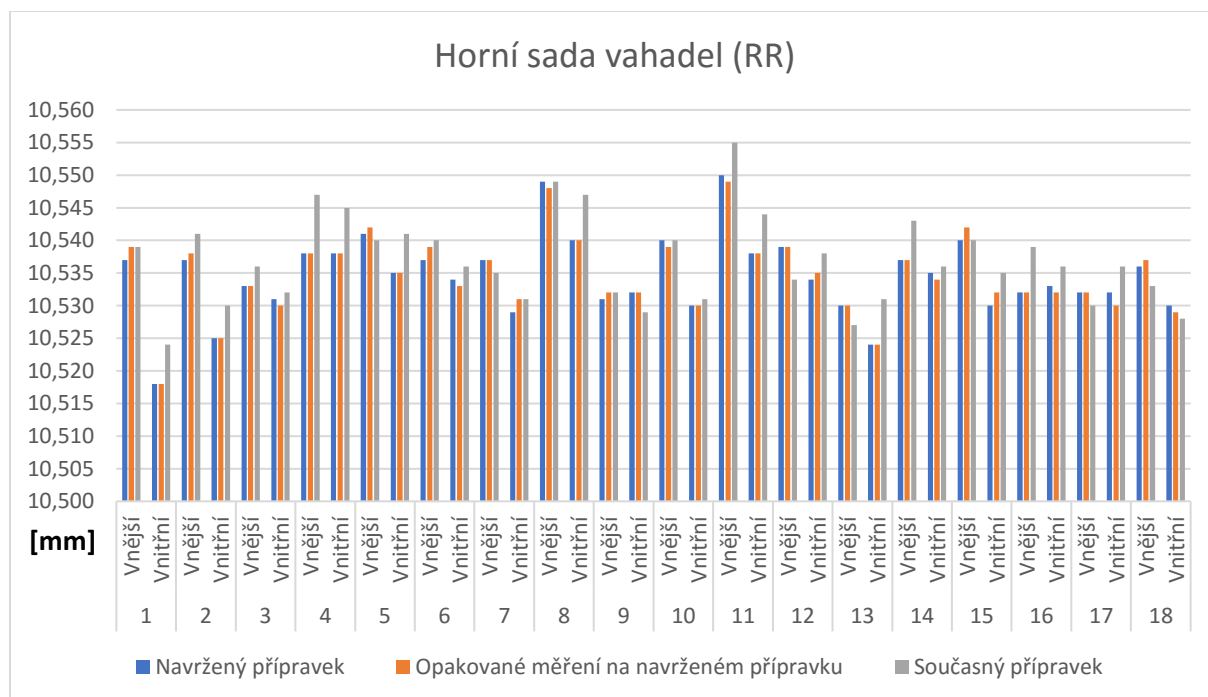
1. sada vahadel RR + RP

U vahadel se měří vnější i vnitřní výška vahadla (viz. Obrázek 5.4). Proto jsou u každého vahadla dvě hodnoty.



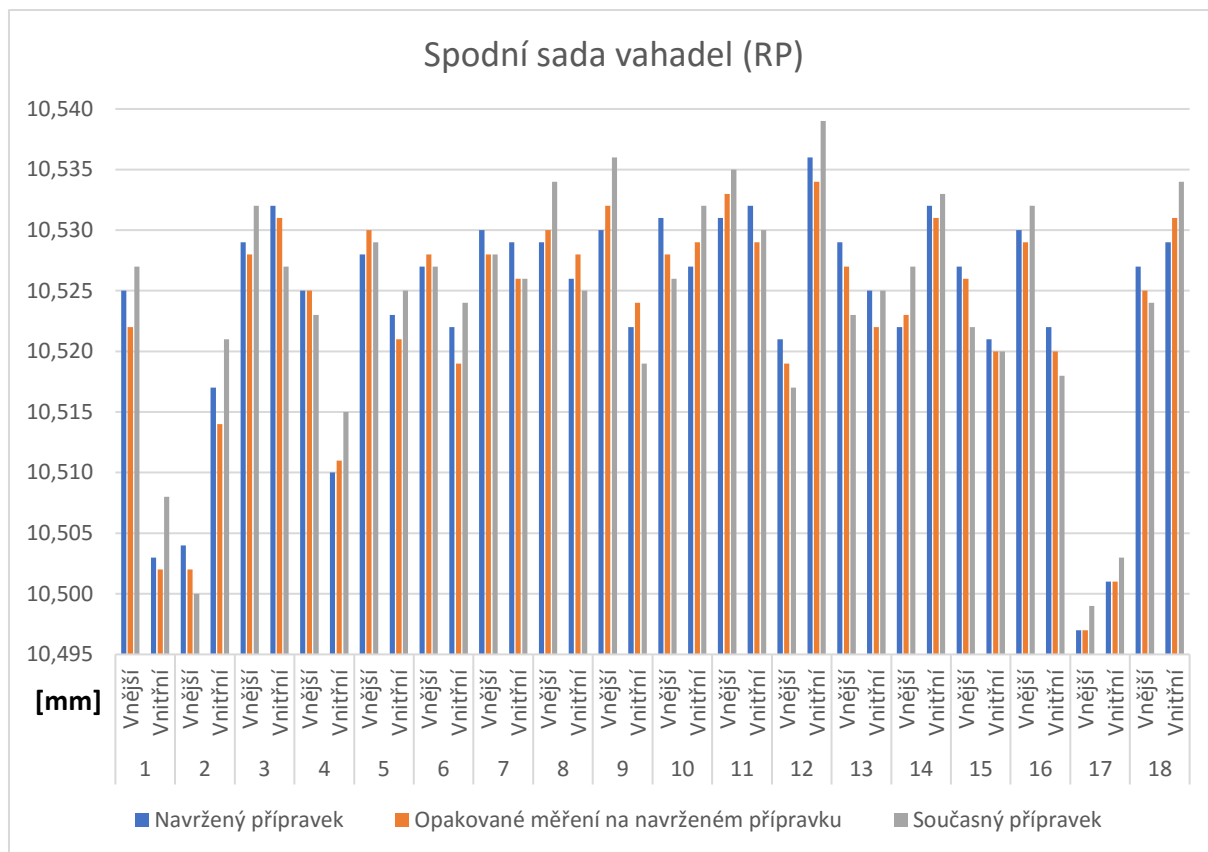
Obrázek 5.4 - Vnitřní a vnější výška vahadla

Grafy znázorňují vzájemné odchylky jednotlivých druhů měření v milimetrech.



Graf 5.1 - Horní sada vahadel (RR)

U horní sady (RR) vahadel byla největší odchylka **0,009 mm** a to u vnější výšky vahadla č. 4.

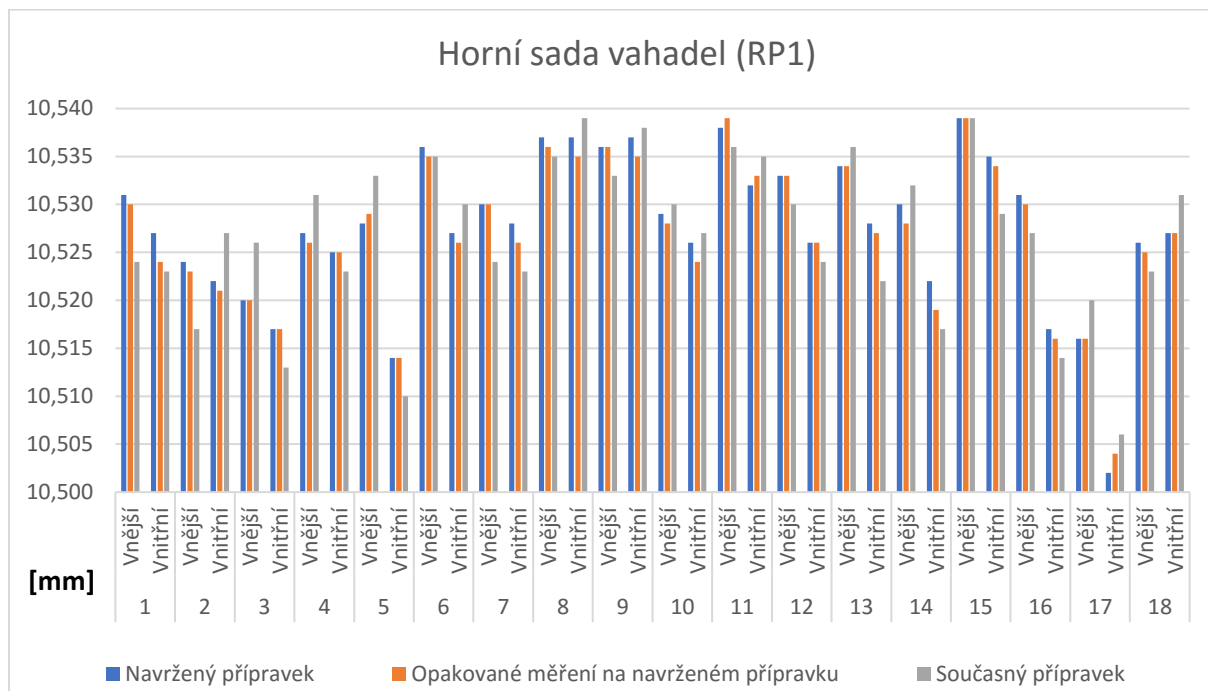


Graf 5.2 - Spodní sada vahadel (RP)

U spodní sady vahadel (RP) byla největší odchylka **0,007 mm** a to u vnitřní výšky vahadla č. 2.

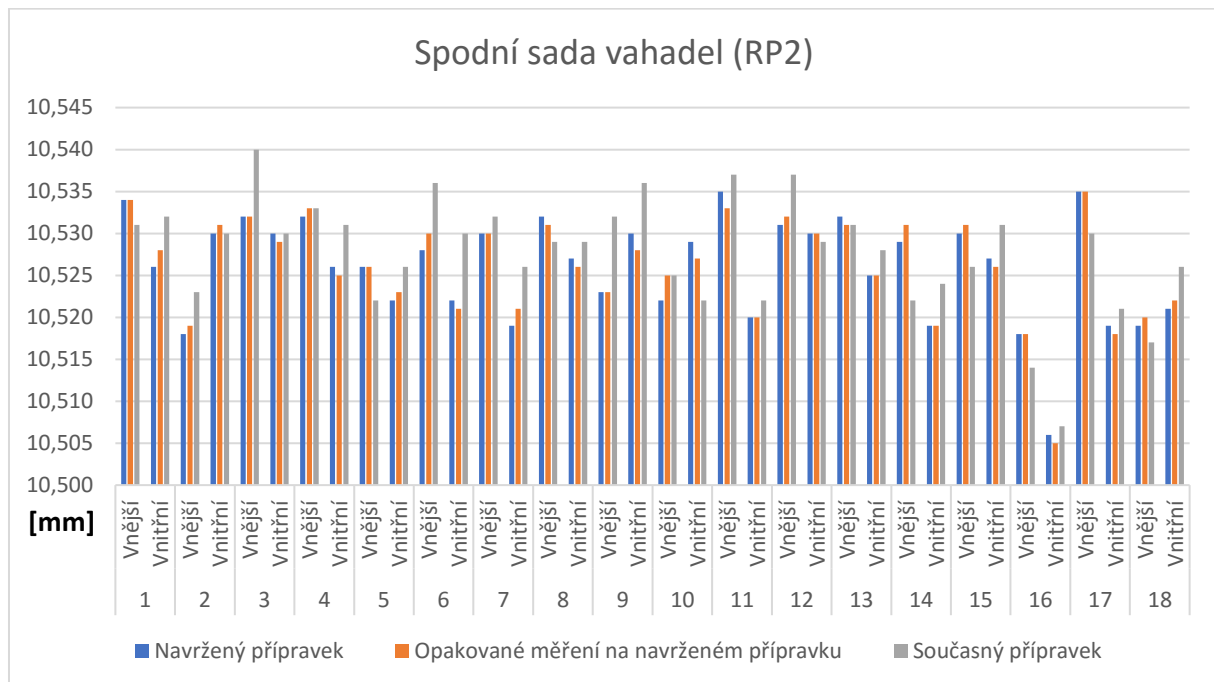
2. sada vahadel RP + RP

U vahadla je změřena znovu jak vnější, tak i vnitřní výška.



Graf 5.3 – Horní sada vahadel (RP1)

U horní sady vahadel (RP1) byla největší odchylka **0,007 mm** a to u vnější výšky vahadel č. 1 a 2.



Graf 5.4 – Spodní sada vahadel (RP2)

U spodní sady vahadel (RP2) byla největší odchylka **0,009 mm** a to u vnější výšky vahadla č. 9 a 14 a také u vnitřní výšky vahadla č. 6.

Tabulky znázorňují vzájemné odchylky jednotlivých měření v procentech.

