



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

Návrh dvouosého trhacího zařízení pro mikroskop  
Lecia Dmi8

Design of biaxial testing machine for microscope  
Lecia Dmi8

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2019**

**Jan Brajer**

**Studijní program:** STROJÍRENSTVÍ

**Studijní obor:** B STR KPP - Konstruování podporované počítačem

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brajer** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **456773**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**  
Studijní program: **Strojirenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh dvouosého trhacího zařízení**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design proposal of doubleaxial tensile unit**

Pokyny pro vypracování:

V rámci práce vypracujte rešerši na trhu dostupných trhacích zařízení se zaměřením na jejich konstrukční provedení. Do rešerše zahrňte i možnosti upevnění podobných zařízení do zadaných typů mikroskopů. V konstrukční části práce předložte vlastní návrh řešení zpracovaný tak, aby bylo možné jeho uplatnění na vybraný typ mikroskopu ve spolupráci s Ústavem biologické matematiky AV. Součástí výstupů práce bude 3D model a základní 2D dokumentace představeného konstrukčního návrhu.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.  
KUGL, O. a kol.: Projekt - III. ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.  
HOSNEDL S.: Obecné strojní části 1. Plzeň: Vydavatelství ZU v Plzni, 2012.  
katalogy mikroskopů a jejich stolků - zdroj: internet, vlastní měření na AV

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. František Lopot, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **12.12.2019**

Ing. František Lopot, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Návrh dvouosého trhacího zařízení“ vypracoval samostatně pod vedením Ing, Františka Lopota, Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

.....  
V Praze dne

.....  
Jan Brajer

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Františku Lopotovi, Ph.D., za cenné rady, za navzdory mé rychlosti práce neustále dobrou náladu a zkrátka za veškerou podporu při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Mgr. Danielu Hadrabovi, Ph.D. za možnost návštěvy laboratoří Fyziologického ústavu AV ČR a prohlídku zařízení Lecia Dmi8.

## ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Jan Brajer
Název BP:	Návrh dvouosého trhacího zařízení pro mikroskop Lecia Dmi8
Anglický název:	Design of biaxial testing machine for microscope Lecia Dmi8
Rok:	2019
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Obor studia:	Konstruování podporované počítačem (KPP)
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. František Lopot, Ph.D.
Konzultant:	Ing. František Lopot, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 31 počet obrázků 34
Klíčová slova:	trhací zařízení, dvouosé trhací zařízení, mikroskop, tkáň, Lecia, silové zkoušky, creep, konstrukce
Keywords:	testing machine, biaxial testing machine, microscope, tissue, Lecia, force tests, creep, construction
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce dvouosého trhacího zařízení. Zařízení je příslušenstvím mikroskopu Lecia Dmi8, s objektivem Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2
Abstract:	This bachelor thesis deals with design biaxial testing machine. The device is an accessory of the Lecia Dmi8 microscope, with the Leica HC PL APO 20x / 0.75 IMM CORR CS2 lens

# OBSAH

Prohlášení.....	3
Poděkování .....	4
Anotační list .....	5
Obsah .....	6
1 Cíl práce.....	1
2 Úvod.....	2
3 Zadání.....	3
4 Východiska práce .....	5
4.1 Testování měkkých tkání a tkáňových náhrad.....	5
4.1.1 Indentace .....	5
4.1.1.1 Makroindentace .....	5
4.1.1.2 Nanoindentace .....	6
4.1.2 Zkouška kroucením.....	6
4.1.3 Tahové zkoušky .....	6
4.1.3.1 Prostý tah .....	6
4.1.3.2 Jednoosý/víceosý tah.....	6
4.1.3.3 Relaxace .....	7
4.1.3.4 Creep.....	7
4.2 Trhací zařízení .....	7
4.2.1 Staticko-hydraulické trhací stroje .....	7
4.2.2 Elektromechanické trhací stroje .....	8
4.3 Vzorky zkoumané na navrhovaném zařízení .....	9
4.4 Mikroskop a použité objektivy .....	9
4.4.1 Objektiv Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2.....	9
4.4.2 Mikroskop Lecia Dmi8.....	11
4.5 Zprostředkování posunu .....	11
4.5.1 Pohon - elektromotor .....	11
4.5.1.1 Servomotory.....	12
4.5.1.2 Krokové elektromotory .....	12
4.5.1 Převod pomocí ozubených kol:kolo – kolo .....	13
4.5.2 Převod pomocí ozubených kol:kolo - hřeben .....	13
4.5.3 Řemenový převod .....	14
4.5.4 Řetězový převod.....	14
4.6 Pohybový šroub.....	14
4.6.1 Kuličkový pohybový šroub .....	15
4.6.2 Trapézový pohybový šroub .....	15
4.7 Lineární vedení.....	15
4.7.1 Vodící tyče a kuličková pouzdra .....	16
4.7.1.1 Kuličková pouzdra otevřená .....	16
4.7.1.2 Kuličková pouzdra s těsněním .....	16
4.7.2 Vodící tyče a kluzná pouzdra .....	16
4.7.2.1 Bronzová kluzná pouzdra .....	17

4.7.2.1.1.	Pouzdra z masivního bronzu .....	17
4.7.2.1.2.	Pouzdra ze svinutého bronzového pásu .....	17
4.7.2.1.3.	Pouzdra ze slinutého bronzu .....	17
4.7.2.2	Kompozitová kluzná pouzdra .....	18
4.7.2.2.1.	PTFE kompozitová pouzdra .....	18
4.7.2.2.2.	POM kompozitová pouzdra .....	18
4.8	Shrnutí požadavků na vlastnosti navrhovaného zařízení .....	19
4.9	Rizika pro navrhované zařízení při běžném provozu .....	19
5	Konstrukce zařízení .....	20
5.1	Výběr principů a jednotlivých komponent .....	20
5.1.1	Provedení zařízení .....	20
5.1.2	Výběr motoru .....	20
5.1.2.1	Výběr konkrétního pohonu .....	21
5.1.3	Výběr přenosu síly do osy vzorku .....	21
5.1.4	Volba kluzných elementů .....	22
5.1.4.1	Volba konkrétního pouzdra .....	22
5.1.5	Volba způsobu měření .....	23
5.2	Konstrukce jednotlivých částí .....	23
5.2.1	Konstrukce základny .....	24
5.2.2	Návrh měřicího elementu .....	24
5.2.3	Konstrukce vozíku .....	25
5.2.4	Konstrukce konzoly .....	26
5.2.5	Konstrukce čelistí .....	26
6	Závěr .....	28
7	Literatura .....	29
8	Seznam obrázků .....	31

