



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

# NÁVRH UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ V RECIPROČNÍM MODULU TRIBOMETRU

DESIGN OF RECIPROCAL MODULE FIXTURE FOR WEAR AND FRICTION MEASUREMENTS IN  
TRIBOMETER

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Zeman

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kryštof Dočkal

BRNO 2020



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	<b>Petr Zeman</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Kryštof Dočkal</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Návrh upínacího přípravku pro měření tření a opotřebení v recipročním modulu tribometru**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Důležitým krokem přípravy pro měření tření a opotřebení na zařízení Bruker TriboLab je fixace vzorků jejichž rozměry se často liší kus od kusu. Výrobce neposkytuje vyhovující řešení které by umožnilo upínat vzorky při testech a zároveň nabízelo kompenzaci proměnlivé geometrie jednotlivých vzorků. V současnosti je upnutí řešené sadou podložek, což je zdlouhavé. Nový přípravek by měl zkrátit upínací čas na přijatelnou dobu max. 10 min., zlepšit ovladatelnost zařízení a opakovatelnost upnutí.

Typ práce: vývojová – konstrukční

**Cíle bakalářské práce:**

Hlavním cílem práce je návrh více konceptů upínacího přípravku na základě komerčně dostupných řešení a jejich následná optimalizace pro zařízení Bruker TriboLab s výstupem v podobě modelu a výrobní dokumentace.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat provozní parametry při kterých bude přípravek používán,
- návrh mechanismu kompenzace rozdílné geometrie vzorků,
- návrh zásobníku oleje,
- návrh vyhřívání vzorku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske--studium--ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

STACHOWIAK, Gwidon W. a Andrew BATCHELOR. Engineering tribology. 3rd ed. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 978-0-7506-7836-0.

KIM, Jong-Su, Hongseok YOUN a Bongchul KANG. Ultra-precision 3 DOF tilting stage for workpiece setup of scalable micro-pattern machining. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing [online]. 2017, 18(8), 1103-1109 [cit. 2019-10-29]. DOI: 10.1007/s12541-017-0129-x. ISSN 2234-7593. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12541-017-0129-x>.

ASTM G133-05. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. West Conshohocken: ASTM International, 2016.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato práce řeší návrh upínacího přípravku pro upínání plošných vzorků do recipročního modulu tribometru. Upínač je konstruován pro kompenzaci tvarových odchylek vzorků naklápěním ve dvou osách v malém rozsahu. Cíl byl naplněn, mechanismus naklápění je vyřešen rotací kulové plochy. Přípravek je dostatečně tuhý a bylo dosaženo lepší ovladatelnosti a opakovatelnosti upnutí. Práce obsahuje přehled komerčně dostupných metod upnutí, jejich zhodnocení a popis konstrukce vlastního přípravku, který zjednodušuje upnutí rozdílně velkých vzorků do recipročního modulu tribometru UMT TriboLab.

## KLÍČOVÁ SLOVA

naklápěcí upínač, tribometr, reciproční modul, návrh přípravku

## ABSTRACT

The thesis deals with design of a clamping fixture for fastening surface samples for the reciprocating drive of the tribometer. The fixture is designed to compensate for shape deviations of the samples by tilting in two axes in a small range. The objective has been fulfilled, the tilting mechanism is achieved by rotating the spherical surface. The fixture is sufficiently rigid. It has been achieved of better user experience and repeatability of clamping. The paper contains an overview of commercially available clamping methods, their evaluation and description of the construction of the newly designed device, which simplifies the clamping of uniquely shaped samples for the reciprocating drive of the UMT TriboLab tribometer.

## KEYWORDS

tilting fixture, tribometer, reciprocating drive, design of fixture



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZEMAN, Petr. *Návrh upínacího přípravku pro měření tření a opotřebení v recipročním modulu tribometru*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125117>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. Kryštof Dočkal.



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Kryštofu Dočkalovi za odborné vedení mé práce, cenné rady a připomínky při konzultacích. Dále děkuji mé rodině za podporu během celého studia.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Kryštofa Dočkala. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
2.1	UMT TriboLab	14
2.2	Testování na recipročním modulu	15
2.2.1	Ball-on-plate metoda	16
2.2.2	Testování abrazivního opotřebení	16
2.3	Upínací přípravky	17
2.3.1	Otočně sklopný stůl	17
2.3.2	Dvouosý svěrák	17
2.3.3	Uložení na sférických podložkách	18
2.3.4	Kulový kamerový držák	19
2.3.5	Křížový kamerový držák	20
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>21</b>
3.1	Analýza problému	21
3.1.1	Reciproční modul	21
3.2	Specifikace parametrů navrhovaného přípravku	22
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>23</b>
4.1	Upínání na kulové ploše (koncept 1)	23
4.2	Plošina na kulových podložkách (koncept 2)	24
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>31</b>
9.1	Zkratky	31
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>33</b>



# 1 ÚVOD

Vědní obor tribologie se zabývá procesy ve styku dvou materiálů při jejich vzájemném pohybu. Těmito procesy jsou tření, mazání a opotřebení. Ke studiu těchto procesů se využívá přístroje nazvaného tribometr, který dokáže podle konkrétního provedení zkoumat jak tření materiálů, tak například tloušťku mazacího filmu v kontaktu. Zkoumáním těchto procesů dokážeme získat lepší informace o reálném chování v kontaktu. Cílem je snižování energetických ztrát a prodloužení životnosti součástí, tím dosažení lepší ekonomické situace. Tribologie je rychle se rozvíjející vědou, která si do dnešní doby našla uplatnění téměř v každém moderním průmyslovém odvětví.

Toto téma je řešeno za účelem rozšíření schopností tribometru UMT TriboLab (Bruker) v laboratořích Ústavu konstruování na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně. Hlavním cílem je zjednodušení procesu upnutí vzorků a tím i zkrácení času přípravy jednotlivých vzorků. Výrobce nenabízí komerčně dostupné řešení, které by řešilo kompenzaci proměnlivé geometrie jednotlivých vzorků. Geometrie vzorků je tímto omezena. Vzorek musí mít dvě paralelní plochy, aby se dal jednoduše upnout v rovině upínací desky a tím zůstala zachována horizontálnost horní testované plochy. Tato rovinnost je důležitá pro dodržení konstantní normálové síly vyvozené osou z na upínaný vzorek. Při nerovnoběžnosti testované plochy s rovinou, v níž reciproční modul osciluje, budeme při měření pozorovat změny ve velikosti normálové zátěžné síly, což je nežádoucí.