Procentuální odchylka opakovaného měření od prvního měření					
Číslo vahadla	Výška	1. sada RR + RP		2. sada RP + RP	
		RR	RP	RP1	RP2
1	Vnější	0,2%	0,3%	0,1%	0,0%
	Vnitřní	0,0%	0,1%	0,3%	0,2%
2	Vnější	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%
	Vnitřní	0,0%	0,3%	0,1%	0,1%
3	Vnější	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
	Vnitřní	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
4	Vnější	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
	Vnitřní	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%
5	Vnější	0,1%	0,2%	0,1%	0,0%
	Vnitřní	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%
6	Vnější	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%
	Vnitřní	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%
7	Vnější	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
	Vnitřní	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%
8	Vnější	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
	Vnitřní	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%
9	Vnější	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%
	Vnitřní	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%
10	Vnější	0,1%	0,3%	0,1%	0,3%
	Vnitřní	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%
11	Vnější	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%
	Vnitřní	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%
12	Vnější	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%
	Vnitřní	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%
13	Vnější	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%
	Vnitřní	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%
14	Vnější	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%
	Vnitřní	0,1%	0,1%	0,3%	0,0%
15	Vnější	0,2%	0,1%	0,0%	0,1%
	Vnitřní	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%
16	Vnější	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%
	Vnitřní	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%
17	Vnější	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Vnitřní	0,2%	0,0%	0,2%	0,1%
18	Vnější	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%
	Vnitřní	0,1%	0,2%	0,0%	0,1%

Tabulka 5.1 - Tabulka procentuální odchylky opakovaného měření

Z této tabulky je zřejmé, že měření byla velice podobná a rozcházejí se od sebe maximálně o **0.3 %**. Což lze považovat za vynikající výsledek.

Procentuální odchylka starého měření od prvního navrženého měření					
Číslo vahadla	Výška	1. sada RR + RP		2. sada RP + RP	
		RR	RP	RP1	RP2
1	Vnější	0,2%	0,2%	0,7%	0,3%
	Vnitřní	0,6%	0,5%	0,4%	0,6%
2	Vnější	0,4%	0,4%	0,7%	0,5%
	Vnitřní	0,5%	0,4%	0,5%	0,0%
3	Vnější	0,3%	0,3%	0,6%	0,8%
	Vnitřní	0,1%	0,5%	0,4%	0,0%
4	Vnější	0,9%	0,2%	0,4%	0,1%
	Vnitřní	0,7%	0,5%	0,2%	0,5%
5	Vnější	0,1%	0,1%	0,5%	0,4%
	Vnitřní	0,6%	0,2%	0,4%	0,4%
6	Vnější	0,3%	0,0%	0,1%	0,8%
	Vnitřní	0,2%	0,2%	0,3%	0,8%
7	Vnější	0,2%	0,2%	0,6%	0,2%
	Vnitřní	0,2%	0,3%	0,5%	0,7%
8	Vnější	0,0%	0,5%	0,2%	0,3%
	Vnitřní	0,7%	0,1%	0,2%	0,2%
9	Vnější	0,1%	0,6%	0,3%	0,9%
	Vnitřní	0,3%	0,3%	0,1%	0,6%
10	Vnější	0,0%	0,5%	0,1%	0,3%
	Vnitřní	0,1%	0,5%	0,1%	0,7%
11	Vnější	0,5%	0,4%	0,2%	0,2%
	Vnitřní	0,6%	0,2%	0,3%	0,2%
12	Vnější	0,5%	0,4%	0,3%	0,6%
	Vnitřní	0,4%	0,3%	0,2%	0,1%
13	Vnější	0,3%	0,6%	0,2%	0,1%
	Vnitřní	0,7%	0,0%	0,6%	0,3%
14	Vnější	0,6%	0,5%	0,2%	0,7%
	Vnitřní	0,1%	0,1%	0,5%	0,5%
15	Vnější	0,0%	0,5%	0,0%	0,4%
	Vnitřní	0,5%	0,1%	0,6%	0,4%
16	Vnější	0,7%	0,2%	0,4%	0,4%
	Vnitřní	0,3%	0,4%	0,3%	0,1%
17	Vnější	0,2%	0,2%	0,4%	0,5%
	Vnitřní	0,4%	0,2%	0,4%	0,2%
18	Vnější	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%
	Vnitřní	0,2%	0,5%	0,4%	0,5%

Tabulka 5.2 - Tabulka procentuální odchylky současného měření

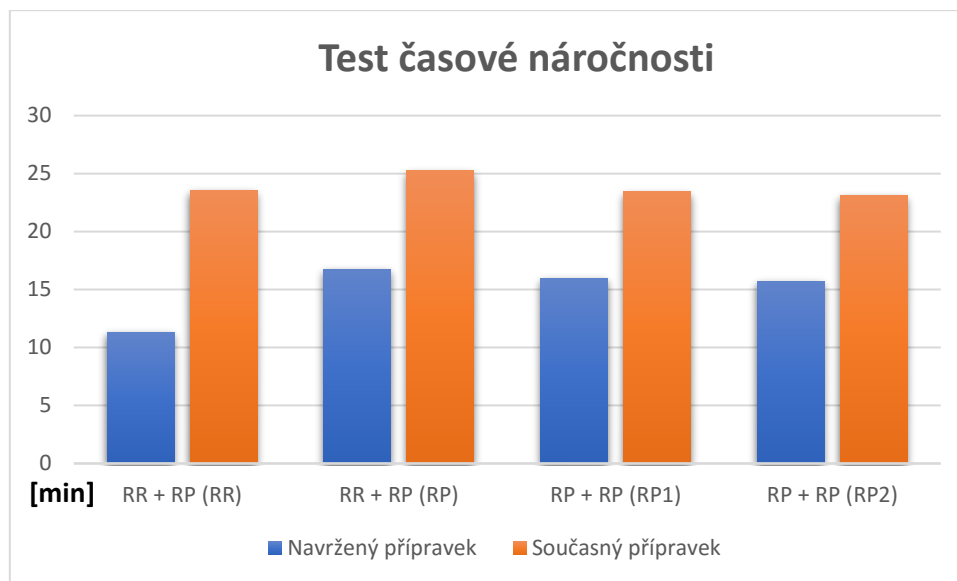
Z tabulky je patrné, že měření byla dosti podobná. Výsledky se od sebe liší maximálně o **0.9 %**. Což lze taktéž považovat za velice dobrý výsledek.

Vnější a vnitřní výška vahadla se měřila kvůli kuželovitosti měřených ploch. Měření kuželovitosti se u současného měření provádí stejným způsobem jako u navrženého.

Z výše uvedených grafů a tabulek je zřejmé, že se jednotlivé hodnoty liší jen v řádech tisícín milimetru a se vzájemnými odchylkami od sebe do jednoho procenta. Tím pádem je příravek **dostatečně přesný** pro měření vahadel a test kvality přípravku tedy dopadl na výbornou.

5.4.2 Testování časové náročnosti

U tohoto testu byly měřeny obě sady, každá pro horní a spodní sérii vahadel. Pro jednotlivá měření byla použita série 18 vahadel, výsledný čas v grafu znázorňuje vždy jejich součet. Ložiska jsou složena z více kusů vahadel, proto je nutné měření po sériích. Nejprve se změřily časy u navrženého přípravku a poté u současného.

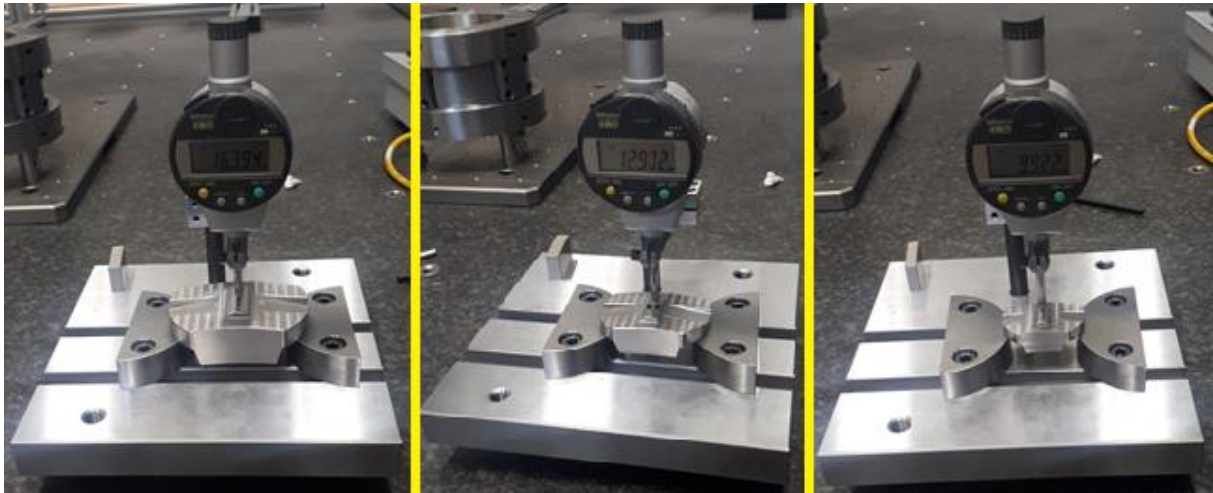


Graf 5.5 - Test časové náročnosti

Z grafu je patrné, že navržený přípravek je z hlediska **času úspornější**. Nejlépe z testu dopadla vahadla, které mají rádius z obou stran. To je dáno tím, že při hledání vrcholu nebylo možné najet na postranní rádius (viz. Obrázek 4.22) jako u vahadel, které mají z jedné strany plochu.

5.4.3 Test variability navrženého přípravku

U toho testu se zkoušely všechny velikosti vahadel, jestli se pohodlně vejdou mezi půlkruhy a půjdou změřit. Tento test je velice důležitý pro potvrzení předpokladu, že je přípravek multifunkční.



Obrázek 5.5 – Test variability přípravku

Z obrázku je vidět, že všechna vahadla se dají bez problému měřit. Takže přípravek **je multifunkční**.

6. Závěr

Tato bakalářská práce byla zpracována na základě požadavku firmy GTW BEARINGS s.r.o. na návrh způsobu měření funkčních prvků ložiskového systému axiálního samovyvažovacího ložiska. Firma se zabývá zakázkovou výrobou kluzných ložisek, proto potřebuje vhodný měřicí přípravek, který urychlí a ulehčí správné měření vahadel.

Cílem této bakalářské práce bylo zlepšit stávající komplikovaný proces měření výšky vahadel. Nově navržený způsob měření pomocí nového přípravku splnil požadavky firmy, protože podstatně zjednodušil a urychlil proces měření vahadel.

Úvod bakalářské práce se zabývá představením firmy GTW BEARINGS s.r.o., její historií a výrobky, které firma dodává na trh. Zvláštní kapitola je pak věnována vzniku a vývoji samovyvažovacího ložiska, principům jeho funkce a důvodům aplikace ložiskového systému v praxi. Další část popisuje vahadlo, jeho funkční plochy a základní parametry.

Navazující kapitola se věnuje vývoji přípravku od prvního koncepčního návrhu po finální měřicí přípravek. Nejdříve popisuje současný způsob měření vahadel a zjištěné nedostatky se snaží eliminovat v prvním koncepčním návrhu. Princip nového způsobu měření se ukázal správný, ale přípravek měl v prvním stádiu určité nedostatky, které bylo potřeba napravit. Přípravek celkem prošel třemi fázemi úprav, než vznikl finální měřicí přípravek. Výsledný přípravek je přesný, jednoduše ovladatelný, přenosný a stabilní.

Další část popisuje testování navrženého přípravku. Porovnává současný a nově navrhovaný způsob měření z hlediska časové náročnosti, kvality měření a variability velikostí měřených vahadel. U současného měření je zdlouhavá příprava, kdy se musí po důkladném očištění granitové desky přípravek sestavit, nastavit stojánek a každá i drobná nečistota může měření zkreslit. Při změně velikosti vahadla je nutné vše nastavit znovu. U nově navrženého přípravku je nastavení jednodušší. Čas přípravy je zhruba poloviční. Při změně velikosti vahadla navíc není potřeba vše nově nastavovat, stačí jen posunout půlkruhy. Přípravek je stabilní a podle výsledků testu dostatečně přesný pro měření vahadel.

Vzhledem k úspěšným testům, které potvrdily, že navrhovaný přípravek zrychlí a zjednoduší správné měření vahadel, připravuje firma GTW BEARINGS s.r.o. v nejbližší době zavedení navrhovaného přípravku do procesu měření vahadel.