## 1 Cíl práce

Předkládaná práce řeší poptávku Fyziologického ústavu Akademie věd ČR na zařízení umožňující dvouosé namáhání vzorků měkkých tkání a tkáňových nosičů, zkoumaných pomocí mikroskopu Lecia Dmi8, včetně jejich uchycení, se zohledněním náročnosti užívání a náchylnosti zařízení k poškození způsobeného běžným užíváním. Aby bylo možné stanoveného cíle dosáhnout, musela práce postupovat plněním dílčích úkolů:

1. Orientace řešitele práce v dané problematice
  - a. Shromáždění informací o povaze vzorků
  - b. Shromáždění informací o použitém mikroskopu a jeho objektivěch
  - c. Shromáždění konkrétních požadavků na vlastnosti zařízení
  - d. Shromáždění rizik poškození zařízení jeho používáním
  - e. Rešerše dostupných informačních zdrojů v oblasti testování tkání
  - f. Rešerše dostupných informačních zdrojů v oblasti technických
  - g. Řešení zařízení podobného typu a jeho komponent
2. Vypracování vlastního konstrukčního návrhu
3. Získání zpětné vazby od budoucích uživatelů zařízení
4. Přizpůsobení zařízení výstupům bodu 3
5. Zpracování technické dokumentace k zařízení



## 2 Úvod

Zjišťování mechanických vlastností tkání je velice aktuální otázkou, která s rozvojem technologických možností produkce tkáňových náhrad dále získává na významu. Stejně aktuální a neméně důležitá je pak otázka testování mechanických vlastností připravovaných náhrad, které mají buď nahradit poškozenou tkáň nebo zlepšit podmínky pro její hojení či obnovu. Z těchto důvodů a s ohledem na interakce náhrad s nativními tkáněmi a buňkami je stále důležitější znát detailně také jejich vnitřní strukturu a změny v nich způsobené v souvislosti s aplikací vnější mechanické zátěže. Proto sílí poptávka po zařízeních, která dokáží zkoumané vzorky předepsaným způsobem zatěžovat a přitom jsou použitelné přímo ve stolkách mikroskopů.

Pro zajištění ideálních podmínek pro testování vzorků z hlediska jejich podobnosti s nativním prostředím je vhodná možnost ponoření čelistí zařízení se vzorkem do kapaliny (fyziologický roztok a variace na něj) spolu s užitím biokompatibilních materiálů.

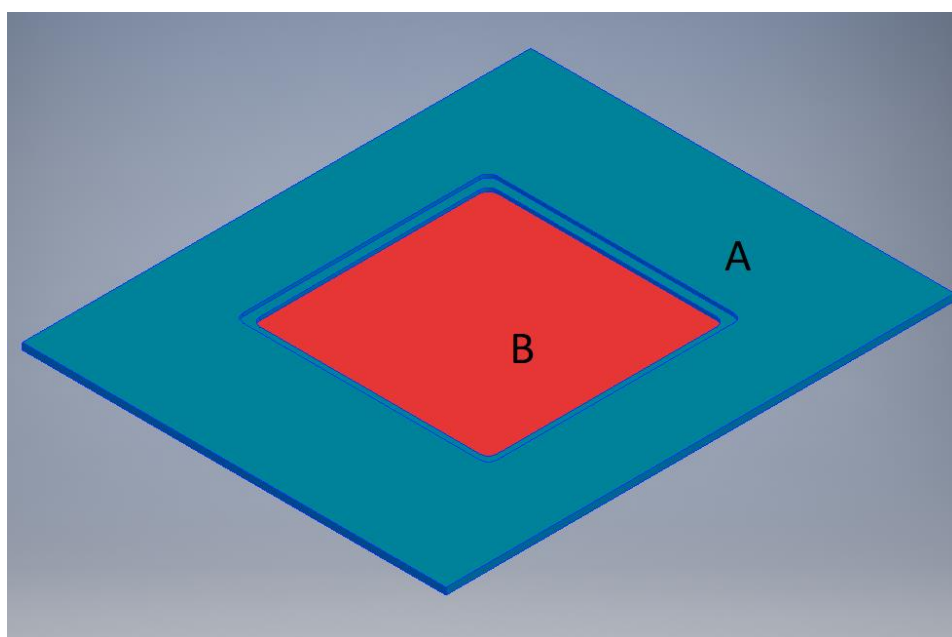
### 3 Zadání

Mikroskop, pro který zařízení navrhujeme, je Leica Dmi8 (obr. 1). Jedná se o invertovaný mikroskop, tedy o mikroskop s pohledem ze spodní strany stolu, což značně komplikuje použití konvenčních trhacích zařízení.