V současné době je upnutí vzorků do správné pozice řešené pomocí originálního upínače a do něj vkládanými podložkami různé tloušťky. To je zdlouhavé a časově náročné. Proto se tato práce věnuje návrhu nového jednoúčelového upínače schopného rychle a jednoduše upínat i neparalelní plošné vzorky.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Tribologie je vědní obor zabývající se třením, opotřebením a mazáním při vzájemném styku povrchů v relativním pohybu. Tribologie je poměrně novým pojmem, který široká veřejnost stále nezná. Přestože má tato věda již dlouhou historii, dlouho se nedařilo vědecky vysvětlit její základní mechanismy. Největšího rozvoje se dočkala až technologickým pokrokem vynuceným druhou světovou válkou. [1]

### 2.1 UMT TriboLab

TriboLab je univerzální systém umožňující měřit tření a opotřebení pevných materiálů a kapalin. Široký záběr použití přístroje je umožněn jeho velkým silovým a rychlostním rozsahem a také řadou výměnných horních i dolních modulů. Tyto moduly lze snadno vyměňovat a vytvořit tak specifické testovací podmínky perfektně simulující reálnou aplikaci. Horními moduly jsou testovací sondy vybavené senzory snímajícími velikost síly a kroutícího momentu, spodní základna může být osazena pohony simulujícími rotační, lineární nebo oscilační pohyb. Uživatelské rozhraní je zajištěno na připojeném počítači. Je jedním z nejrozšířenějších a nejuniverzálnějších tribometrů na trhu.

V následující části této kapitoly se nachází popis testování na samotném recipročním modulu tribometru, poté následuje výčet možností umožňujících polohování součásti v prostoru.

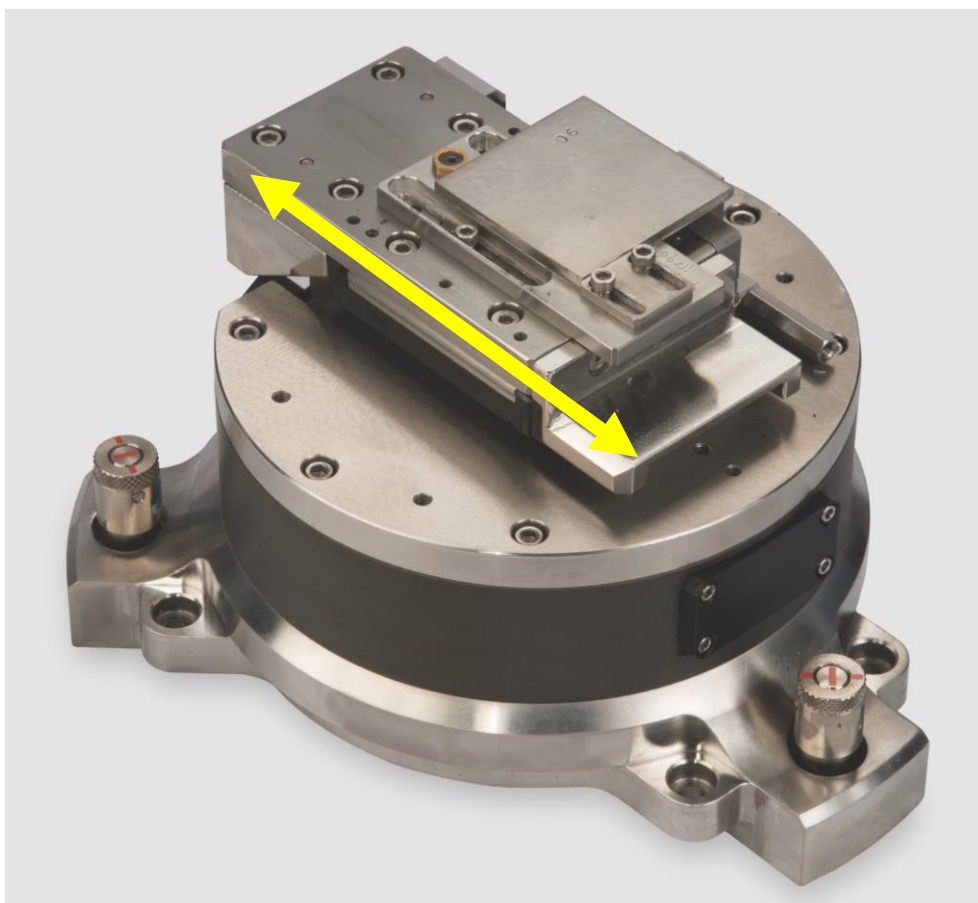


Obr. 2-1 Tribometr UMT TriboLab s jeho čtyřmi výměnnými pohony [2]

## 2.2 Testování na recipročním modulu

Tento modul je navržen pro simulaci lineárního oscilačního pohybu, je to jeden ze čtyř modulů sestavených pro tribometr TriboLab. Reciproční modul obsahuje vestavěný LVDT senzor snímající pozici, a stůl obsahující více než dvacet závitových děr, umožňující upnout rozličně velké vzorky. Jediný servomotor pohání stůl se vzorky pomocí řemenu, kladek a spojky. Rotační pohyb hnací hřídele motoru je pomocí spojovací tyče propojené se stolem modulu změněn na pohyb lineární. Zdvih lze nastavit pouze ručně, a to za pomoci stavěcího šroubu měnícího excentricitu spojovací tyče. Modul lze do tribometru umístit velice rychle za použití třech vestavěných rychloupínek, bez nutnosti použití jakéhokoli nářadí. Při tomto spojení je současně připojena veškerá elektronika, sensorika a předána informace o připojeném modulu do řídicí jednotky stroje. [3]

Modul je vhodný pro metodu ball-on-plate, pin-on-plate, a testování abrazivního opotřebení. K tomuto modulu výrobce nabízí několik nadstavbových komor pro simulaci různých podmínek při testování. Jmenovitě je to komora pro teploty do 400 °C, komora pro teploty do 1 000 °C, chladič komora a komora pro úpravu vzdušné vlhkosti.