Literatura a odkazy

Seznam odborné literatury a zdrojů

- [1] **GTW Bearings s.r.o.** . <http://www.gtw.cz>. [online]
- [2] **Polášek, Adam.** *DP: Návrh a ověření technologie výroby klíčových komponentů samovyrovnávacího axiálního segmentového ložiska*. Plzeň : Katedra Technologie Obrábění FST na ZČU, 2015/2016.
- [3] **Urban, Marek, Monková, Katarína a Řehoř, Jan.** *Problematika zefektivnění výroby, měření a funkčnosti nesymetricky za-těžovaného ložiska v energetice*. [online]
- [4] **MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM.** *Moderní kluzná ložiska*. [online]
- [5] **STROJÍRENSTVÍ.** *Materiály kluzných ložisek*. [online]
- [6] **Urban, Marek.** *DP: Zefektivnění výroby, měření a funkčnosti nesymetricky zatěžovaného ložiska v energetice*. Plzeň : Katedra Technologie Obrábění FST na ZČU, 2019/2020.
- [7] **ELCHEMCo.** <http://www.e-slotcar.cz/tips/5/ELCHEMCo%20-%20popis%20-%20chemick%C3%A9%20niklov%C3%A1n%C3%AD.htm>. [online]
- [8] **czech, Ama.** www.ama-zahrada.cz. [online]
- [9] **Kipp.** www.kipp.cz. [online]
- [10] **Akros.** www.akros.cz. [online]
- [11] **VINŠ, J.** *Kluzná ložiska*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
- [12] **Waukesha Bearings.** <https://www.waukbearing.com>. [online]
- [13] **Straka, František.** Testování na standu pro axiální ložiska - Prezentace. místo neznámé : Doosan škoda Power, 2016.
- [14] **Holub, Nikola.** *BP: Srovnání užitných vlastností kompozitových ložisek s výstelkou na bázi Sn, Pb a Cu a PTFE*. Plzeň : Katedra Technologie Obrábění FST na ZČU, 2011/2012.
- [15] **Meusburger.** www.meusburger.com. [online]
- [16] **TEDOX s.r.o.** www.tedox.cz. [online]
- [17] **Euro Inox.** http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf. [online]

Seznam příloh

Příloha č.1: Technické specifikace úchylkoměru

Příloha č.2: Rozměrové protokoly vahadel

Příloha č.3: Výkresová dokumentace navrženého přípravku

Příloha č.1

Technické specifikace úchylkoměru

Mitutoyo ABSOLUTE 543-450B

Popis

Jedná se o multifunkční úchylkoměr, který se vyznačuje spolehlivostí a snadnou obsluhou.

ABSOLUTE DIGIMATIC Úchylkoměry ID-C nabízí následující výhody:

- Snímač ABSOLUTE zaručuje, že nemusíte nastavovat počátek po každém zapnutí přístroje, čímž si ušetříte čas a námahu.
- Vyhodnocení OK/n.OK je prováděno nastavením horních a dolních tolerancí.
- Může být proveden jednoduchý výpočet uživatelem definovaným faktorem použitím vzorce Ax ('x' je posuv vřetene).
- Číslice velké 11 mm zaručují dobré odečítání.
- Displej je otočný o 330°.
- Funkce uzamčení displeje, jej chrání před neoprávněným použitím.



Vlastnosti

Rozsah měření:	25,4 mm
Číslicový krok:	0,001 mm
Max. povolená chyba indikace:	0,003 mm
Hystereze:	0,002 mm
Opakovatelnost:	0,002 mm
Hmotnost:	190
Stupnice:	ABSOLUTE Elektrostatický lineární snímač
Max. rychlost odezvy:	Neomezená
Upínací stopka ø:	8 mm
Měřicí dotek:	Kulička z tvrdokovu, závit M 2,5 x 0,45 mm
Alarm:	Slabé baterie, chyby složení počítané hodnoty, překročení rychlosti, chyby nastavení tolerance
Napájení:	1 battery SR-44
Životnost baterie:	cca 7 000 hod
Displej:	LCD character height 11 mm Rotatable 330°
NULOVÁNÍ / ABS přepínání:	Ano
Vyhodnocení OK/±n.OK :	Ano
Výstup dat DIGIMATIC:	Ano
ZAP/VYP:	Ano
Funkce "Lock" (blokování klávesnice):	Ano
Přepínatelné rozlišení:	Ano
PRESET (předvolba):	Ano
Výpočtové funkce:	Ano
Přepínání směru čítání:	Ano
Přepínatelný číslicový krok(provedení 0,001 mm):	Ano
Digitální/Analogové:	Digitální
Palcové-Metrické:	Metrické

Příloha č.2

Rozměrové protokoly vahadel

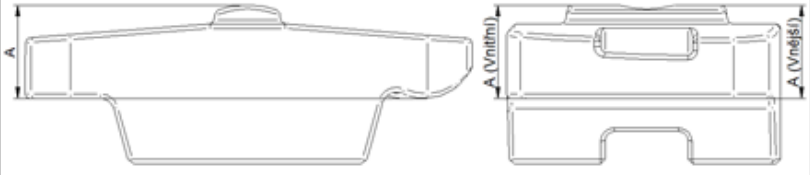
Rozměrový protokol vahadla

Název: RR + RP				Měřeno pomocí nového přípravku							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RR)				Spodní sada (RP)							
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr				
1	A Vnější	10,537	13	A Vnější	10,530	1	A Vnější	10,525	13	A Vnější	10,529
	A Vnitř	10,518		A Vnitř	10,524		A Vnitř	10,503		A Vnitř	10,525
2	A Vnější	10,537	14	A Vnější	10,537	2	A Vnější	10,504	14	A Vnější	10,522
	A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,535		A Vnitř	10,517		A Vnitř	10,532
3	A Vnější	10,533	15	A Vnější	10,540	3	A Vnější	10,529	15	A Vnější	10,527
	A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,521
4	A Vnější	10,538	16	A Vnější	10,532	4	A Vnější	10,525	16	A Vnější	10,530
	A Vnitř	10,538		A Vnitř	10,533		A Vnitř	10,510		A Vnitř	10,522
5	A Vnější	10,541	17	A Vnější	10,532	5	A Vnější	10,528	17	A Vnější	10,497
	A Vnitř	10,535		A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,523		A Vnitř	10,501
6	A Vnější	10,537	18	A Vnější	10,536	6	A Vnější	10,527	18	A Vnější	10,527
	A Vnitř	10,534		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,529
7	A Vnější	10,537		A Vnější		7	A Vnější	10,530		A Vnější	
	A Vnitř	10,529		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	
8	A Vnější	10,549		A Vnější		8	A Vnější	10,529		A Vnější	
	A Vnitř	10,540		A Vnitř			A Vnitř	10,526		A Vnitř	
9	A Vnější	10,531		A Vnější		9	A Vnější	10,530		A Vnější	
	A Vnitř	10,532		A Vnitř			A Vnitř	10,522		A Vnitř	
10	A Vnější	10,540		A Vnější		10	A Vnější	10,531		A Vnější	
	A Vnitř	10,530		A Vnitř			A Vnitř	10,527		A Vnitř	
11	A Vnější	10,550		A Vnější		11	A Vnější	10,531		A Vnější	
	A Vnitř	10,538		A Vnitř			A Vnitř	10,532		A Vnitř	
12	A Vnější	10,539		A Vnější		12	A Vnější	10,521		A Vnější	
	A Vnitř	10,534		A Vnitř			A Vnitř	10,536		A Vnitř	

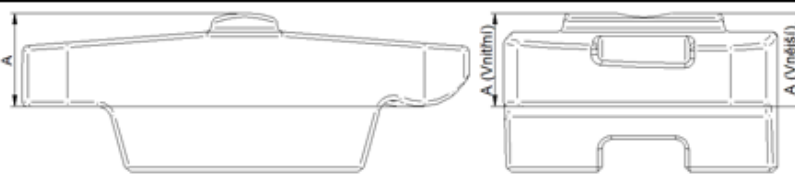
Rozměrový protokol vahadla

Název: RR + RP				Měřeno pomocí nového přípravku (opakované)							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RR)					Spodní sada (RP)						
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr	
1	A Vněj	10,539	13	A Vněj	10,530	1	A Vněj	10,522	13	A Vněj	10,527
	A Vnitř	10,518		A Vnitř	10,524		A Vnitř	10,502		A Vnitř	10,522
2	A Vněj	10,538	14	A Vněj	10,537	2	A Vněj	10,502	14	A Vněj	10,523
	A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,534		A Vnitř	10,514		A Vnitř	10,531
3	A Vněj	10,533	15	A Vněj	10,542	3	A Vněj	10,528	15	A Vněj	10,526
	A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,520
4	A Vněj	10,538	16	A Vněj	10,532	4	A Vněj	10,525	16	A Vněj	10,529
	A Vnitř	10,538		A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,511		A Vnitř	10,520
5	A Vněj	10,542	17	A Vněj	10,532	5	A Vněj	10,530	17	A Vněj	10,497
	A Vnitř	10,535		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,521		A Vnitř	10,501
6	A Vněj	10,539	18	A Vněj	10,537	6	A Vněj	10,528	18	A Vněj	10,525
	A Vnitř	10,533		A Vnitř	10,529		A Vnitř	10,519		A Vnitř	10,531
7	A Vněj	10,537		A Vněj		7	A Vněj	10,528		A Vněj	
	A Vnitř	10,531		A Vnitř			A Vnitř	10,526		A Vnitř	
8	A Vněj	10,548		A Vněj		8	A Vněj	10,530		A Vněj	
	A Vnitř	10,540		A Vnitř			A Vnitř	10,528		A Vnitř	
9	A Vněj	10,532		A Vněj		9	A Vněj	10,532		A Vněj	
	A Vnitř	10,532		A Vnitř			A Vnitř	10,524		A Vnitř	
10	A Vněj	10,539		A Vněj		10	A Vněj	10,528		A Vněj	
	A Vnitř	10,530		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	
11	A Vněj	10,549		A Vněj		11	A Vněj	10,533		A Vněj	
	A Vnitř	10,538		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	
12	A Vněj	10,539		A Vněj		12	A Vněj	10,519		A Vněj	
	A Vnitř	10,535		A Vnitř			A Vnitř	10,534		A Vnitř	

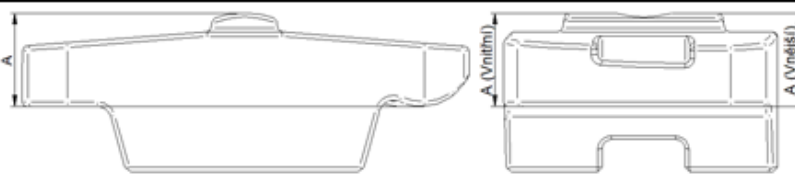
Rozměrový protokol vahadla

Název: RR + RP				Měřeno pomocí starého přípravku							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RR)				Spodní sada (RP)							
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr				
1	A Vněj	10,539	13	A Vněj	10,527	1	A Vněj	10,527	13	A Vněj	10,523
	A Vnitř	10,524		A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,508		A Vnitř	10,525
2	A Vněj	10,541	14	A Vněj	10,543	2	A Vněj	10,500	14	A Vněj	10,527
	A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,536		A Vnitř	10,521		A Vnitř	10,533
3	A Vněj	10,536	15	A Vněj	10,540	3	A Vněj	10,532	15	A Vněj	10,522
	A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,535		A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,520
4	A Vněj	10,547	16	A Vněj	10,539	4	A Vněj	10,523	16	A Vněj	10,532
	A Vnitř	10,545		A Vnitř	10,536		A Vnitř	10,515		A Vnitř	10,518
5	A Vněj	10,540	17	A Vněj	10,530	5	A Vněj	10,529	17	A Vněj	10,499
	A Vnitř	10,541		A Vnitř	10,536		A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,503
6	A Vněj	10,540	18	A Vněj	10,533	6	A Vněj	10,527	18	A Vněj	10,524
	A Vnitř	10,536		A Vnitř	10,528		A Vnitř	10,524		A Vnitř	10,534
7	A Vněj	10,535		A Vněj		7	A Vněj	10,528		A Vněj	
	A Vnitř	10,531		A Vnitř			A Vnitř	10,526		A Vnitř	
8	A Vněj	10,549		A Vněj		8	A Vněj	10,534		A Vněj	
	A Vnitř	10,547		A Vnitř			A Vnitř	10,525		A Vnitř	
9	A Vněj	10,532		A Vněj		9	A Vněj	10,536		A Vněj	
	A Vnitř	10,529		A Vnitř			A Vnitř	10,519		A Vnitř	
10	A Vněj	10,540		A Vněj		10	A Vněj	10,526		A Vněj	
	A Vnitř	10,531		A Vnitř			A Vnitř	10,532		A Vnitř	
11	A Vněj	10,555		A Vněj		11	A Vněj	10,535		A Vněj	
	A Vnitř	10,544		A Vnitř			A Vnitř	10,530		A Vnitř	
12	A Vněj	10,534		A Vněj		12	A Vněj	10,517		A Vněj	
	A Vnitř	10,538		A Vnitř			A Vnitř	10,539		A Vnitř	