Obr.1.: mikroskop Leica Dmi8 [1]

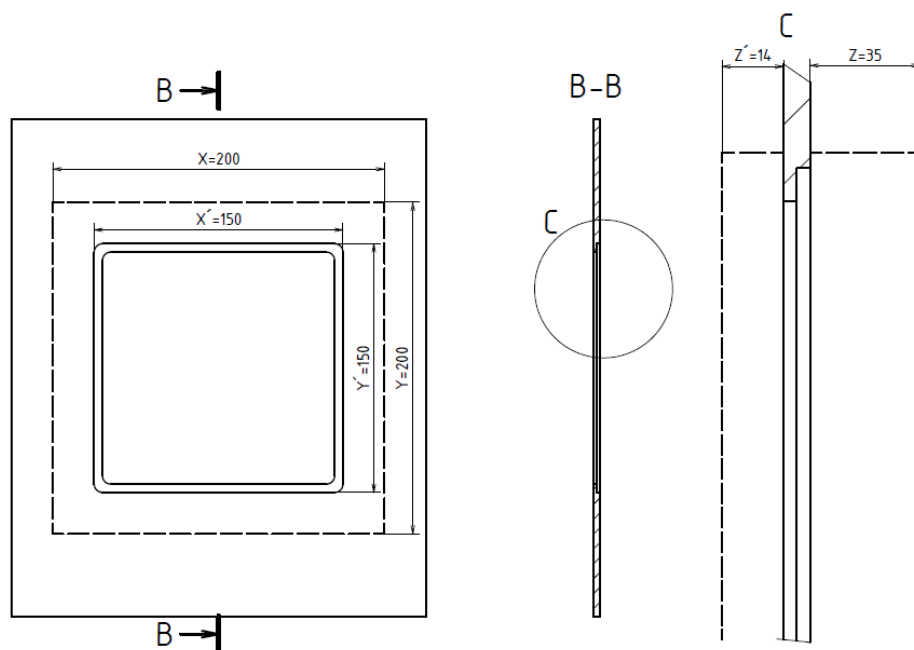
Další limitací je prostor, kterým mikroskop disponuje. Trhací zařízení bude umístěno na stole (obr. 2) (A), přičemž vzorek včetně posuvného bloku se musí vejít do díry ve stolu mikroskopu (B) o rozměrech 150x150 mm.



Obr.2.: pracovní verze stolu mikroskopu se zvýrazněnou funkční plochou

Z diskuse s budoucími uživateli zařízení vyplynuly následující požadavky na vlastnosti zařízení a další technické specifikace:

- Zařízení bude spolupracovat s objektivem Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2 s pracovní vzdáleností 0,68 mm.
- vzorek se musí nacházet ve vzdálenosti přibližně 14 mm od svrchní plochy stolu ( $Z'$ ), aby bylo možné umístit objektiv do pracovní vzdálenosti.
- Čelisti pro každou osu se budou pohybovat od sebe, resp. k sobě, aby vzorek zůstal vzhledem k objektivu na místě
- Zatěžovací osy budou říditelné nezávisle na sobě
- Maximální rozměry  $X=200$  mm,  $Y=200$  mm,  $Z=35$  mm,  $X'=150$  mm,  $Y'=150$  mm (obr. 3)



Obr.3.: demonstrace maximálních dovolených rozměrů zařízení

- Maximální hmotnost zařízení včetně vzorku by neměla přesáhnout 3 kg
- Zařízení bude schopné pracovat se vzorky o rozměrech do 30x30 mm s max. tloušťkou 5 mm
- S maximálním natažením 80 % díky symetrii zařízení činí posun až 27 mm
- Maximální požadovaná síla tahu byla stanovena na 40N.
- Parametry posunu vzorku:
  - o Minimální posuny jsou v rozmezí 1 - 10 %  $L_0$ , což činí 10 – 100  $\mu$ m
  - o Upínací čelisti zařízení musí být v předpokládaném rozsahu jejich pohybu ponořitelné do kapaliny (fyziologický roztok a variace na něj)
- Maximálně eliminovat možnost nahodilého poškození při manipulaci
- Uživatelsky přívětivá konstrukce

## 4 Východiska práce

Následující text přináší přehled shromážděných informací, které měly vliv na dále představenou vlastní konstrukci trhačího zařízení.

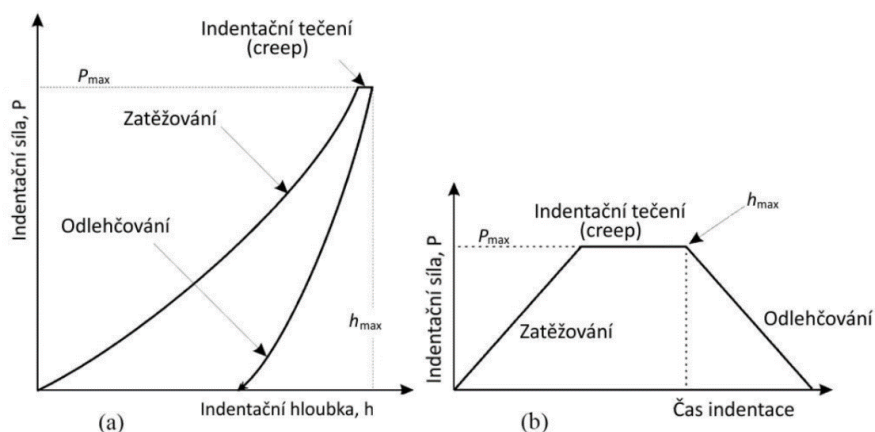
### 4.1 Testování měkkých tkání a tkáňových náhrad

V této kapitole se pokusím přiblížit metody testování mechanických vlastností měkkých tkání a tkáňových náhrad z hlediska jejich principů.

#### 4.1.1 Indentace

Indentace nebo také instrumentovaná indentace, zkráceně DSI (Depth Sensing Indentation), nebo IIT (Instrumented Indentation Testing), je nedestruktivní metoda určování mechanických vlastností, jmenovitě modul pružnosti a tvrdost, materiálů, zaměřující se zejména na tenké povlaky.