**Obr. 2-2** Reciproční modul pro UMT TriboLab s originálním upínačem, žlutě směr oscilace [2]

### 2.2.1 Ball-on-plate metoda

Tato metoda je navržena pro simulaci pohybu dvou těles, která se o sebe periodicky třou. Dochází zde k cyklicky se opakujícímu smykovému tření mezi vzorky v relativním přímočarém pohybu tam a zpátky po stejné dráze. Zkoumaný materiál je tvaru válce s kulovým zakončením. Měřenými veličinami jsou objemový úbytek kulového vzorku, deskového vzorku nebo dynamický koeficient tření. [4]

### 2.2.2 Testování abrazivního opotřebení

Abrazivní opotřebení vzniká kontaktem mezi pevným materiálem a částicí o stejné nebo větší tvrdosti. Jde o úbytek materiálu způsobený pohybem tvrdých částic po jeho povrchu. Tento mechanismus opotřebení dokáže velice rychle degradovat součást a způsobit její zničení. Abraze se dá potlačit použitím tvrdého materiálu nebo použitím tvrdého povlaku na povrchu součásti. [1]

Pro všechny testy je kritické tuhé a stabilní upnutí vzorku, které při spojení s přesným měřením a znalostí problematiky dokáže poskytnout spolehlivé výsledky.

## 2.3 Upínací přípravky

Pro upnutí dílů, které nejdou uspokojivě upnout ve strojním svěráku, nebo ani za pomoci modulárních upínacích prvků se často vytváří speciální upínací zařízení. Specifický přípravek se vyplatí vyrobit především v sériové výrobě, kde se jeho počáteční cena rozdělí na velké množství produktů, nebo tam, kde pomáhá rapidně zvýšit produktivitu.

### 2.3.1 Otočně sklopný stůl

Otočně sklopné stoly se používají především v obráběcích centrech jako 4. a 5. osa, kde umožňují tuhé upnutí a obrobení i tvarově náročných obrobků. Z toho také vyplívá jejich vysoká hmotnost a velké zástavbové rozměry. Stoly tohoto typu umožňují naklápění pouze v jedné ose a také se nevyrábějí v dostatečně malém provedení, aby byly použitelné v této aplikaci.

### 2.3.2 Dvouosý svěrák

Nejběžnější dostupná varianta dvouosého naklápění, dostatečně tuhá, umožňuje dosáhnout velké rozsahy naklápění až 45° v první ose, a 30° v druhé ose. Nastavení úhlu je ale možné pouze manuálním naladěním na dané stupnici. Není také komerčně dostupný v rozumně malém provedení použitelném na daném recipročním modulu.

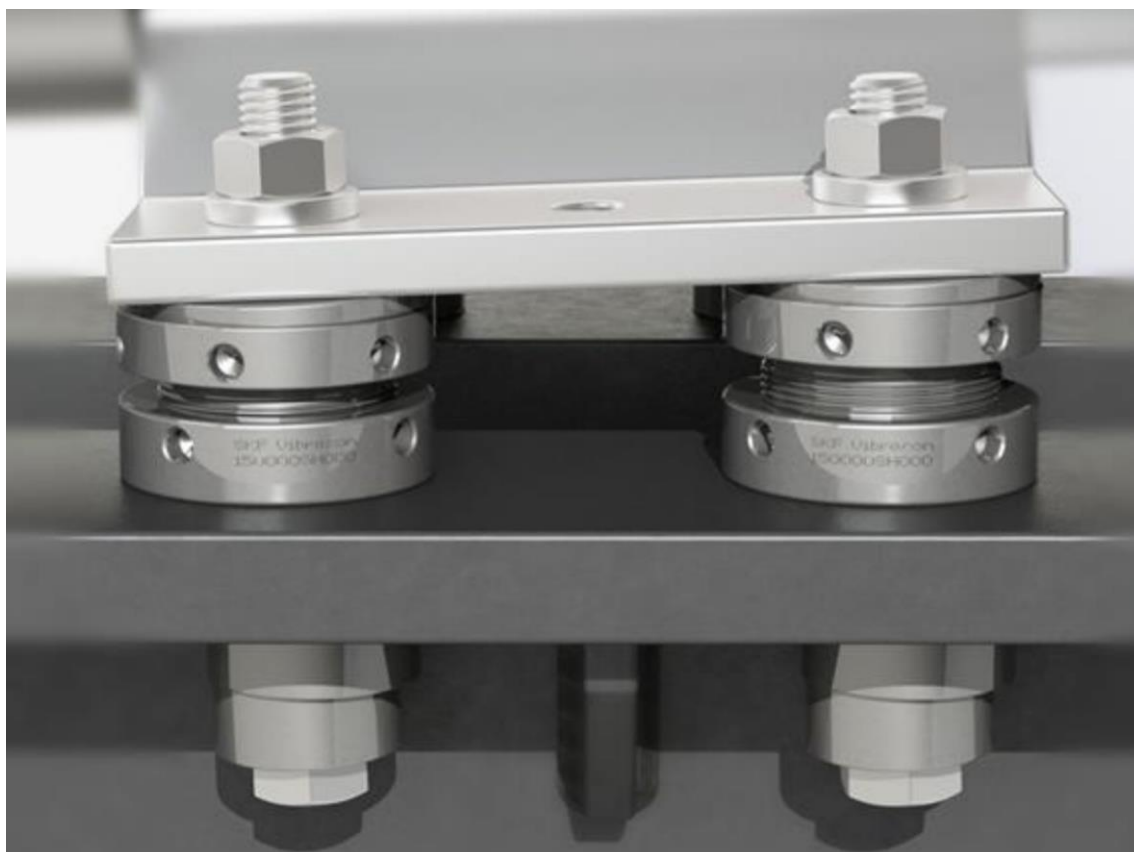


Obr. 2-3 Dvouosý otočný svěrák HOLZMANN IP 125 [5]

### 2.3.3 Uložení na sférických podložkách

Další možností je vytvoření plošiny uložené na sférických podložkách SKF Vibracon viz následující obrázek. Tyto kulové podložky jsou navrženy pro přesné uložení strojních součástí, kde je třeba vyrovnat nepřesnosti mezi montovanými díly. Umožňují výškové nastavení a současně i vyrovnání nerovnoběžnosti spojovaných ploch až do 4°. Správným nastavením tedy dokážou eliminovat vnitřní pnutí ve spojovaných součástech, které by vzniklo při montáži nedokonale ustavených ploch. Samotné výškové nastavení se provádí pomocí speciálních klíčů, kterými otáčíme vůči sobě spodní a horní polovinu podložky. Ty jsou v sobě zašroubovány. Vyrábí se ve velikostech (pro průchozí metrický šroub) od M12 do M64, přičemž vnější průměr nejmenšího dostupného modelu je 60 mm a jeho výška v rozmezí (30 až 38) mm. [6]