Rozměrový protokol vahadla

Název: RP + RP				Měřeno pomocí nového přípravku							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RP1)				Spodní sada (RP2)							
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr				
1	A Vněj	10,531	13	A Vněj	10,534	1	A Vněj	10,534	13	A Vněj	10,532
	A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,528		A Vnitř	10,526		A Vnitř	10,525
2	A Vněj	10,524	14	A Vněj	10,530	2	A Vněj	10,518	14	A Vněj	10,529
	A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,519
3	A Vněj	10,520	15	A Vněj	10,539	3	A Vněj	10,532	15	A Vněj	10,530
	A Vnitř	10,517		A Vnitř	10,535		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,527
4	A Vněj	10,527	16	A Vněj	10,531	4	A Vněj	10,532	16	A Vněj	10,518
	A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,517		A Vnitř	10,526		A Vnitř	10,506
5	A Vněj	10,528	17	A Vněj	10,516	5	A Vněj	10,526	17	A Vněj	10,535
	A Vnitř	10,514		A Vnitř	10,502		A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,519
6	A Vněj	10,536	18	A Vněj	10,526	6	A Vněj	10,528	18	A Vněj	10,519
	A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,521
7	A Vněj	10,530		A Vněj		7	A Vněj	10,530		A Vněj	
	A Vnitř	10,528		A Vnitř			A Vnitř	10,519		A Vnitř	
8	A Vněj	10,537		A Vněj		8	A Vněj	10,532		A Vněj	
	A Vnitř	10,537		A Vnitř			A Vnitř	10,527		A Vnitř	
9	A Vněj	10,536		A Vněj		9	A Vněj	10,523		A Vněj	
	A Vnitř	10,537		A Vnitř			A Vnitř	10,530		A Vnitř	
10	A Vněj	10,529		A Vněj		10	A Vněj	10,522		A Vněj	
	A Vnitř	10,526		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	
11	A Vněj	10,538		A Vněj		11	A Vněj	10,535		A Vněj	
	A Vnitř	10,532		A Vnitř			A Vnitř	10,520		A Vnitř	
12	A Vněj	10,533		A Vněj		12	A Vněj	10,531		A Vněj	
	A Vnitř	10,526		A Vnitř			A Vnitř	10,530		A Vnitř	

Rozměrový protokol vahadla

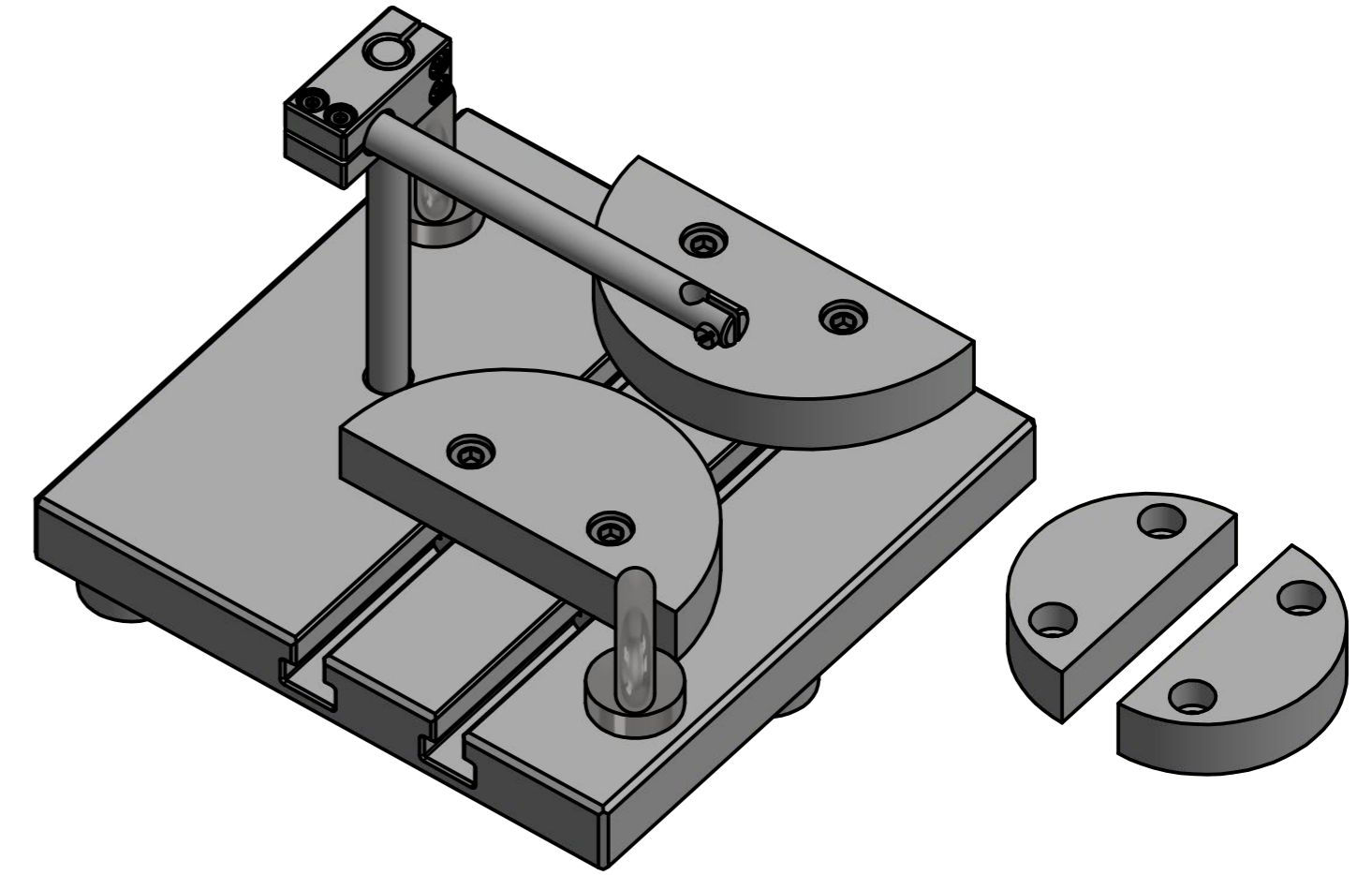
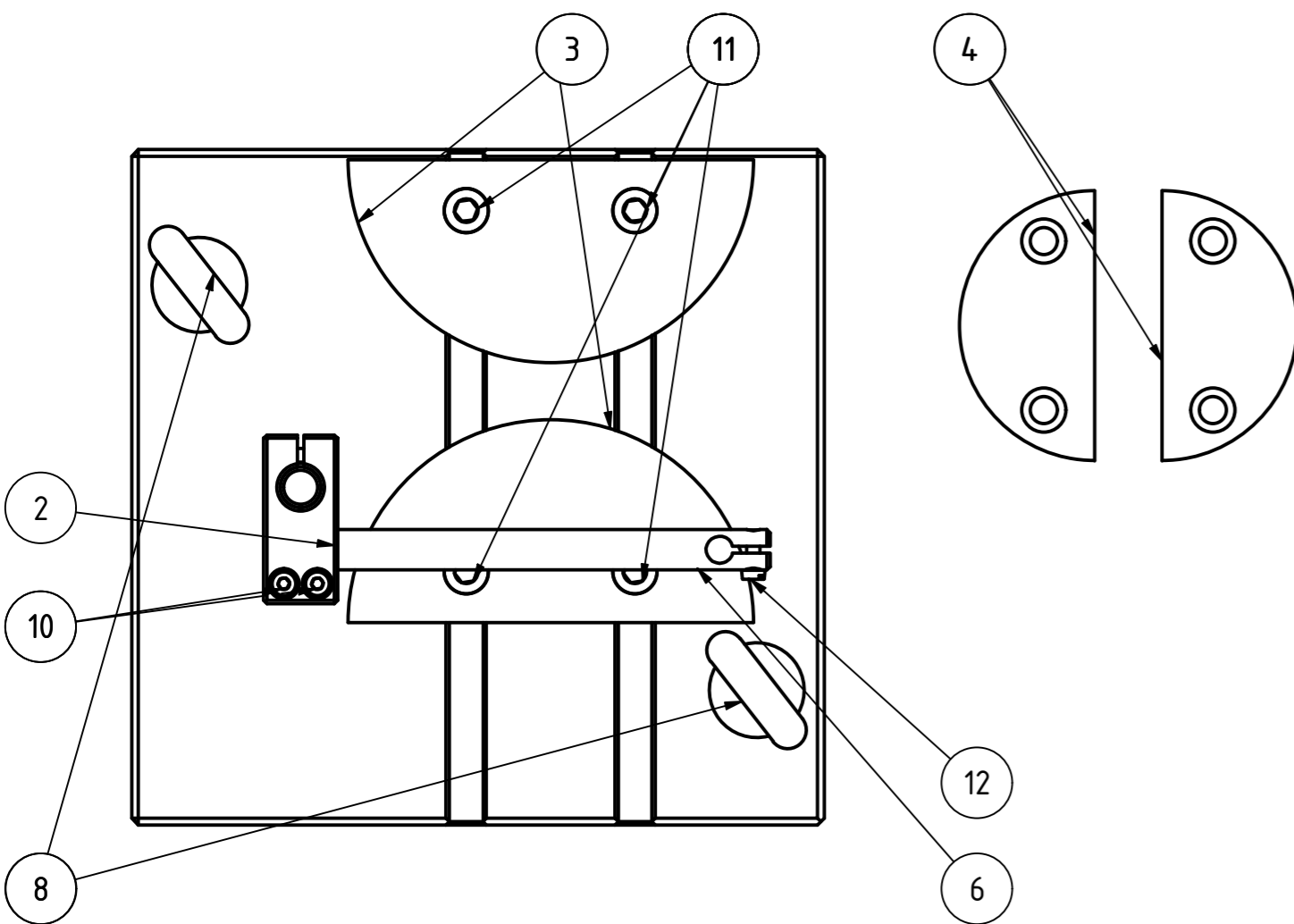
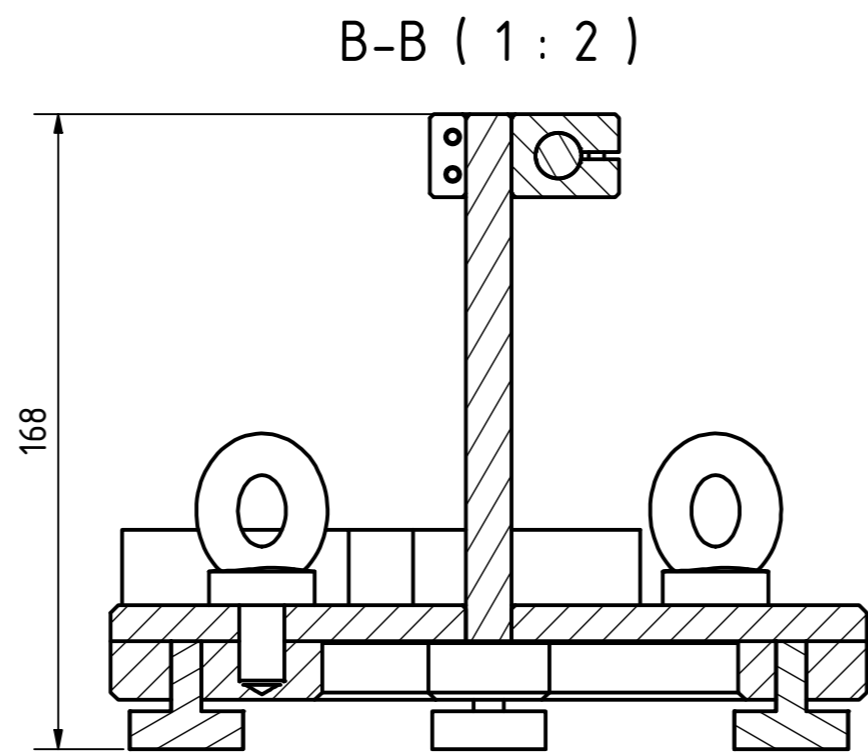
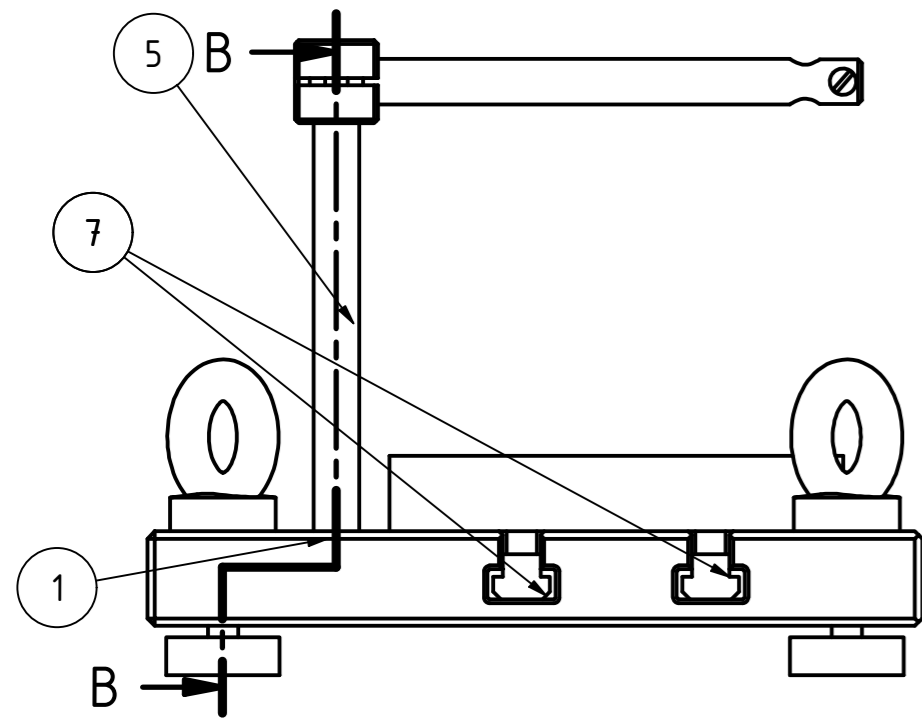
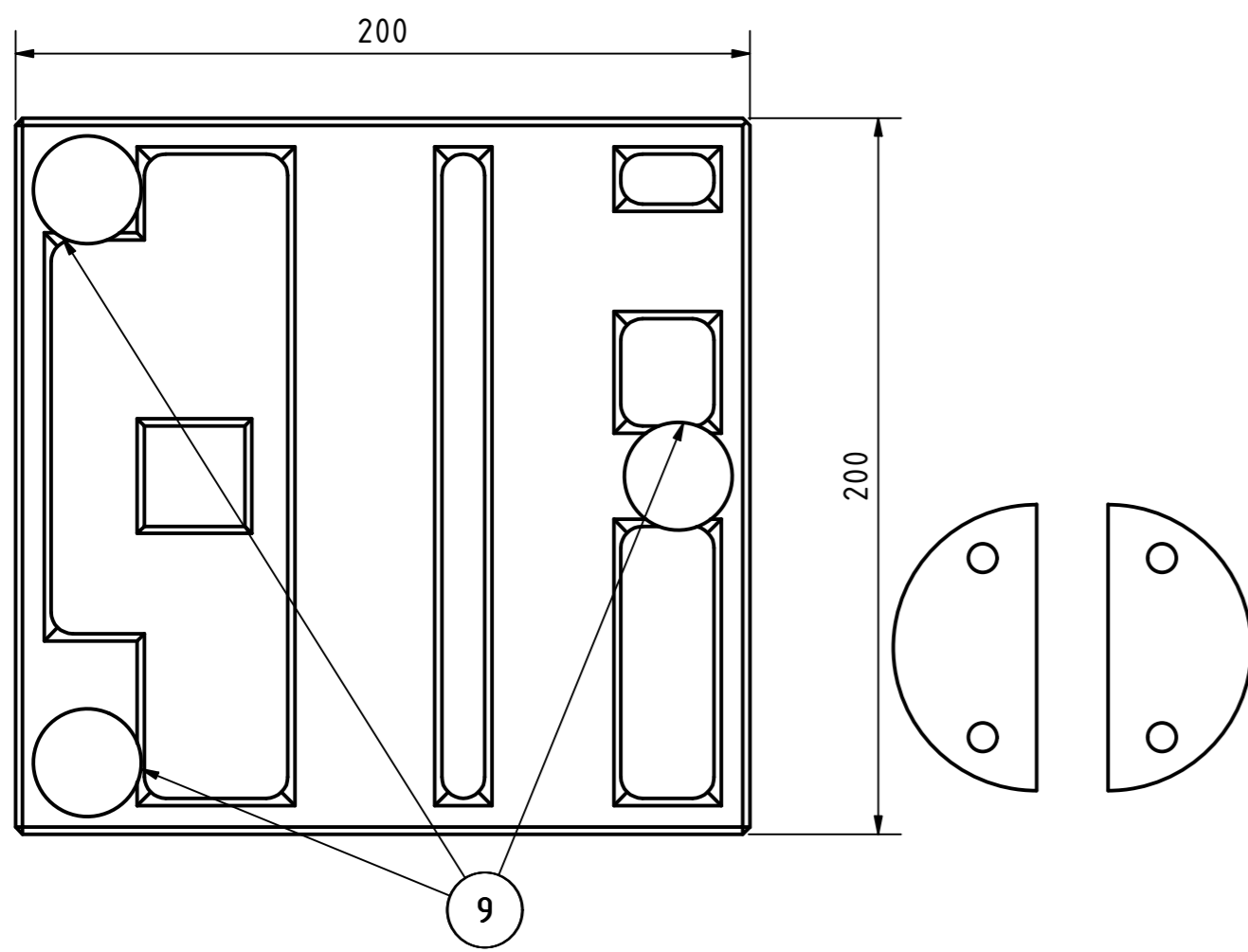
Název: RP + RP				Měřeno pomocí nového přípravku (opakované)							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RP1)					Spodní sada (RP2)						
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr	
1	A Vněj	10,530	13	A Vněj	10,534	1	A Vněj	10,534	13	A Vněj	10,531
	A Vnitř	10,524		A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,528		A Vnitř	10,525
2	A Vněj	10,523	14	A Vněj	10,528	2	A Vněj	10,519	14	A Vněj	10,531
	A Vnitř	10,521		A Vnitř	10,519		A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,519
3	A Vněj	10,520	15	A Vněj	10,539	3	A Vněj	10,532	15	A Vněj	10,531
	A Vnitř	10,517		A Vnitř	10,534		A Vnitř	10,529		A Vnitř	10,526
4	A Vněj	10,526	16	A Vněj	10,530	4	A Vněj	10,533	16	A Vněj	10,518
	A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,516		A Vnitř	10,525		A Vnitř	10,505
5	A Vněj	10,529	17	A Vněj	10,516	5	A Vněj	10,526	17	A Vněj	10,535
	A Vnitř	10,514		A Vnitř	10,504		A Vnitř	10,523		A Vnitř	10,518
6	A Vněj	10,535	18	A Vněj	10,525	6	A Vněj	10,530	18	A Vněj	10,520
	A Vnitř	10,526		A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,521		A Vnitř	10,522
7	A Vněj	10,530		A Vněj		7	A Vněj	10,530		A Vněj	
	A Vnitř	10,526		A Vnitř			A Vnitř	10,521		A Vnitř	
8	A Vněj	10,536		A Vněj		8	A Vněj	10,531		A Vněj	
	A Vnitř	10,535		A Vnitř			A Vnitř	10,526		A Vnitř	
9	A Vněj	10,536		A Vněj		9	A Vněj	10,523		A Vněj	
	A Vnitř	10,535		A Vnitř			A Vnitř	10,528		A Vnitř	
10	A Vněj	10,528		A Vněj		10	A Vněj	10,525		A Vněj	
	A Vnitř	10,524		A Vnitř			A Vnitř	10,527		A Vnitř	
11	A Vněj	10,539		A Vněj		11	A Vněj	10,533		A Vněj	
	A Vnitř	10,533		A Vnitř			A Vnitř	10,520		A Vnitř	
12	A Vněj	10,533		A Vněj		12	A Vněj	10,532		A Vněj	
	A Vnitř	10,526		A Vnitř			A Vnitř	10,530		A Vnitř	