Princip této metody je velice podobný standardním zkouškám tvrdosti, tedy vtlačování indentoru do měřeného materiálu. Odlišnou jí však činí vyhodnocování výsledků, kdy se neměří rozměry vtisku, ale síla působící na indentor a jeho poloha. Dalším aspektem odlišujícím tuto zkoušku od konvenčních metod je řízené odlehčování indentoru. Indentor se nejprve zatěžuje silou, po dosažení maximální síly zůstává zatížení po danou dobu konstantní a následně dochází k řízenému odlehčování indentoru (obr. 4). [18]



Obr.4.: závislost indentační síly na hloubce (a) a na čase (b) [18]

##### 4.1.1.1 Makroindentace

Makroindentace je metoda zjišťování mechanických vlastností. Tato metoda je téměř totožná s běžnými metodami zjišťování mechanických vlastností (Brinell, Vickers). Její princip spočívá ve vtlačování indentoru do zkoumaného vzorku a jeho zatěžování až do hodnot makrozatížení, kdy již na rozdíl od nanoindentace měříme velikost vtisku. Při takovýchto zatíženích dochází k podstatně rozsáhlejšímu působení v materiálu a jeho ovlivnění zkouškou je mnohem větší, než je tomu u nanoindentace. [19]

Makroindentace dále, mimo hloubky a rozměrů vtisku, vyhodnocuje změny způsobené v místě vtláčování indentoru a jeho okolí.

#### **4.1.1.2 Nanoindentace**

Nanoindentace je přímá metoda měření vlastností materiálu v řádech mikrometrů. Princip metody spočívá ve vtláčování diamantového indentoru do materiálu v řádech nm -  $\mu\text{m}$  a následné vyhodnocení mechanických vlastností materiálu. [19, 20]

#### **4.1.2 Zkouška kroucením**

Zkouška kroucením je jedna ze zkoušek mechanických vlastností. Tato zkouška spočívá v namáhání vzorku na krut. Nejčastěji se tato zkouška v případě tkání a tkáňových náhrad provádí u kostí a kostních náhrad, nicméně s pokrokem ve vývoji náhrad měkkých tkání se začíná objevovat i při ověřování mechanických vlastností měkkých tkání.

Zkouška kroucením u tkání probíhá téměř totožně, jako zkouška drátů, tedy upnutím zkoušeného vzorku a jeho krutem až do přetržení vzorku a následné vyhodnocení výsledků. Rozdílem je, že u měkkých tkání nemusí dojít k přetržení vzorku, ale vyhodnocují se i reakční síly vzorku. [21]

#### **4.1.3 Tahové zkoušky**

Tahové zkoušky materiálu jsou takové zkoušky, kdy je vzorek namáhán tahem. Obvykle dojde k přetržení vzorku. Ze silových účinků se následně určují vlastnosti materiálu. Tahové zkoušky se dále dělí podle způsobu zatěžování.

##### **4.1.3.1 Prostý tah**

Prostá zkouška tahová je nejjednodušší z tahových zkoušek. Během testování materiálu se vzorek napíná konstantní silou, nebo silou vzrůstající. Tato zkouška obvykle probíhá až do roztržení vzorku, jedná se tedy o zkoušku destruktivní. Z naměřených hodnot se následně určují mechanické vlastnosti materiálu. Zkouška se provádí na trhačím zařízení.

Těmto strojům jsem se podrobněji věnoval v předchozích kapitolách.

##### **4.1.3.2 Jednoosý/víceosý tah**

Jednoosá tahová zkouška je prostá zkouška tahová, již zmíněná v předchozí kapitole. Víceosá tahová zkouška znamená namáhání vzorku ve více osách najednou, čímž lze lépe posoudit mechanické vlastnosti vzorku pro dané účely. Víceosé trhačí zařízení je však poměrně složitý stroj a tyto zkoušky se běžně nedělají, není-li to nutné.

#### 4.1.3.3 Relaxace

Relaxaci lze popsat jako uvolnění napětí nárůstem plastické deformace a snižováním pružné deformace. K tomuto jevu obvykle také dochází za zvýšené teploty. Jedná se o časově dlouhodobý jev.

Zkouškou relaxace se určuje mez relaxace v tahu.

#### 4.1.3.4 Creep

Během nízké teploty závisí deformace jen na velikosti zatěžující síly, ale díky povaze vzorků lze pro vzorky testované na tomto zařízení považovat pokojovou teplotu za teplotu poměrně vysokou, což znamená, že creep (tečení) se stává nezanedbatelným faktorem.

Creep je změna délky vzorku při konstantním zatížení a testuje se během tzv. creepových zkoušek, během kterých se sleduje nárůst trvalé plastické deformace, zahřátého vzorku, s časem. Princip zkoušky spočívá v zatěžování vzorku zahřátého konstantní teplotou. Tato zkouška bývá časově náročná, neboť k přetržení vzorku dojde po výrazně delší době, než u prosté zkoušky tahové.

Během creepové zkoušky se z výsledků určí mez tečení a mez pevnosti tečení.

## 4.2 Trhací zařízení

Trhacím zařízením je rozuměno zařízení, které umožňuje natahovat upnutý vzorek danou silou, případně danou rychlostí deformace, v požadovaných směrech. Toho lze dosáhnout hned několika způsoby, z nichž každý má svá úskalí.

V následující kapitole popisuji a v závěru srovnávám několik v praxi běžně užívaných trhacích strojů, z nichž vyberu jeden princip, ze kterého budu ve zbytku práce vycházet a který modifikuji pro své potřeby.

### 4.2.1 Staticko-hydraulické trhací stroje

Tyto systémy využívají pohybu pístu, který je vysouván ze základny stroje. Díky užití hydraulického systému lze dosáhnout velké síly a vysoké přesnosti.

Staticko-hydraulické stroje však potřebují prostor pro uložení hydraulického obvodu a jejich realizace je nákladnější.

Na obr. 5 lze vidět stroj Exceed 65, kde je nutné pro měření tahu a tlaku užívat rozdílné nástroje.