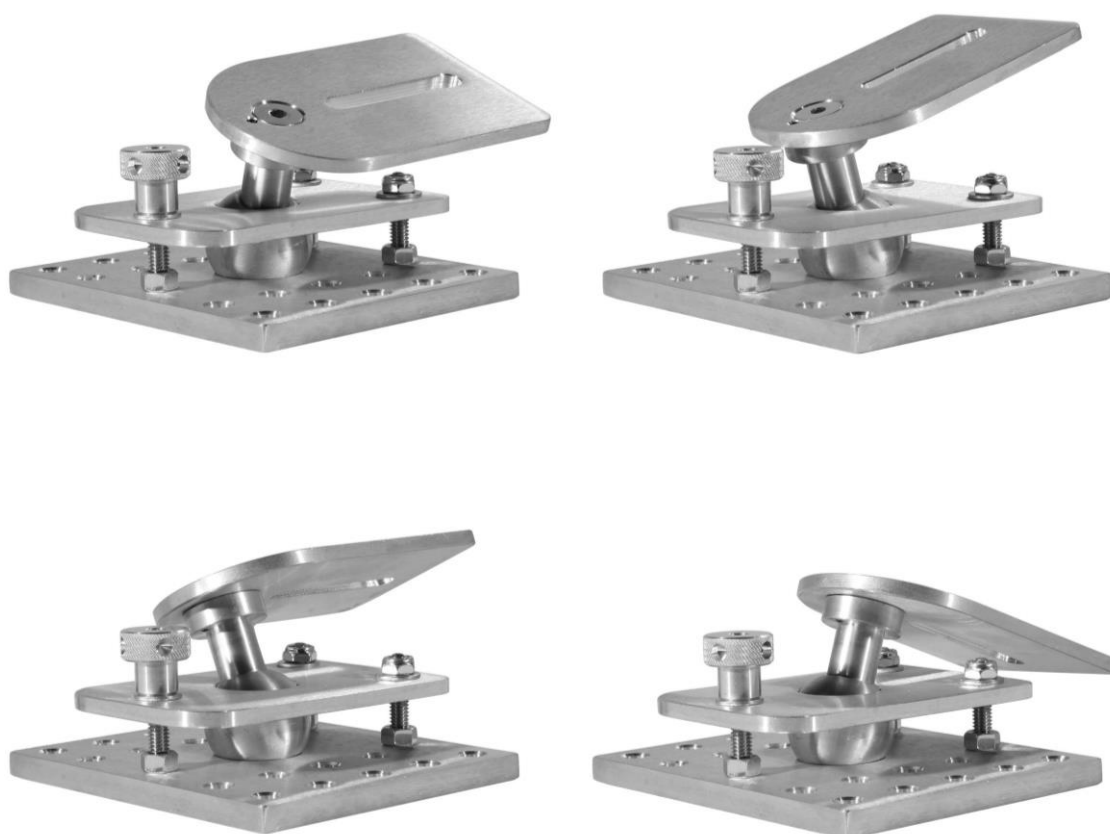
Ke správné funkci je zapotřebí na druhé straně svěrného spojení použít ještě obyčejnou kulovou podložku, která vyrovná úhlové naklonění mezi osou šroubu a druhou deskou způsobené nakloněním samotného Vibraconu. Šroub je tak zatížen pouze tahovou silou.



**Obr. 2-4** Plošina uložená na sférických podložkách SKF Vibracon [6]

### 2.3.4 Kulový kamerový držák

Tento druh držáku je tvořen upínací deskou připojenou na vnější kulovou plochu umožňující nastavení ve třech stupních volnosti. Tvar koule umožňuje její rotaci v libovolném směru. Po ustavení v cílené pozici je kulová plocha sevřena mezi pevnou spodní deskou a horní pohyblivou deskou. Horní deska je spojena s pevnou deskou pomocí tří šroubů, přičemž dva z nich mají pevně nastavenou vzdálenost sevření a fixace se tak dociluje pouze dotažením třetího šroubu. Fixace pouze jedním šroubem zajišťuje rychlou aretaci v dané poloze. Držák je vyráběn z precipitačně tvrzené hliníkové slitiny 6061. Výrobce uvádí nosnost až 13 kg.



Obr. 2-5 Vyrovnávací kulový kamerový držák v různých polohách [7]

### 2.3.5 Křížový kamerový držák

Vedení pohybu v tomto případě zajišťuje kardanův kloub umístěný ve středu výrobku, který dává možnost naklápět horní desku ve dvou navzájem kolmých osách. Přesné nastavení pozice je dosaženo pomocí čtyř šroubů v rozích držáku, vždy dva a dva antagonisticky působící proti sobě. Držák je vyráběn z precipitačně tvrzené hliníkové slitiny 6061, stejně jako kulový držák uvedený výše. V případě zatížení horní desky se síla různě rozkládá mezi kardanův kloub a šrouby, podle jejího umístění a tuhosti horní desky. Při změně zatížení dochází k vymezování vůlí a vibrace také mohou povolovat šrouby. Proto je držák pro aplikaci v tribometru nevhodný i jako koncepční řešení, nehledě na příliš velké rozměry komerčně dostupné verze.



Obr. 2-6 Držák využívající kardanův kloub [8]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Vzorky materiálu přicházející do laboratoře k testování není často možné upnout jednoduše a rychle do přístroje. Upnutí předchází úprava geometrie vzorku nebo zdlouhavé vyrovnávání vzorku pomocí sady podložek. Cílem je navržení správného upínače, který bude dostatečně tuhý, umožňující naklápění ve dvou na sobě kolmých osách v relativně malém rozsahu a zároveň dostatečně malý. Přestože výrobce hmotnost zátěže daného modulu explicitně neomezuje, nižší hmotnost je vzhledem k pohybu, který bude upínač konat, výhodou. Těžší přípravek by více namáhal převodové ústrojí modulu.

Z rešerše vyplývá, že se nenabízí vhodné komerčně dostupné řešení polohování vzorků, které by šlo jednoduše upravit pro danou aplikaci. Je potřeba zkombinovat přesné úhlové natočení a po jeho dosažení pevné uchycení bez změny polohy vzorku. Vzorek se upne a pod malým zatížením horní sondy se v daném směru provede testovací měření, při kterém se sledují změny normálové zatěžující síly. Tyto změny reflektují úhel sklonění plochy vzorku v daném směru, a dodatečným nastavením úhlu upnutí vzorku docílíme konstantní velikosti normálové síly, a tím i rovnoběžnosti plochy vzorku s pohybem modulu.