Rozměrový protokol vahadla

Název: RP + RP				Měřeno pomocí starého přípravku							
Zakázka:		-									
Projekt:		Bakalářská práce									
A	10,5										
Horní sada (RP1)					Spodní sada (RP2)						
Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr		Kus	Reálný rozměr	
1	A Vněj	10,524	13	A Vněj	10,536	1	A Vněj	10,531	13	A Vněj	10,531
	A Vnitř	10,523		A Vnitř	10,522		A Vnitř	10,532		A Vnitř	10,528
2	A Vněj	10,517	14	A Vněj	10,532	2	A Vněj	10,523	14	A Vněj	10,522
	A Vnitř	10,527		A Vnitř	10,517		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,524
3	A Vněj	10,526	15	A Vněj	10,539	3	A Vněj	10,540	15	A Vněj	10,526
	A Vnitř	10,513		A Vnitř	10,529		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,531
4	A Vněj	10,531	16	A Vněj	10,527	4	A Vněj	10,533	16	A Vněj	10,514
	A Vnitř	10,523		A Vnitř	10,514		A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,507
5	A Vněj	10,533	17	A Vněj	10,520	5	A Vněj	10,522	17	A Vněj	10,530
	A Vnitř	10,510		A Vnitř	10,506		A Vnitř	10,526		A Vnitř	10,521
6	A Vněj	10,535	18	A Vněj	10,523	6	A Vněj	10,536	18	A Vněj	10,517
	A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,531		A Vnitř	10,530		A Vnitř	10,526
7	A Vněj	10,524		A Vněj		7	A Vněj	10,532		A Vněj	
	A Vnitř	10,523		A Vnitř			A Vnitř	10,526		A Vnitř	
8	A Vněj	10,535		A Vněj		8	A Vněj	10,529		A Vněj	
	A Vnitř	10,539		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	
9	A Vněj	10,533		A Vněj		9	A Vněj	10,532		A Vněj	
	A Vnitř	10,538		A Vnitř			A Vnitř	10,536		A Vnitř	
10	A Vněj	10,530		A Vněj		10	A Vněj	10,525		A Vněj	
	A Vnitř	10,527		A Vnitř			A Vnitř	10,522		A Vnitř	
11	A Vněj	10,536		A Vněj		11	A Vněj	10,537		A Vněj	
	A Vnitř	10,535		A Vnitř			A Vnitř	10,522		A Vnitř	
12	A Vněj	10,530		A Vněj		12	A Vněj	10,537		A Vněj	
	A Vnitř	10,524		A Vnitř			A Vnitř	10,529		A Vnitř	