Obr.5.: Exceed 65 od firmy MTS [4]

#### 4.2.2 Elektromechanické trhací stroje

Elektromechanické trhací stroje využívají elektromotoru a šroubu, který posouvá obvykle jednou z upínacích hlavíc. Tyto stroje bývají velice přesné – obvykle přesnost určení zatěžující, nebo reakční síly 0,5%-0,7% z 0,4% až 100% plného rozsahu a přesnost deformace 0,8%-1% z 1% až 100% plného rozsahu. Tento princip není prostorově náročný. [4, 5]

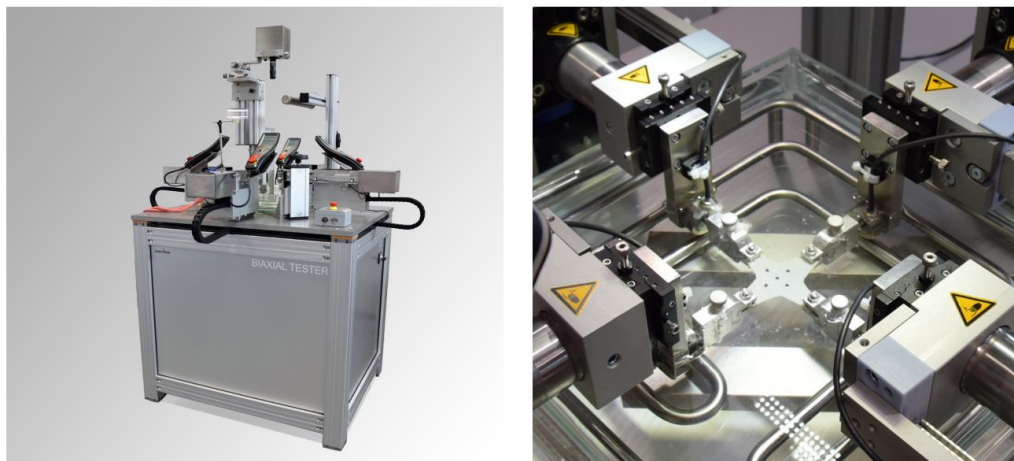
Na obr. 6 lze vidět stroj QUASAR 2,5 kN, který je vhodný na dráty, tedy rozměrově se vzorky nejvíce blíží konstruovanému zařízení.



Obr.6.: QUASAR 2,5kN od firmy GALDABINI [6]



Na obr. 7 je prezentován příklad komerčně dostupné dvouosé trhačky určené přímo pro testování vzorků biologických materiálů.



Obr.7.: Biaxial Testing Machine for biomaterials od firmy Zwick Roell [7]

### 4.3 Vzorky zkoumané na navrhovaném zařízení

Biomateriály postihují velmi širokou škálu mechanických vlastností s ohledem na rozmanitost jejich určení – od velmi pevných, ale také poměrně křehkých materiálů (kost), přes velmi tvrdé materiály odolné proti abrazi (zubní sklovina) po materiály velice pružné (vazy) a poddajné (chrupavky, vnitřní orgány apod.).

Z hlediska vnitřní struktury se často jedná o materiály silně anizotropní a kompozitní.

Z uvedeného popisu vyplývají některé jejich specifické vlastnosti a projevy, se kterými se musí zařízení pro vnášení mechanické zátěže umět vyrovnat. Jedním z nejpalčivějších problémů je tendence vzorků vyklouzávat z čelistí. Dalším problémem je vysychání vzorků a jejich „ždímání“ vlivem zatížení. V neposlední řadě nesmí materiál čelistí chemicky reagovat s upínanými vzorky.

### 4.4 Mikroskop a použité objektivy

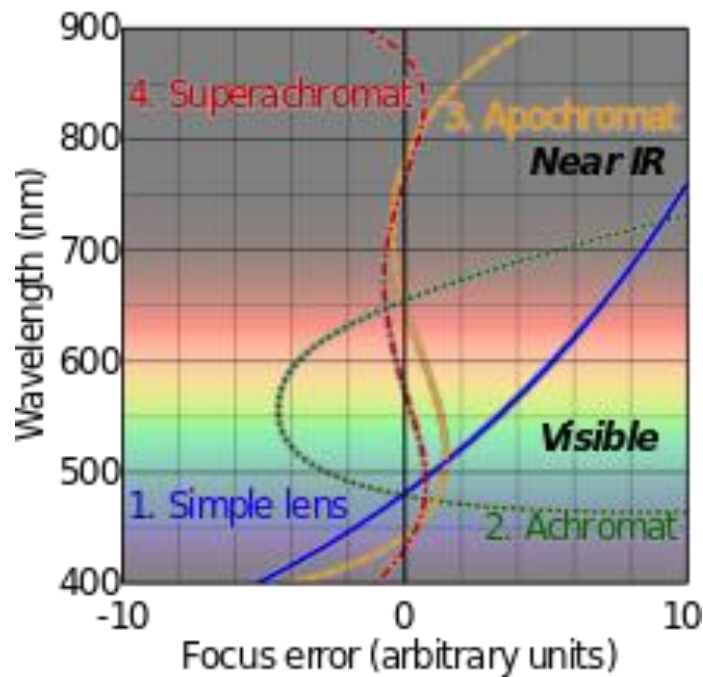
V této kapitole přiblížím vlastnosti mikroskopu a použitého objektivu.

#### 4.4.1 Objektiv Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2

Tento objektiv je opatřen apochromatickou čočkou, která umožňuje dosáhnout rovinnosti až 23 mm a absolutní hodnoty přesnosti - mezi červenou a modrou vlnovou délkou (2 barvy) je  $\leq 2 \times$  hloubka ostrosti.