#### 3.1.1 Reciproční modul

Reciproční modul je navržen pro maximální zatížení 2 000 N, které tribometr dokáže vyvinout. Pro nastavbový upínač navrhovaný v této práci bylo stanoveno maximální normálové zatížení pouze 400 N, protože na daném modulu většina testů nepřesahuje tuto hodnotu zatížení. Další údaje poskytuje tabulka níže.

Tab. 3-1 Specifikace recipročního modulu – převzato z [3]

Maximální rozsah pohybu	25 mm
Minimální rozsah pohybu	0,1 mm
Rozlišovací přesnost	1 $\mu$ m
Frekvence	(0,1–60) Hz
Maximální zatížení	2 000 N
Max. frekvence při zdvihu	60 Hz při 2 mm 20 Hz při 25 mm

## 3.2 Specifikace parametrů navrhovaného přípravku

### Provozní parametry

- normálové zatížení až 400 N
- vysoce dynamický periodický pohyb
- rozsah teplot (-25 až 100) °C

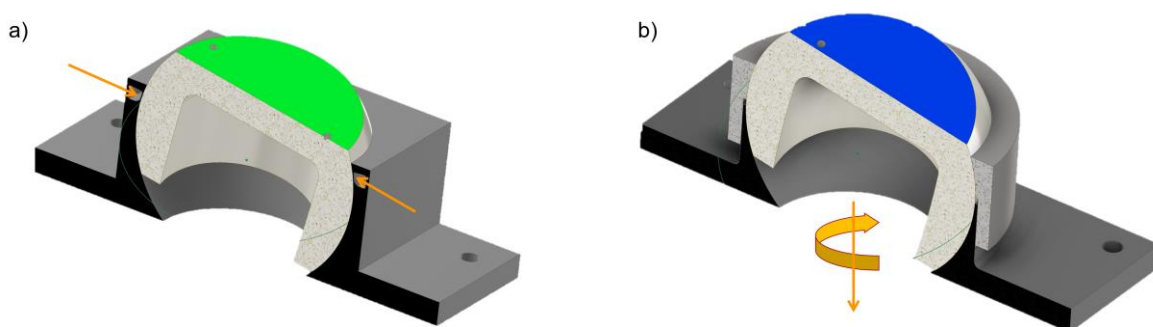
### Požadavky na konstrukci

- možnost naklápění ve dvou navzájem kolmých rovinách v rozsahu  $\pm (4 \text{ až } 6)^\circ$
- manuální plynulá regulace výše uvedeného naklápění
- aretace nastavené polohy
- možnost montáže ke stávající desce recipročního modulu o rozměru (60 × 110) mm
- schopnost upnutí deskových vzorků o rozměrech (50 × 25) mm
- upínací čas maximálně 10 minut
- jednoduché ovládání

## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

### 4.1 Upínání na kulové ploše (koncept 1)

Použití kulové plochy je jednoduchý způsob, jak docílit velké volnosti pohybu. Problémem nutným vyřešit je pak mechanismus naklánění koule a její následná aretace v cílené pozici. Níže na obrázku první modely tohoto koncepčního řešení. V prvním stadiu nebylo řešeno naklápění kulové plochy, horní rovná plocha (označena modře a zeleně) je určena přímo pro upínání vzorků. Šedá základna upínače je namontována přímo na stávající desku recipročního modulu, v ní co nejnižše usazená koule. Proti pohybu směrem dolů je kulová plocha fixována dobře, podnětem k řešení je její fixace z horní strany. Možností je použití centrálního upínacího prvku, to je zajištěním pomocí převlečné matice nebo tlakovou silou za využití hydraulického oleje. V případě použití hydrauliky je základna dělená, aby do ní šla koule umístit, a zeslabená stěna fixující pohyb koule je umístěna nad jejím středem, aby docházelo k tlačení směrem dolů.



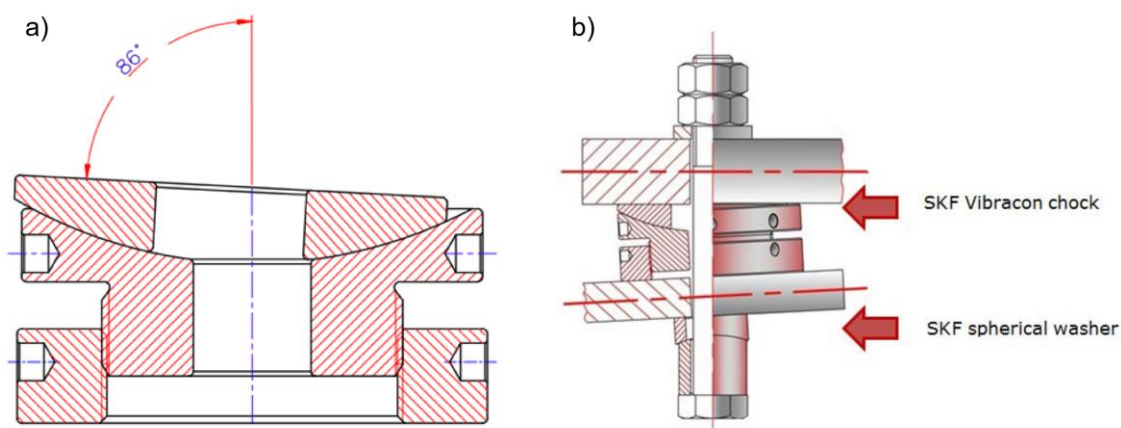
Obr. 4-1 a) návrh upínače s hydraulickým upnutím kulové plochy, b) upnutí kulové plochy dotažením převlečné matice

Je zde ale problém s nastavením cíleného sklonu horní desky, takto uzavřená koule není dostupná. Možným řešením je vytvoření kulisového mechanismu ve spodní části upínacího přípravku, který by pomocí dvou kulis uložených kolmo vůči sobě v rovině stolu mohl řídit její náklon, nebo vyvedení nastavitelných šroubů z rovinné horní části kulové plochy. Využití hydraulického upínání je náročné jak výpočtově na zvolení správné tloušťky stěny a potřebného tlaku, tak i na samotnou výrobu. Proto byla pro další postup vybrána možnost mechanického upnutí. Převlečnou matici by bylo vhodné rozdělit na dvě části s kluzným elementem, aby při jejím dotahování nebyl kroutící moment přenášěn na samotnou kulovou plochu, což by způsobilo její nechtěnou rotaci.