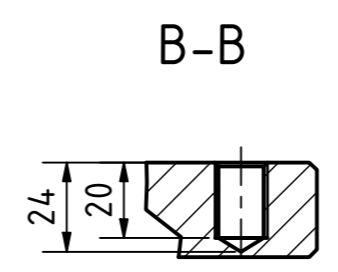
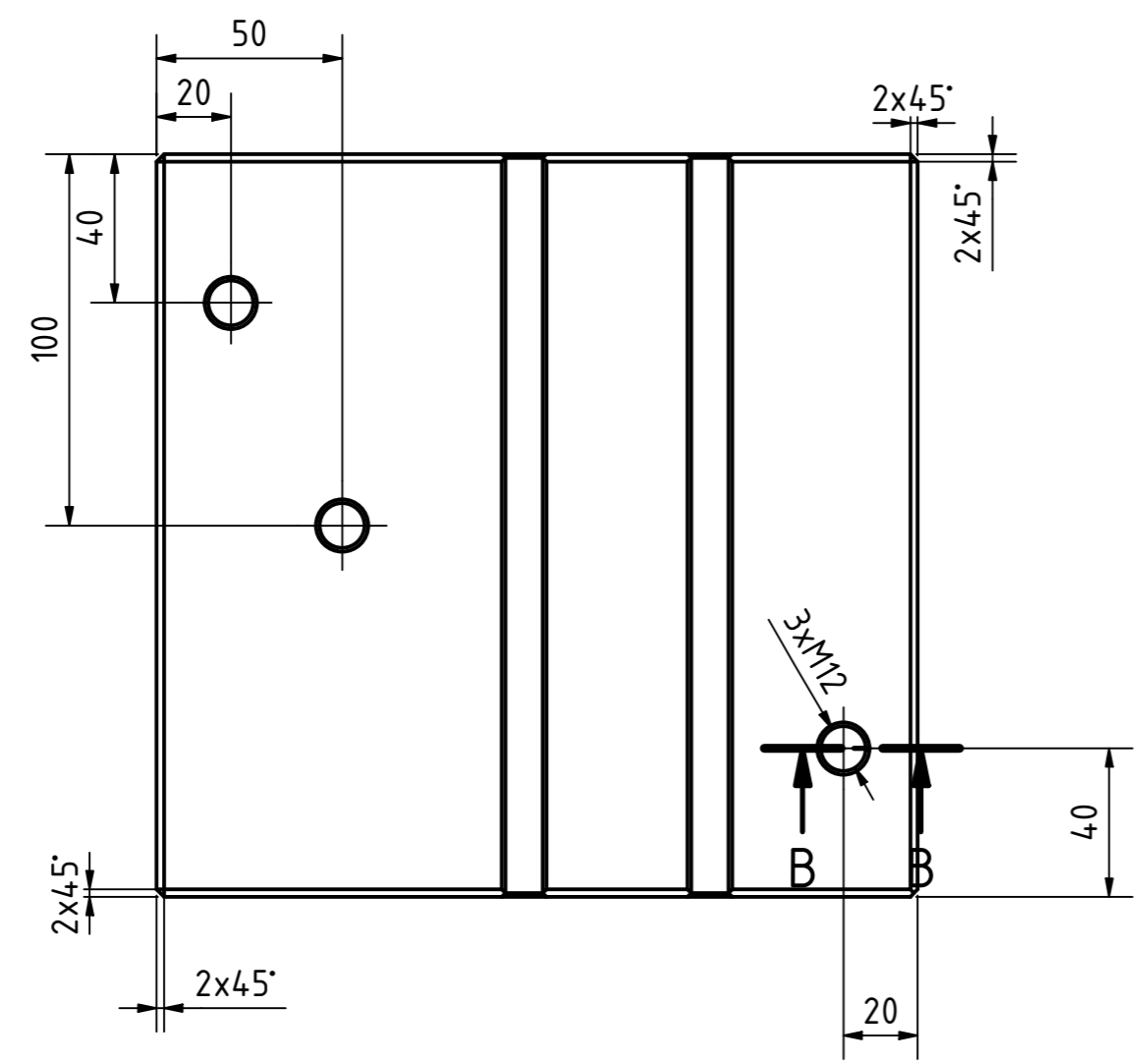
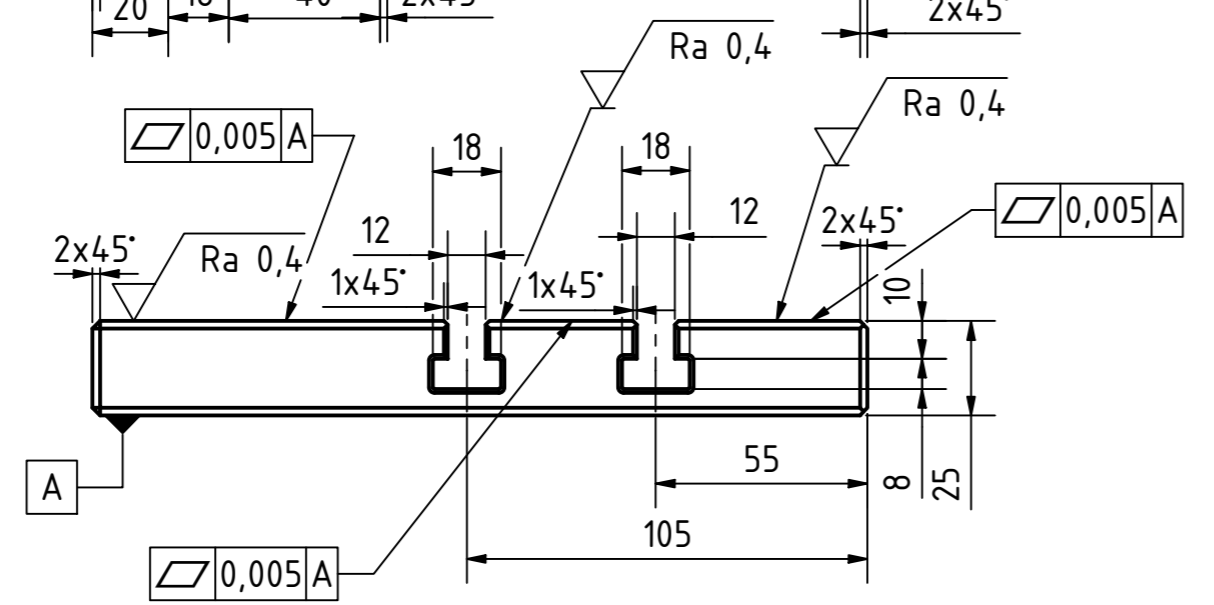
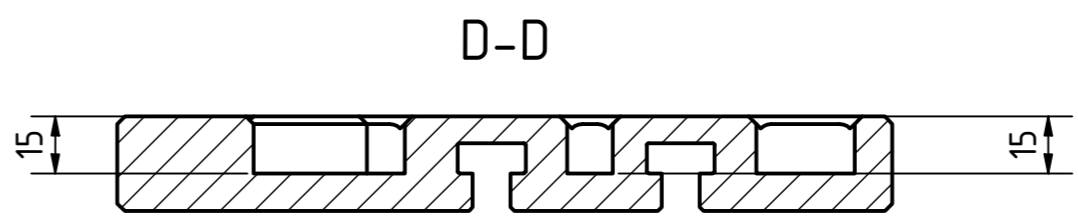
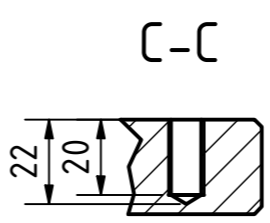
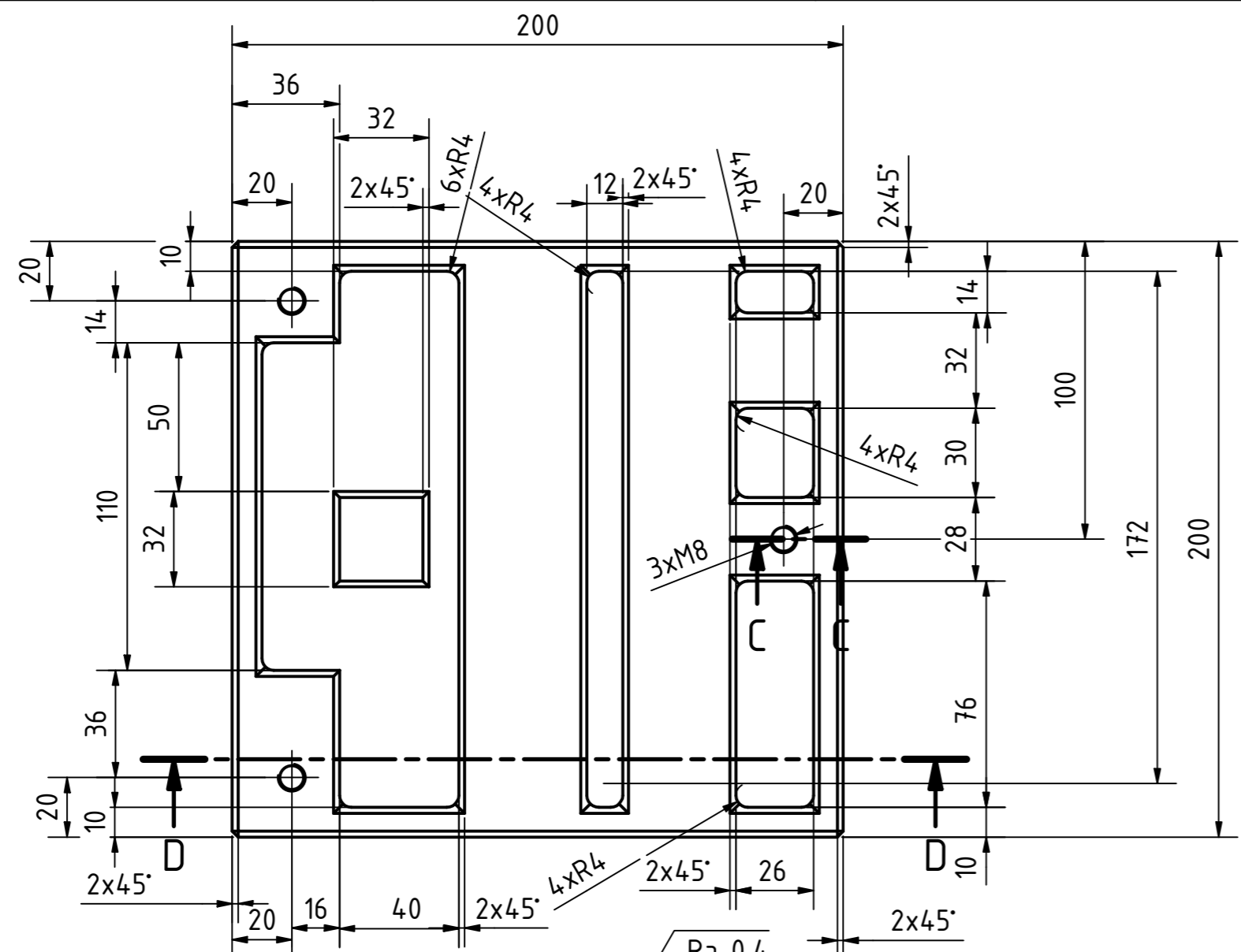
Příloha č.3

Výkresová dokumentace navrženého přípravku

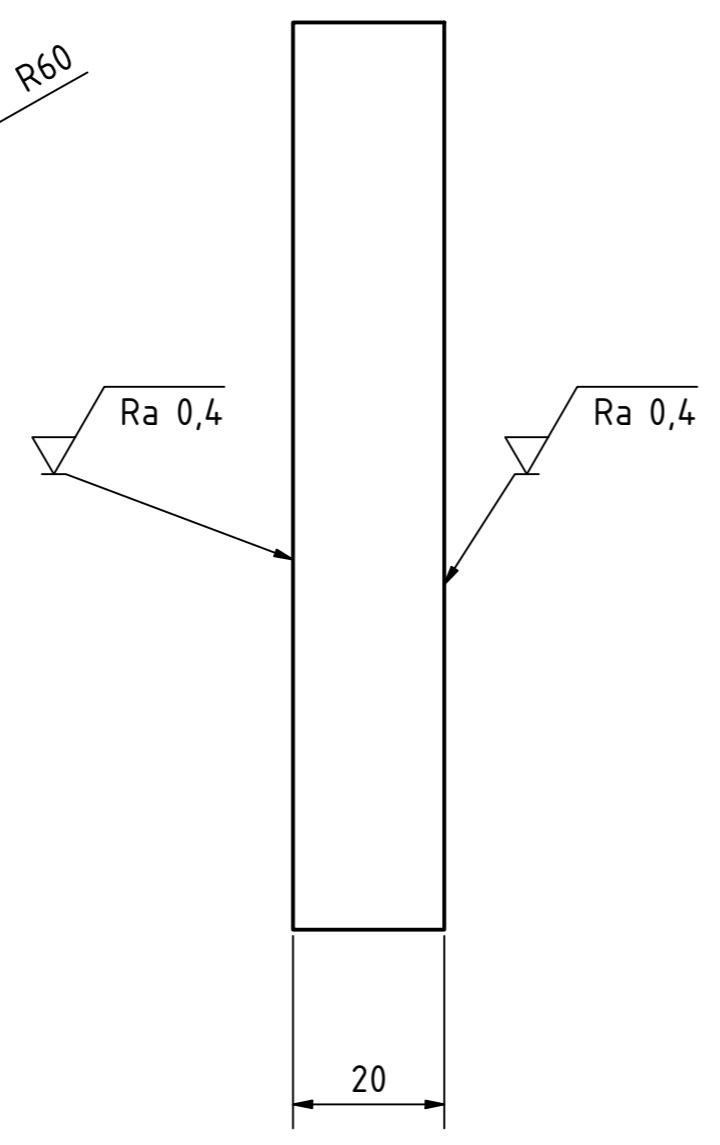
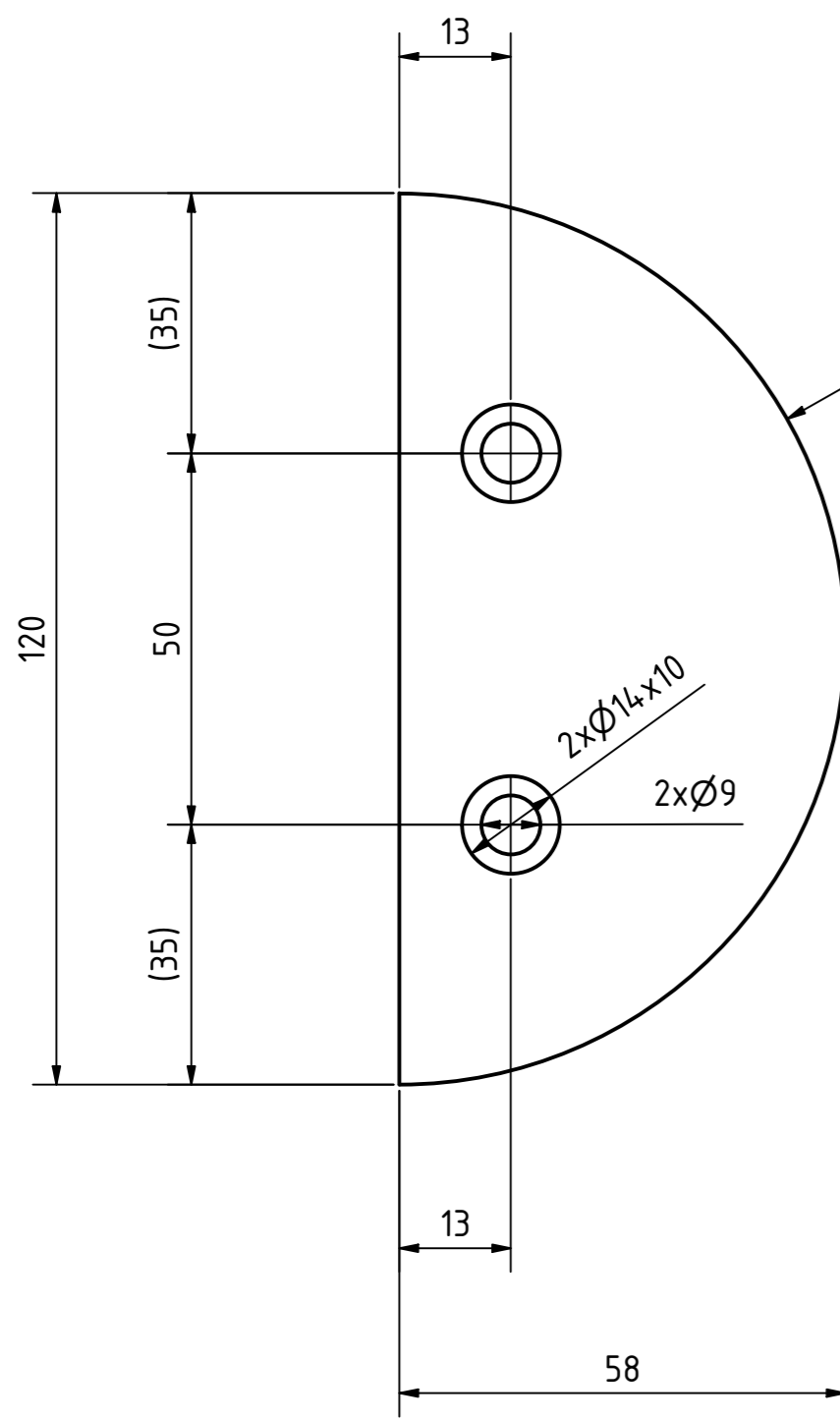