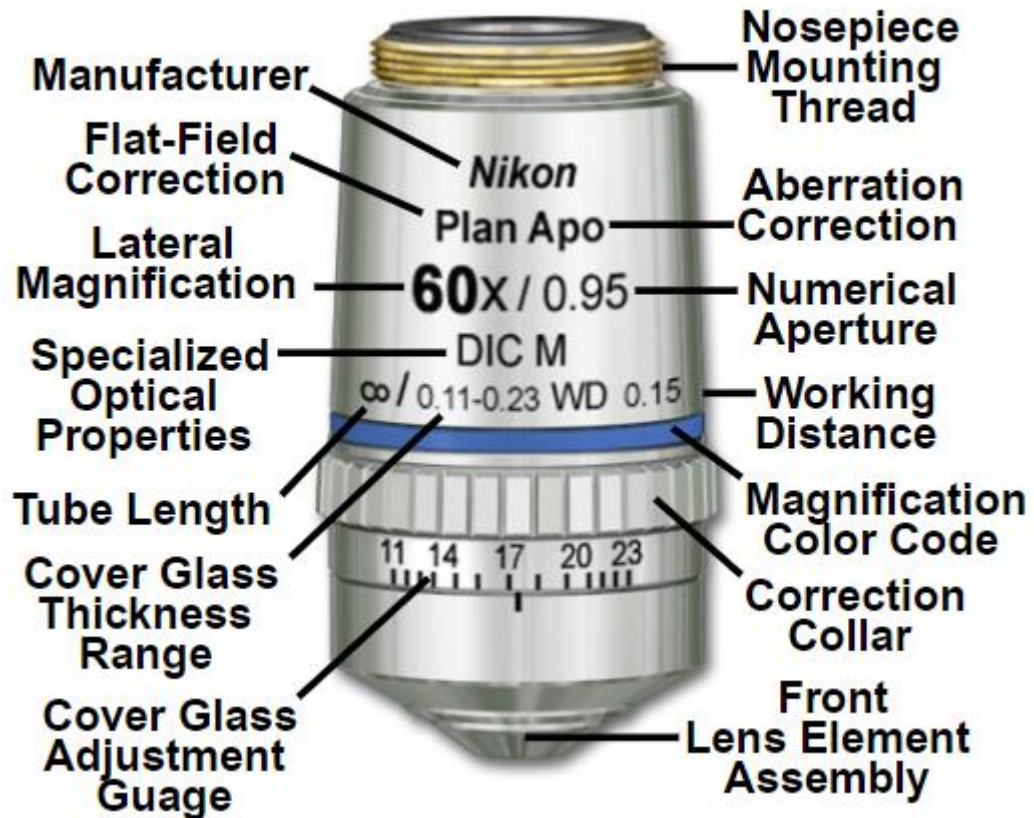
Tyto objektivy dodávají kvalitu obrazu, kterou nelze dosáhnout běžnými objektivy. Objektivy typu Plan Achromats (PL APO) poskytují perfektní axiální a laterální barevnou shodu pro aplikace vyžadující rychlou změnu barvy a kolokaci struktur. PL APO objektivy jsou charakterizovány bezchybnou rovinností obrazu až do čísla pole 25 (obr. 8). [2]





Obr.8.: graf vlastností různých typů objektivů od firmy Lecia [1]

Z obr. 9 vyplývá obecně respektovaný systém značení objektivů. V obr. 10 jsou uvedena data k objektivu, se kterým bude spolupracovat navrhované zařízení.



Obr.9.: značení objektivů [2]

# Obj. HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2

## Datasheet

▶ dimension sheet

<b>Material Number:</b>	11506343
<b>Objective Type:</b>	PLAN APO
<b>Magnification:</b>	20
<b>Numerical Aperture:</b>	0,75
<b>Coverglass:</b>	-
<b>Immersion:</b>	Multiple Immersion
<b>Free Working Distance:</b>	0.68
<b>Objective Thread:</b>	M25
<b>Corr. of Cover Glass Thickness:</b>	Yes
<b>Iris Diaphragm:</b>	No
<b>Spring Loaded:</b>	Yes
<b>Methods:</b>	Brightfield, Optimized for Confocal Scanning, Fluorescence, DIC (Nomarski), Polarisation

Obr.10.: parametry produktu Objektiv Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2 [3]

### 4.4.2 Mikroskop Lecia Dmi8

Mikroskop, na který se zařízení konstruuje je invertovaný mikroskop Leica Dmi8 s binokulárním nástavcem, motorizovaným kondensorem a bočním portem pro připojení kamery na snímání preparátů v procházejícím světle, DIC a fluorescenci; motorizovaný skenovací stolek (rozsah posuvu 127 x 83mm, možnost snímání ROI, TileScan, Mark&Find) s vložkou Super Z Galvo (rozsah z-posuvu 1500 µm). Konfokální hlava UV-VIS-IR: akusticko-optický dělič paprsků (AOBS), konvenční skener (7 fps @ 512x512 při jednosměrném snímání) a rychlý rezonanční skener (14 fps @ 512x512), spektrální detektor s laditelným emisním rozsahem 350 nm - 800 nm [1].

## 4.5 Zprostředkování posunu

V této kapitole shrnu možnosti zprostředkování posuvu čelistí, které pro účely tohoto zařízení mohou vyhovovat.

### 4.5.1 Pohon - elektromotor

Velké množství trhacích zařízení využívá elektrického pohonu. Trh s elektromotory nabízí obrovský výběr typů elektromotorů, z nichž se pokusím vybrat, pro dané účely, nejvhodnější. Mezi nejvhodnější adepty jsem zařadil servomotory a motory krokové, dále trh nabízí např. motory momentové, či trakční - ty jsou však svým výkonem a rozměry pro účely této práce nevhodné. [8]

#### 4.5.1.1 Servomotory

Servomotory jsou pohony používané nejčastěji pro polohování. Jsou vhodné pro možnost velice přesného řízení polohování natočení výstupního hřídele, momentu a rychlosti.