## 4.2 Plošina na kulových podložkách (koncept 2)

Kulové podložky SKF Vibracon se díky náklonu až čtyř stupňů těsně vejdou do rozsahu požadovaných náklonů. Pro spolehlivé ustavení v prostoru je třeba uložit podložku na alespoň tři takovéto podložky. První problém ale nastává již při zhodnocení rozměrových požadavků tohoto řešení, nejmenší vyráběný model má vnější průměr 60 mm. To udává zástavbový prostor v ploše čtverce o délce hrany minimálně 120 mm, což je v porovnání se základní deskou recipročního modulu, na který má být přípravek upnut, mnohem větší plocha. Upínací přípravek by z hlediska dostupného prostoru mohl být i takto rozměrný, ale z hlediska velikosti samotných upínaných vzorků je zbytečně mohutný.

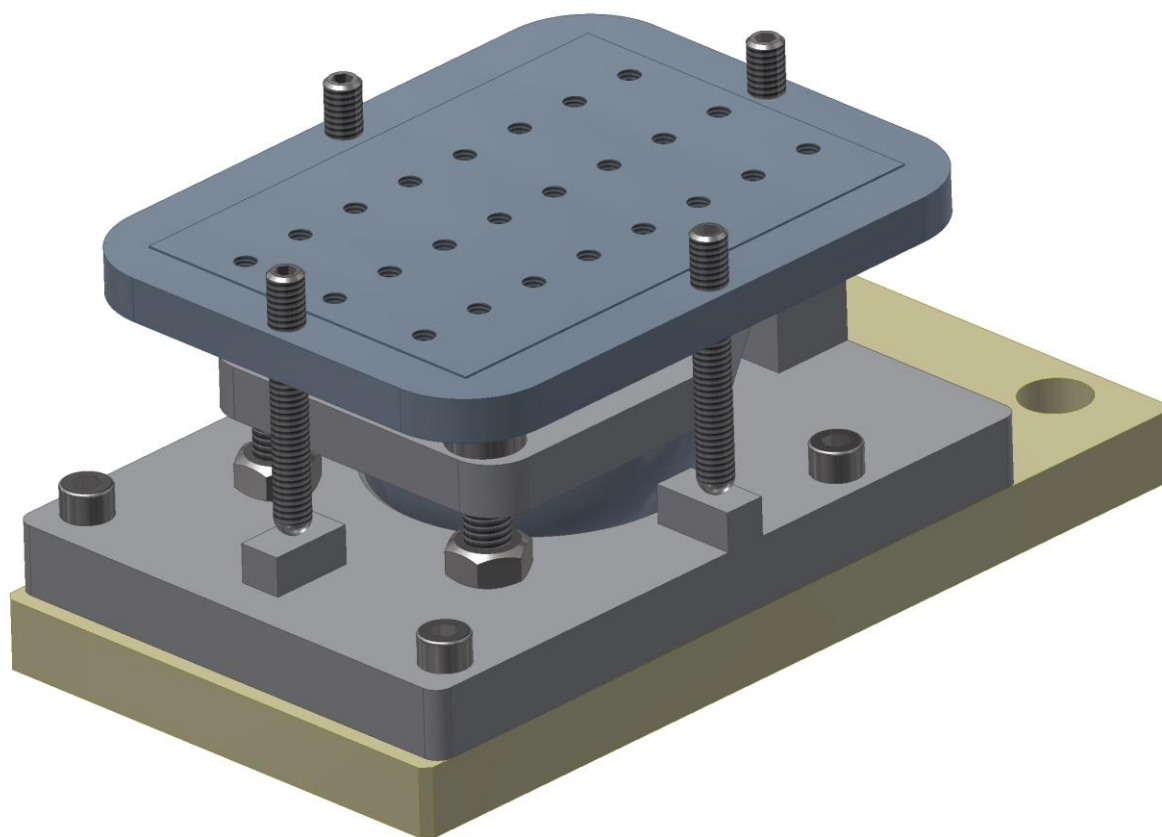
V tomto případě se musí výškově nastavit jednotlivě všechny tři nebo čtyři podložky a poté ještě zafixovat utažením jednotlivých šroubů vedoucích skrze zmiňované podložky. Tato varianta slibuje stabilní uložení, ale výškové nastavení je časově náročné. Úhlové vyklonění desky a šroubu je dole nutné kompenzovat další sférickou podložkou, a ta potřebuje pod samotným přípravkem svůj prostor. Spodní deska upínače nemůže být přišroubována přímo k desce recipročního modulu, musí být odsazena, aby pod ní mohlo dojít ke zmiňované kompenzaci vyklonění šroubu. To způsobuje zvednutí celé plošiny ještě více nad modul, a z horní upevňované desky také stoupá část šroubů, což je nevhodné.



Obr. 4-2 a) řez sférickou podložkou SKF Vibracon, b) svěrné spojení s použitím sférických podložek [6]