12	Šroub s válcovou hlavou M4 x 12	Nakupovaný díl		Ocel třídy 12	1
11	Šroub s válcovou hlavou M8x25	Nakupovaný díl		Ocel třídy 12	4
10	Šroub s válcovou hlavou M4x16	Nakupovaný díl		Ocel třídy 12	4
9	Nožička	Nakupovaný díl		Ocel třídy 17	3
8	Šrouby s okem a nákrůžkem M12	Nakupovaný díl		Ocel C15	2
7	T-matice	Nakupovaný díl		Ocel třídy 10	4
6	Tyč s dírou		PR-P-0075-06^00	Ocel hlazenka 11 109	1
5	Tyč se závitem		PR-P-0075-05^00	Ocel hlazenka 11 109	1
4	Půlkruh malý	Díl volně přiložený	PR-P-0075-04^00	Ocel 16 343	2
3	Půlkruh velký		PR-P-0075-03^00	Ocel 16 343	2
2	Krychle		PR-P-0075-02^00	Ocel S355	1
1	Deska		PR-P-0075-01^00	Ocel S355JR	1
POLOŽKA	NÁZEV SOUČÁSTI	POPIS	ČÍSLO VÝKRESU	MATERIÁL	KS

		Datum	Jméno	Číslo výkresu:	
		Nakreslen	12. 2. 2020	Zdeněk	PR-P-0075-00^00
		Zkontrolován			
		Norma			
				Sestava do výkresu	
				1	
				A2	
Stav	Změny	Datum	Jméno		

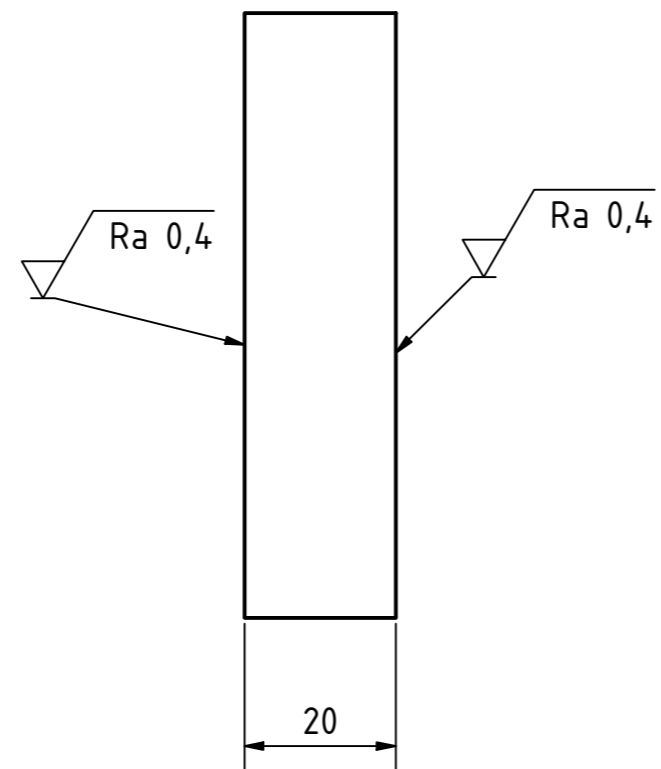
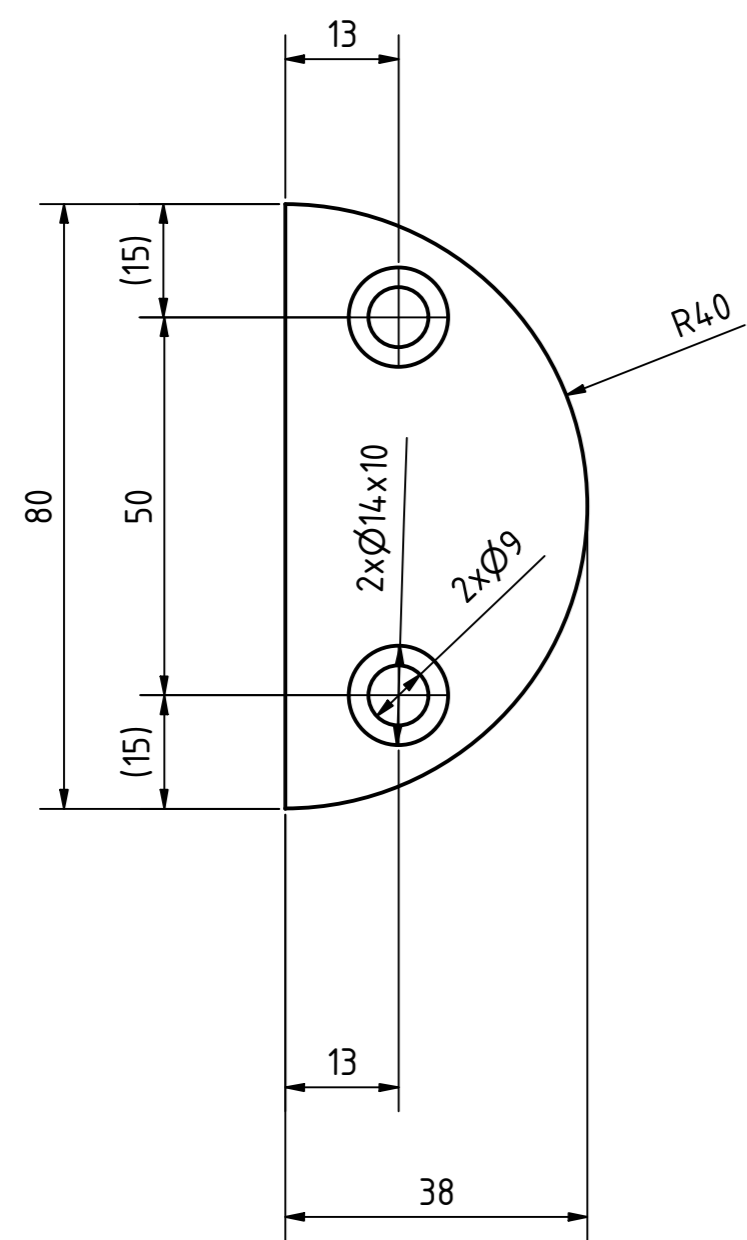


				Materiál: Ocel S355JR	
		Datum		Jméno	
		11. 2. 2020		Zdeněk	
		Nakreslen		Zkontrolován	
		Norma			
				Číslo výkresu:	
				PR-P-0075-01^00	
				Deska	
				1	
				A2	
Stav	Změny	Datum	Jméno		



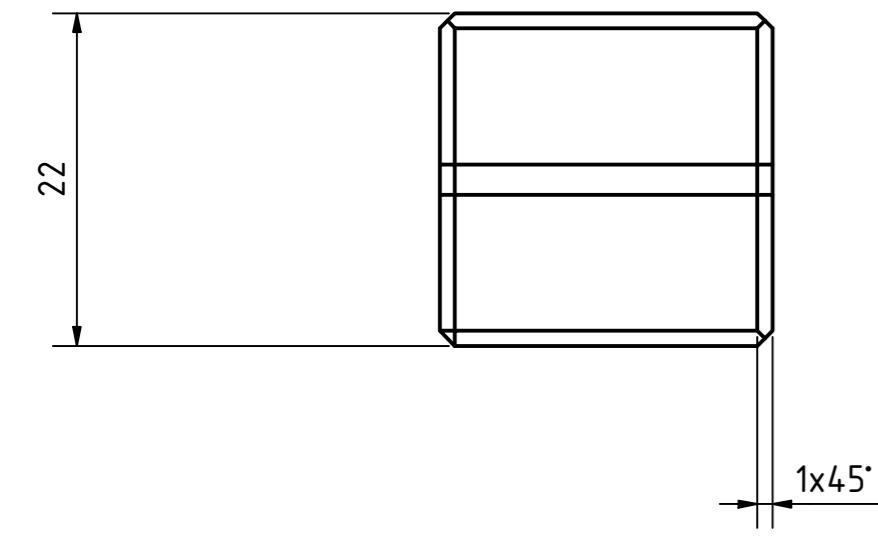
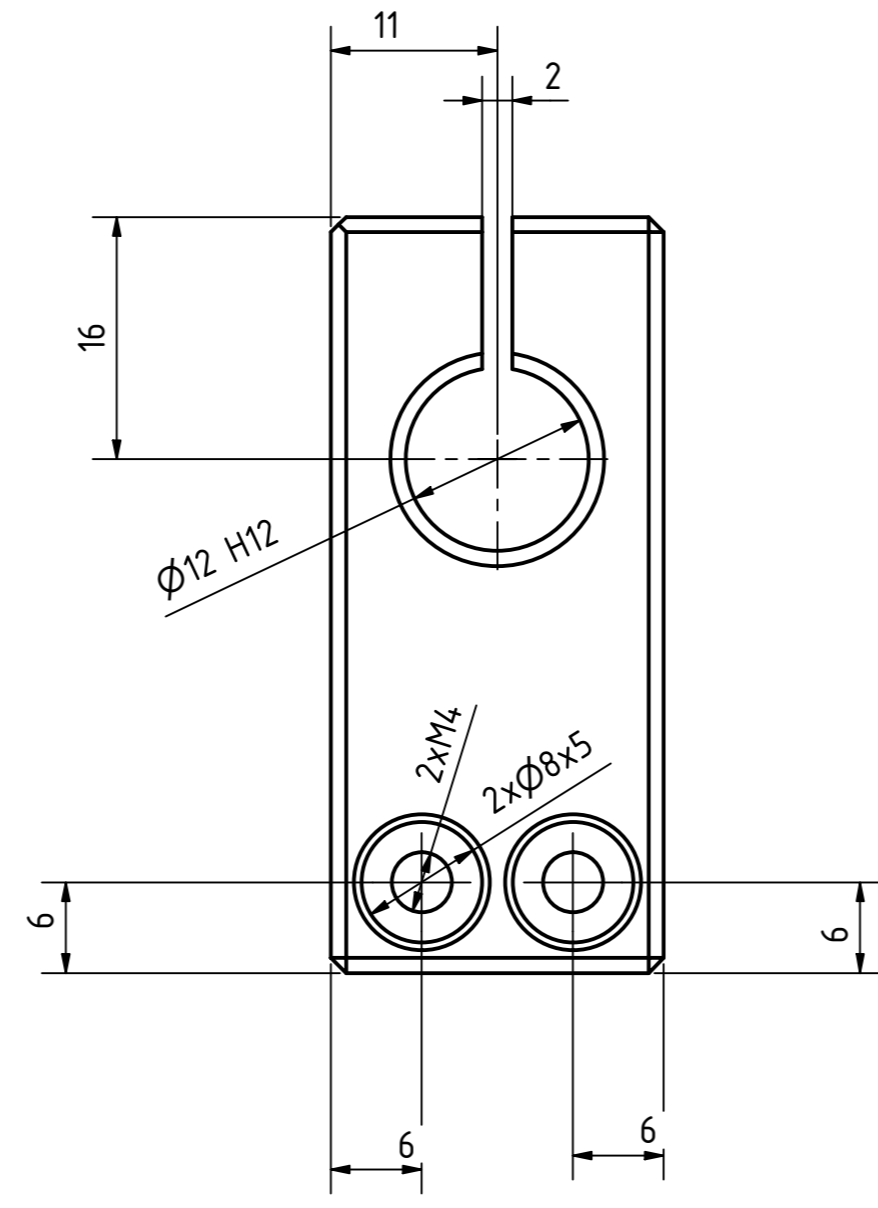
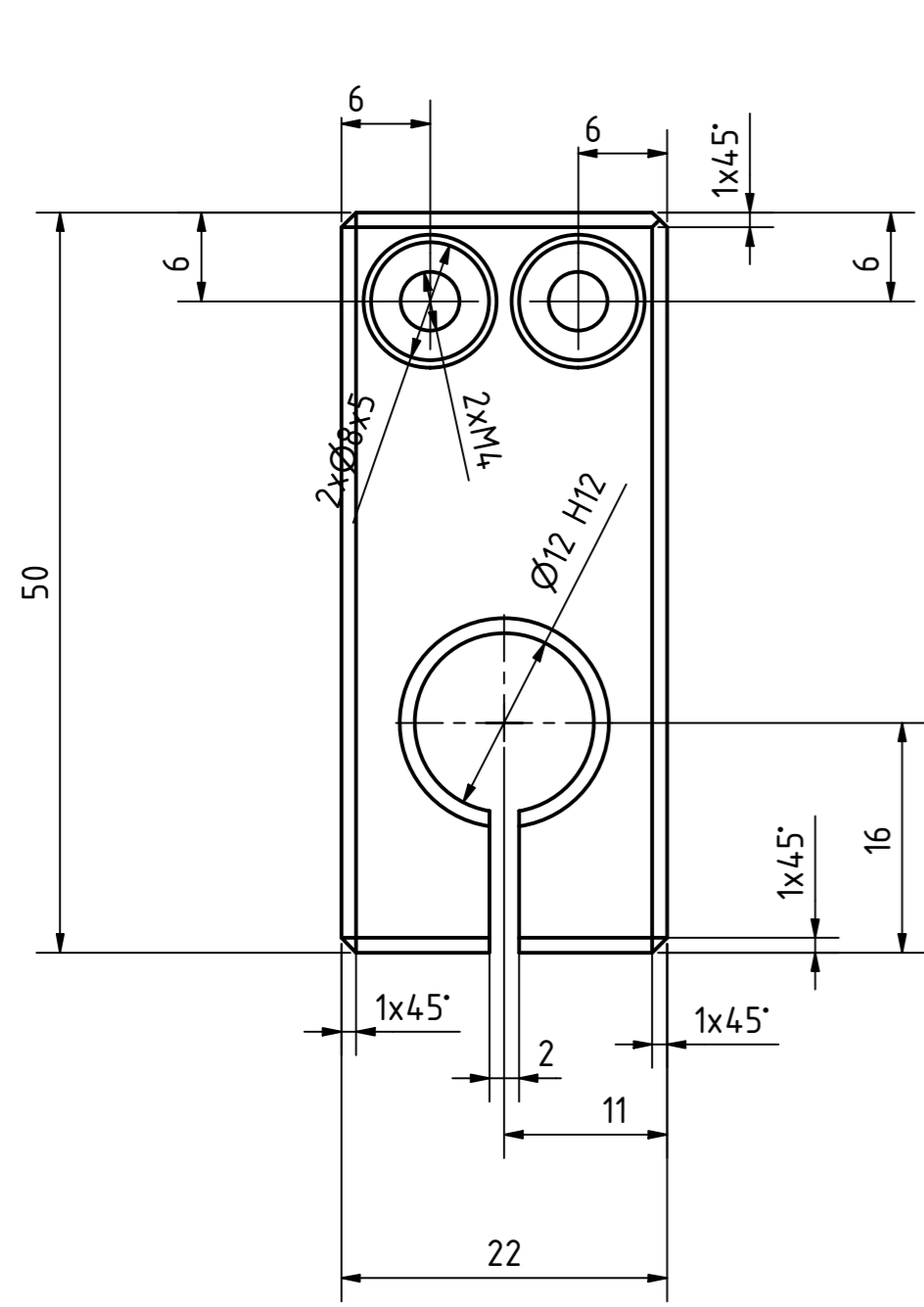
Neokótované hrany sraženy na 0,3x45°