Servomotory mají velice plochou křivku výkonu v závislosti na otáčkách, která je činí vhodnou volbou i pro větší stroje, vyžadující vyšší rychlosti, nebo kroutící moment. [8]



Obr.11.: servomotory [8]

#### 4.5.1.2 Krokové elektromotory

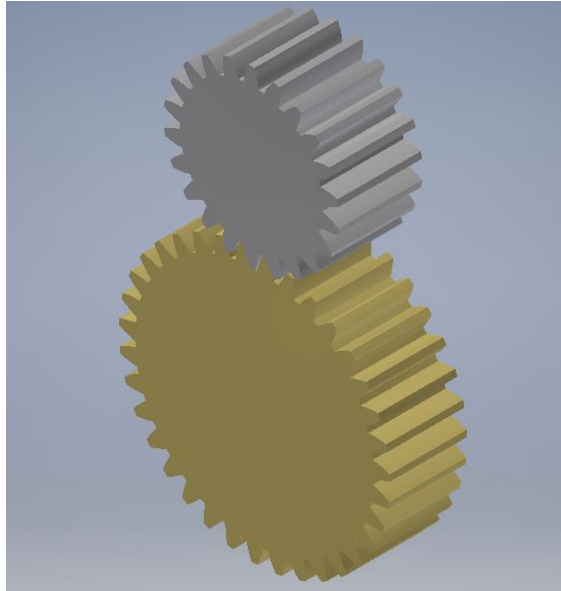
Krokové motory lze díky svým vlastnostem použít pro přesné polohování při zachování velmi dobré ceny. Možnou alternativou k servomotorům jsou krokové motory s enkodérem, kterými lze nahradit servomotor (pokud není vyžadována vysoká výstupní rychlost). Krokové elektromotory fungují na principu zasílání informací o frekvenci pulsů a směru otáčení z řídicí jednotky do elektromotoru, kdy motor následně najede na požadovanou polohu. Tyto motory jsou výhodné pro aplikace kde je třeba velkého rozběhového momentu. Lze také použít jednotky, které obsahují vnitřní kontroler. [8]



Obr.12.: krokové elektromotory [8]

#### 4.5.1 Převod pomocí ozubených kol:kolo – kolo

Tento typ přenosu kroutícího momentu spočívá v užití dvojice spoluzabírajících ozubených kol. Velikou výhodou této volby je snadná instalace, respektive snadné uzpůsobení konstrukce rámu této variantě, nicméně je zde nutno brát v úvahu vůli v ozubení.



*Obr.13.: převod pomocí ozubených kol*

#### 4.5.2 Převod pomocí ozubených kol:kolo - hřeben

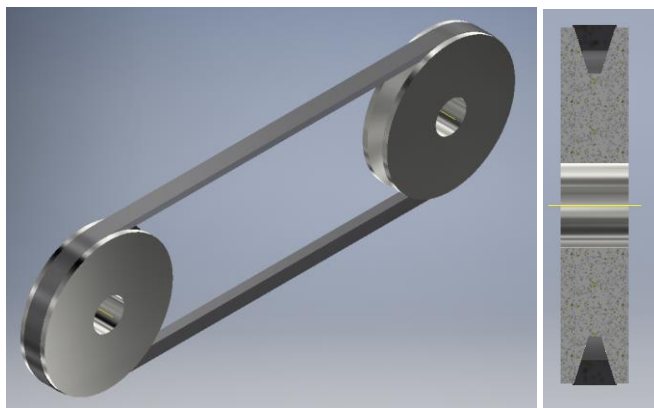
Tento typ převodu spočívá v odvalování ozubeného kola, vlivem čehož se posouvá ozubený hřeben. Výhoda této varianty spočívá v jednoduchosti, kdy by bylo možné připevnit hřeben přímo k upínání vzorku, čímž by se eliminoval vliv vůle mezi upínací částí a částí zprostředkovávající posuv.



*Obr.14.: převod pomocí ozubeného kola a hřebenu [9]*

### 4.5.3 Řemenový převod

Řemenové převody se používají k přenosu malých a středních výkonů. Jejich základní dělení je dle tvaru řemenu na řemeny ploché, řemeny klínové, řemeny kruhové, které fungují na principu tření a díky vlivu ztrát prokluzem jsou pro aplikaci v rámci této práce nevhodné. Dále jsou řemeny ozubené, které na zmíněné problémy netrpí, všechny ozubené řemeny je však nutné předepínat.

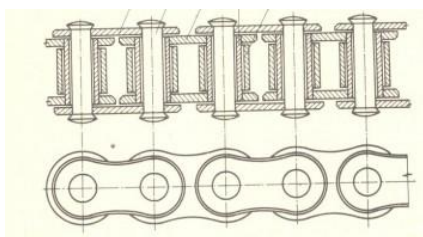


Obr.15.: řemenový převod s klínovým řemenem

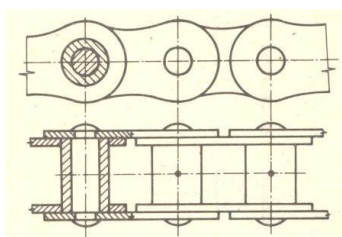
### 4.5.4 Řetězový převod

Nespornou předností řetězového převodu je oproti řemenovému převodu vyšší pevnost a možnost přenesení většího zatížení. Jejich nevýhodou jsou však vyšší pořizovací náklady, vyšší hmotnost a složitější údržba a montáž. Řetězů existuje více typů, z nichž nejběžněji užívanými jsou válečkové řetězy, pouzdrové řetězy a Gallovy řetězy.

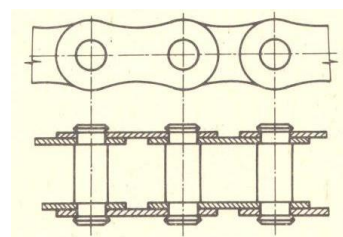
Mimo jednořadých řetězů se řetězy často vyrábí i ve variantách dvouřadých a třířadých, na tyto typy jsem však rešerši, z důvodu jejich nepoužitelnosti v této práci, nerozšiřoval.