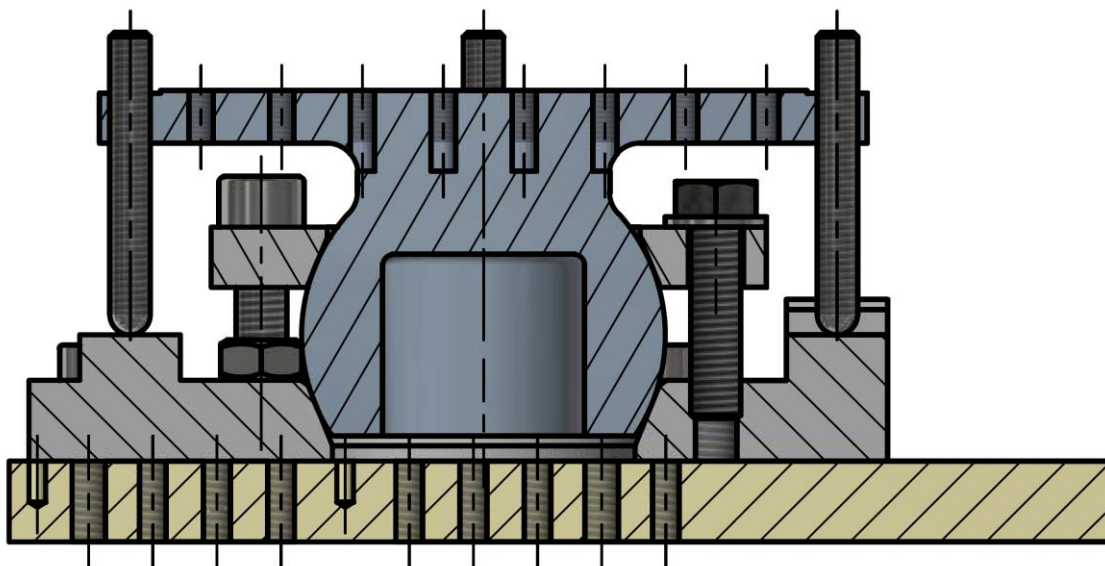
## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Vybrané řešení je rozvinutím prvního konceptu, kde nosnou část přípravku tvoří kulová plocha umožňující pohyb ve všech třech rotačních stupních volnosti. Je tvořeno kombinací posledních dvou upínačů uvedených v rešerši. Přípravek tvoří tři hlavní součásti: spodní deska, stahovací deska a kulový stůl. Nosná kulová plocha je uložena mezi spodní základovou a horní stahovací deskou. Tyto desky jsou přitahovány k sobě pomocí tří šroubů a mezi sebou svírají kulovou plochu přípravku, přičemž při polohování se pracuje pouze s jedním ze šroubů, zbylé dva se . Desky obsahují výřez, do kterého se kulová plocha opírá. Tento výřez má tvar kuželové plochy s úhlem odklonu  $68^\circ$  od normálové roviny. Koule je posazena s dostatečným prostorem pod ní, aby při náklonu šesti stupňů nedošlo ke kolizi s deskou samotného modulu, ke které je přípravek upnut.



Obr. 5-1 Finální verze upínacího přípravku, uložená na desce (běžová) recipročního modulu

Naklápění je řešeno čtyřmi šrouby umístěny dva a dva proti sobě v 90° rozestupech kolem vertikální osy, šrouby působí v dané rovině proti sobě, vždy je třeba jeden z nich povolit a druhý dotahovat proti němu. Tyto stavěcí šrouby se opírají podložky ve výšce shodné s výškou středu otáčení koule. Díky tomu se při nastavování druhého směru náklonu zachová ten první. Aretace cílené polohy se provádí dotažením jednoho šroubu velikosti M5 s šestihrannou hlavou.

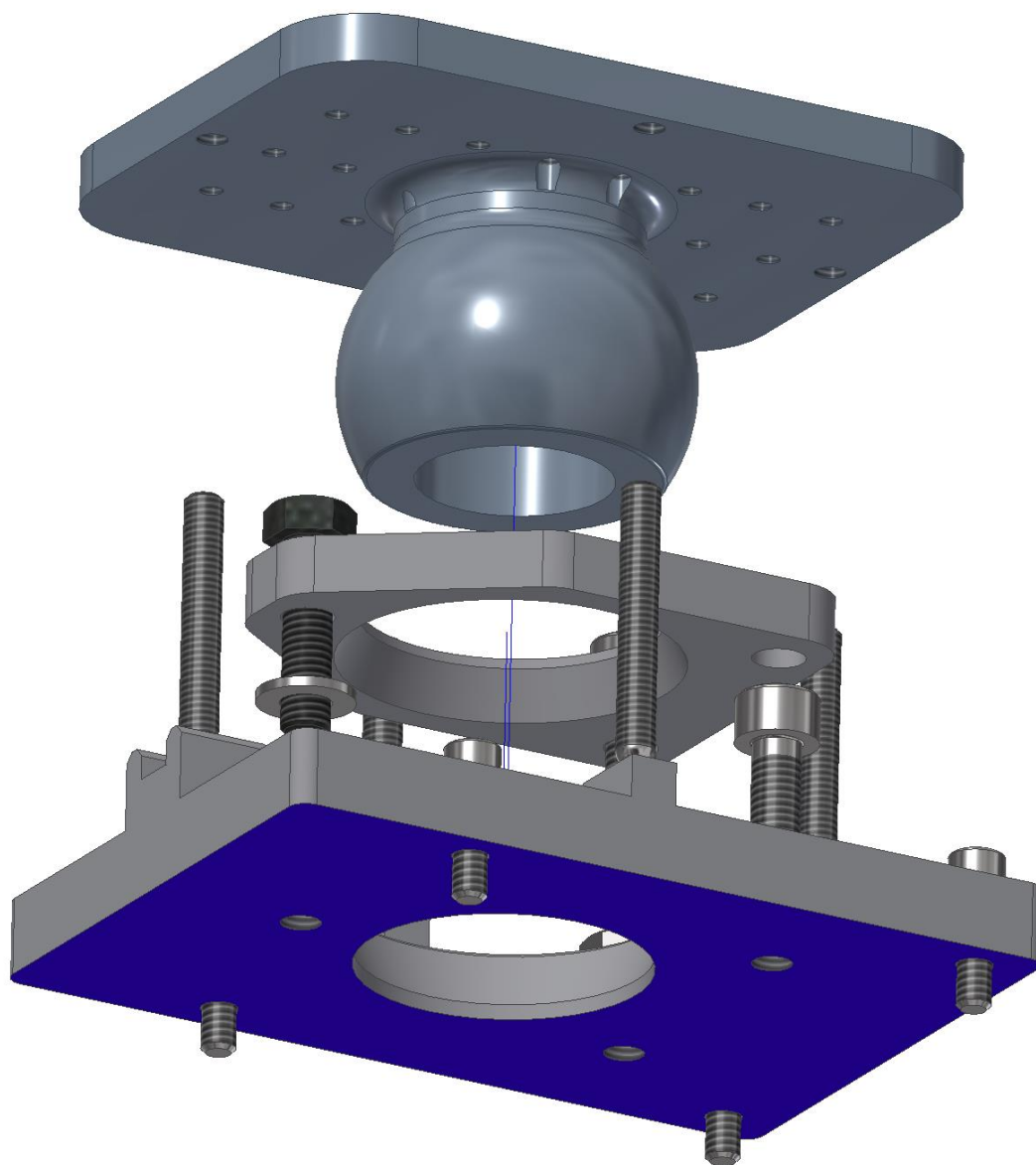


**Obr. 5-2** Pohled v polovičním řezu přípravku v neutrální pozici, modře kulový stůl, šedě spodní, stahovací deska

Povrch kulové plochy stolu je zakalen a vybroušen do přesného tvaru, jeho povrch je konstruován tvrdší než kuželové povrchy, na které dosedá v základové a stahovací desce. Je důležité, aby si koule zachovala svůj tvar a při jejím upínání v různých pozicích dosedala vždy stejnou geometrií na povrchy v deskách, kde je usazena. Vyrobít přesnou vnější kouli není příliš náročné, dokončuje se lépe než vnitřní kulový povrch. Vyrábět dosedací plochy s geometrií kulové plochy by bylo drahé a také zbytečné, protože stačí když se koule dotýká liniovým dotykem. Obě dvě geometrie by musely být vyrobeny velice přesně aby docházelo k přenosu zatížení ve větší ploše. Pro omezení rotace kolem svislé osy je na jedné z podložek stavěcích šroubů vytvořena zábrana proti pootočení. Všechny vyráběné díly jsou vyrobeny z oceli, desky z materiálu ST60-2, kulový stůl z materiálu C45.