						Materiál: Ocel 16 343	
			Datum	Jméno	Číslo výkresu:		
		Nakreslen	11. 2. 2020	Zdeněk	PR-P-0075-03 [^] 00		
		Zkontrolovan			Půlkruh 1		
		Norma					1
							A2
Stav	Změny	Datum	Jméno				



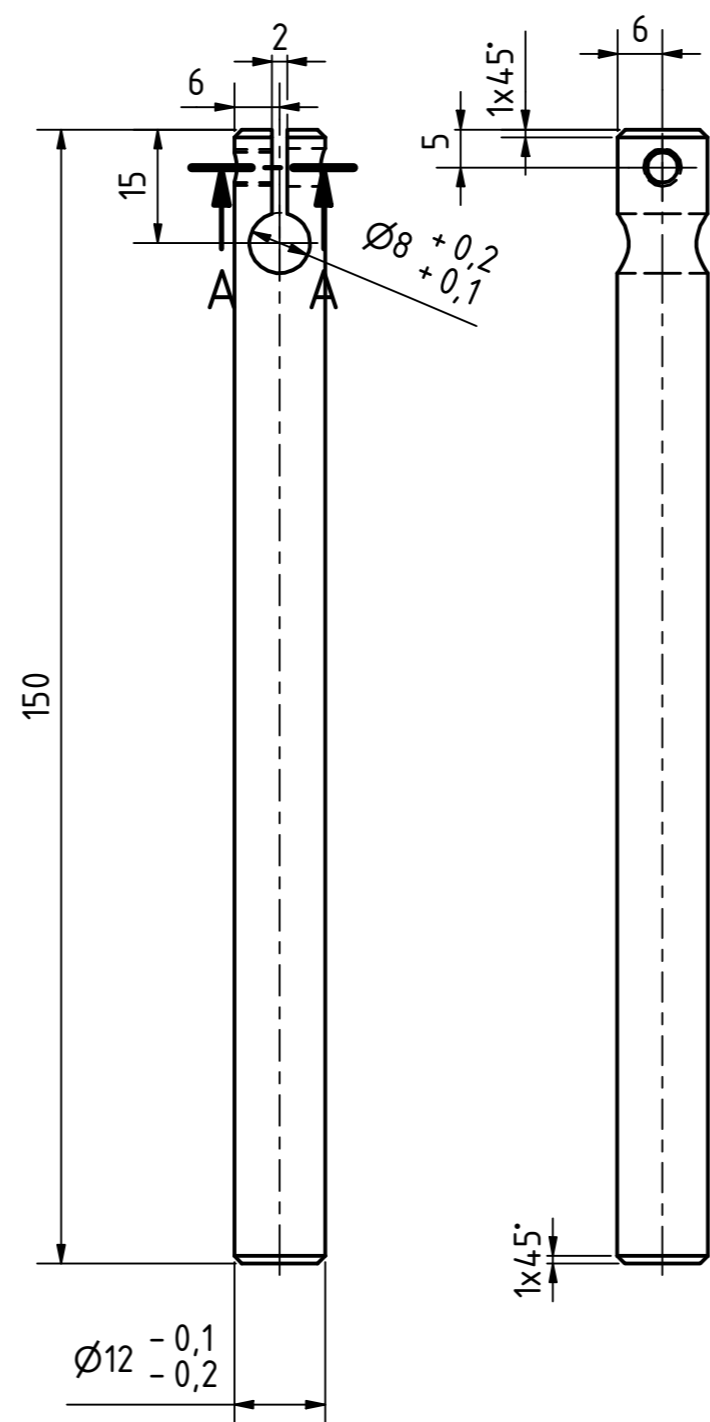
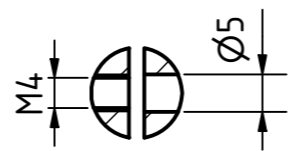
Nekótované hrany sražené na 0,3x45°

						Materiál: Ocel 16 343	
				Datum	Jméno	Číslo výkresu:	
				Nakreslen 11. 2. 2020	Zdeněk	PR-P-0075-04 [^] 00	
				Zkontrolován		Půlkruh 2	
				Norma		1	
						A2	
Stav	Změny	Datum	Jméno				

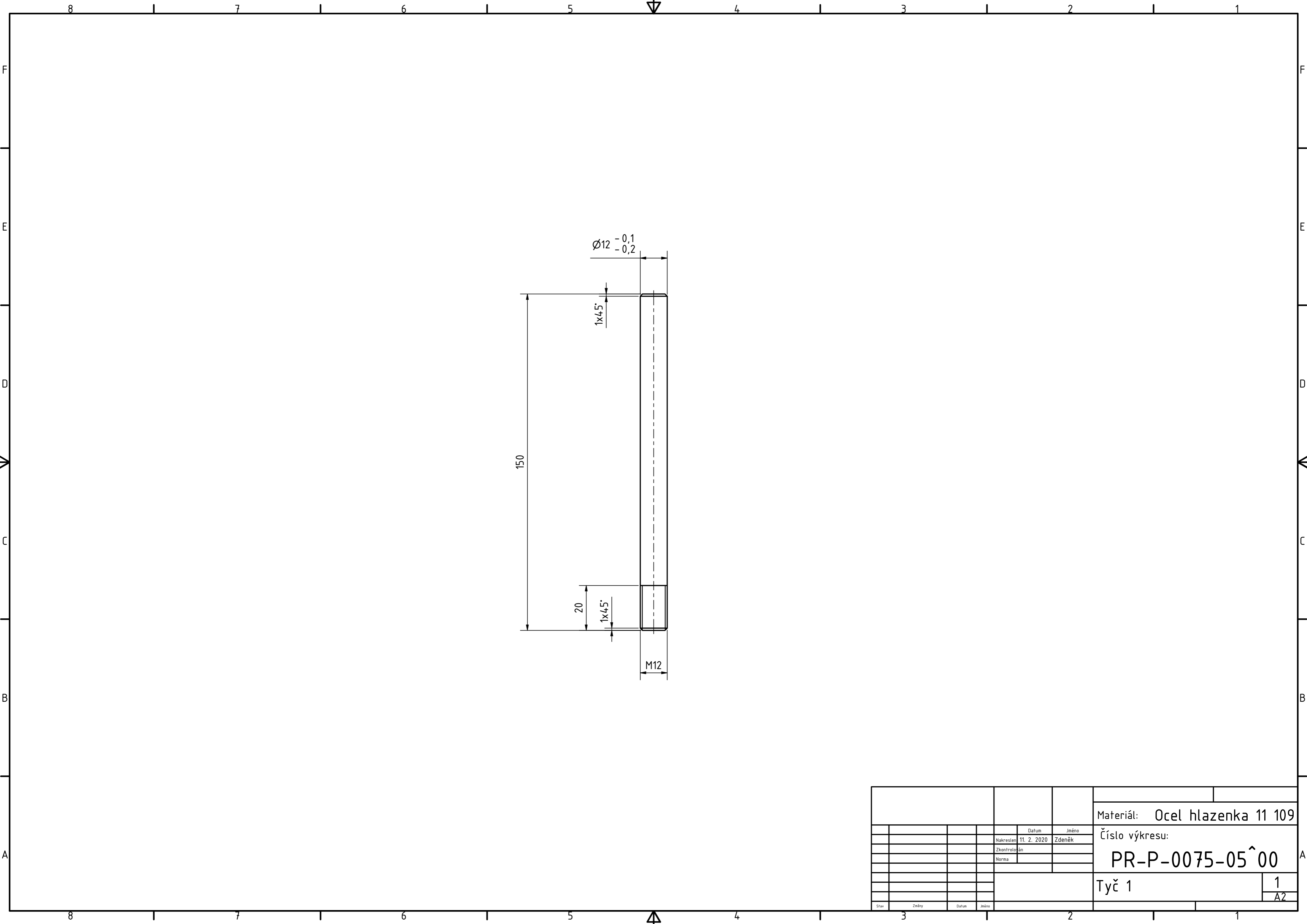


				Materiál: S355	
		Datum	Jméno	Číslo výkresu:	
	Nakreslen	11. 2. 2020	Zdeněk	PR-P-0075-02 [^] 00	
	Zkontrolován				
	Norma				
				Krychle	1
Stav	Změny	Datum	Jméno	A2	

A-A



				Materiál: Ocel hlazenka 11 109	
		Datum	Jméno	Číslo výkresu:	
	Nakresil	11. 2. 2020	Zdeněk	PR-P-0075-06 [^] 00	
	Zkontroloval			Tyč s dírou	
	Norma			1	
				A2	
Stav	Změny	Datum	Jméno		



				Materiál: Ocel hlazenka 11 109		
		Datum	Jméno	Číslo výkresu: PR-P-0075-05[^]00		
		Nakreslen	11. 2. 2020			Zdeněk
		Zkontrolován				
		Norma				
				Tyč 1		
				1	A2	
Stav	Změny	Datum	Jméno			