Přípravek musí být přišroubován k desce modulu šrouby normy ANSI UNC v palcových rozměrech, jelikož modul obsahuje právě takovéto závitové díry, přístroj pochází ze Spojených států amerických. Horní upínací plocha stolu je osazena sadou závitových děr velikosti M3, částečně ve stejných roztečích jako originální palcová deska modulu. Díky tomu lze na navržený upínací přípravek připevnit stejnou upínací destičku pro upevnění vzorku, jako je na originální desce.

Kompletní přípravek v ploše desky modulu nepřesahuje její rozměry, a na výšku měří v základní nevychýlené poloze 36,7 mm.



Obr. 5-3 Pohled na všechny díly přípravku, rozloženo

## 6 DISKUZE

Vybrané konstrukční řešení splňuje požadavky stanovené v cíli práce. Poskytuje pohodlnou možnost plné kontroly nad naklápěním ve dvou osách, v každé s rozsahem minimálně 6° v obou směrech. Horní deska má dostupný rozměr pro vzorky velikosti až (64 × 45) mm. Teploty do 100 °C zvládne přípravek také bez problému. Celá sestava váží 660 g. Cílený čas potřebný k upnutí vzorku nebyl testován a splnění tohoto cíle zůstává neověřené.

## 7 ZÁVĚR

Práce obsahuje popis zařízení, pro které je upínač konstruován, dále uvádí komerčně dostupné varianty polohovacích přípravků. Proběhla identifikace provozních parametrů, při kterých bude přípravek používán. Na základě rešerše je vybrán koncepční návrh kombinující nalezené varianty v jeden celek o požadovaných parametrech. Obsahuje popis vybrané konstrukční varianty ukazující její přednosti. Navržené konstrukční řešení splňuje parametry zadání, dále neřeší dílčí cíle návrhu zásobníku oleje a vyřihání vzorku. Výrobce poskytuje nadstavbová řešení určená pro cirkulaci maziva během testování i pro vyhřívání či chlazení vzorků. Dalším pokračováním této práce by mohla být konstrukce přípravku, který se automaticky vyrovná do správné pozice na základě dat z tribometru, čímž by odpadlo manuální seřizování. Model upínače a výkresy byli vytvořeny v programu Autodesk Inventor 2020.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. STACHOWIAK, Gwidon W. a Batchelor, Andrew W. *Engineering Tribology (3rd Edition)*. Burlington : Elsevier, 2005. 978-0-7506-7836-0.
2. UMT TriboLab. *BRUKER*. [Online] 2020. [Citace: 12. 2 2020.] Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/surface-and-dimensional-analysis/tribometers-and-mechanical-testers/umt-tribolab/overview.html>.
3. Bruker Nano, Inc. UMT TriboLab Hardware & Installation guide. San Jose, CA : Bruker Nano, Inc, 2015.
4. ASTM G133-05(2016), Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
5. Svěráky. *DOBŘÉ STROJE*. [Online] [Citace: 23. 3 2020.] Dostupné z: <https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/28-1-KOVOOBRABECI-NASTROJE/120-2-SVERAKY/5/2653-DVOUOSY-OTOCNY-SVERAK-HOLZMANN-IP125//download#anch1>.
6. Vibracon. *MAPROTOOLS*. [Online] [Citace: 7. 4 2020.] Dostupné z: [http://maprotools.com/download/vibracon/Application\\_and\\_Installation\\_guide\\_SKF\\_Vibracon.pdf](http://maprotools.com/download/vibracon/Application_and_Installation_guide_SKF_Vibracon.pdf).
7. Leveling mounts. *MODERN*. [Online] [Citace: 25. 3 2020.] Dostupné z: <https://modernstudio.com/products/mini-ball-camera-leveling-mount>.
8. Leveling mounts. *MODERN*. [Online] [Citace: 25. 3 2020.] Dostupné z: <https://modernstudio.com/products/mini-4-way-leveling-camera-mount-with-3-8-slot>.
9. ASTM G99-17, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

### 9.1 Zkratky

FSI	Fakulta strojního inženýrství
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ÚK	Ústav konstruování
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
UMT	Universal Mechanical Tester

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

<b>Obr. 2-1</b> Tribometr UMT TriboLab s jeho čtyřmi výměnnými pohony [2].....	14
<b>Obr. 2-2</b> Reciproční modul pro UMT TriboLab s originálním upínačem, žlutě směr oscilace [2] .....	15
<b>Obr. 2-3</b> Dvouosý otočný svěrák HOLZMANN IP 125 [5] .....	17
<b>Obr. 2-4</b> Plošina uložená na sférických podložkách SKF Vibracon [6] .....	18
<b>Obr. 2-5</b> Vyrovnávací kulový kamerový držák v různých polohách [7] .....	19
<b>Obr. 2-6</b> Držák využívající kardanův kloub [8].....	20
<b>Obr. 4-1</b> a) návrh upínače s hydraulickým upnutím kulové plochy, b) upnutí kulové plochy dotažením převlečné matice .....	23
<b>Obr. 4-2</b> a) řez sférickou podložkou SKF Vibracon, b) svěrné spojení s použitím sférických podložek [6] .....	24
<b>Obr. 5-1</b> Finální verze upínacího přípravku, uložená na desce (běžová) recipročního modulu .....	25
<b>Obr. 5-2</b> Pohled v polovičním řezu přípravku v neutrální pozici, modře kulový stůl, šedě spodní, stahovací deska.....	26
<b>Obr. 5-3</b> Pohled na všechny díly přípravku, rozloženo .....	27

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b>	Výkres sestavení přípravku
<b>Příloha 2</b>	Výkresová dokumentace komponent
<b>Příloha 3</b>	Digitální data – modely přípravku