Obr.16.: válečkový řetěz [10]



Obr.17.: pouzdrový řetěz [10]



Obr.18.: Gallův řetěz [10]

## 4.6 Pohybový šroub

Pohybový šroub je součást, transformující rotační pohyb na posuvný. Této transformace jsou však schopny jen nesamosvorné šrouby. Pohybové šrouby jsou obvykle několikachodé z důvodu zvýšení účinnosti. Výhodou pohybového šroubu je snadná instalace a cenová dostupnost. Pohybový šroub se rozlišuje na trapézový a kuličkový. Oba typy podrobněji rozeberu v následujících podkapitolách.



#### 4.6.1 Kuličkový pohybový šroub

Kuličkový pohybový šroub je nejběžněji používaným pohybovým šroubem, princip spočívá ve snížení tření mezi šroubem a maticí za pomoci kuliček, které obvykle obíhají vratným kanálkem z konce závitu na začátek, čímž umožňují neomezenou délku posuvu. Kuličkový šroub se dále dělí dle počtu míst styku kuliček s drážkou (2 – kruhový, 4 – gotický).



Obr.19.: princip kuličkového šroubu [11]

#### 4.6.2 Trapézový pohybový šroub

Trapézový šroub s lichoběžníkovým závitem je běžně používaným konstrukčním prvkem. Jeho výhodou je nízká cena a malé rozměry potřebné k jeho umístění (absence kuliček šetří prostor). Nevýhodou lichoběžníkového šroubu je nízká účinnost způsobená třením a nutnost dodávání maziva. Další nevýhodou je nutnost konstrukčního vymezení vůle. Šrouby snášejí pouze axiální zatížení a omezený kroutící moment. [12, 13]



Obr.20.: trapézový šroub [13]

### 4.7 Lineární vedení

Pohybujícím se součástí mechanismu je často potřeba umožnit pohyb pouze v jedné ose, čehož dosáhneme hned několika způsoby, kterým se budu v této kapitole věnovat. Další neméně důležitou funkcí lineárních vedení je jejich minimalizace tření, čímž značně snížíme energetické ztráty a lze použít motorů s nižšími výkony. Další nežádoucí projev tření je vznik tepla, který může mít neblahý vliv na použitý materiál.

#### 4.7.1 Vodící tyče a kuličková pouzdra

Kuličková pouzdra umožňují velice přesné vedení, pohybují se po kruhové tyči. Kuličková pouzdra se vyrábějí i ve vhodných rozměrech a proto jsou již od počátku velmi vhodným adeptem. Jejich další výhodou je i značné snížení tření při pohybu, nemají však vysokou únosnost, ve srovnání s dalšími variantami. Kuličková pouzdra se vyrábějí v několika variantách, ze kterých jsem pro rešeršní účely zvolil pouze ty, které jsou pro konstruované zařízení relevantní. [14, 15]



Obr.21.: kuličkové pouzdro s oboustranným těsněním [16]

##### 4.7.1.1 Kuličková pouzdra otevřená

Otevřená kuličková pouzdra jsou běžně používaná kuličková pouzdra. Jejich specifikem je otevřený prostor kuliček tzn. prostor kuliček není oddělen od vnějšího prostředí. Tato varianta je nejlevnější variantou kuličkových ložisek s nekonečnou oběžnou drahou. Úskalím této varianty je hrozba znečištění prostředí kuliček a zanesení oběžných drah. Další nevýhodou je možnost úniku maziva a jeho kontakt se vzorkem a následné znehodnocení výsledků.

##### 4.7.1.2 Kuličková pouzdra s těsněním

Mezi pro nás vhodné typy jsem zvolil kuličková pouzdra s těsněním, která se od klasického (otevřená kuličková pouzdra) provedení liší utěsněným prostorem ložisek. Tato varianta by byla velice výhodná, protože by v kombinaci s prodlouženým formátem ložiska poskytovala možnost izolovat vzorek od vnějšího prostředí. [15]

#### 4.7.2 Vodící tyče a kluzná pouzdra

Princip kluzných pouzder je založen na nízkém koeficientu tření. Jako materiál pro kluzná pouzdra se nejčastěji používá bronz, popřípadě plast, nebo kompozit. Nespornou výhodou kluzných pouzder je jejich životnost a nízké nároky na údržbu. Jednotlivým typům se budu věnovat v následujících podkapitolách.

#### 4.7.2.1 Bronzová kluzná pouzdra

Bronzová pouzdra se vyrábějí hned v několika provedeních, z nichž každé disponuje specifickými výhodami, ale i rozdílnými úskalími.

Společnou nevýhodou pro bronzová pouzdra je poměrně vysoká hmotnost, nicméně jsou velice odolná vůči korozi, opotřebení a odolávají vysokým provozním teplotám. [17]

##### 4.7.2.1.1. Pouzdra z masivního bronzu

Kluzná pouzdra z masivního bronzu jsou nejběžnější kluzná pouzdra. Tato pouzdra disponují vysokou únosností a možností osazení na hřídele s hrubým povrchem. Jejich nevýhodou je však nutnost dodávat mazací médium. [17]



Obr.22.: kluzná pouzdra z masivního bronzu [17]

##### 4.7.2.1.2. Pouzdra ze svinutého bronzového pásu

Tato pouzdra jsou specifická reliéfem dosedací plochy ložiska, která je opatřena mazacími kapsami. Jedná se o vruby, které umožňují nahromadění maziva a není tedy nutná častá údržba. Tato pouzdra jsou velmi vhodná do prostředí, kde hrozí vniknutí nečistot do prostoru mezi pouzdrem a vodící tyčí. [17]



Obr.23.: kluzná pouzdra ze svinutého bronzového pásu [17]

##### 4.7.2.1.3. Pouzdra ze slinutého bronzu

Tato pouzdra jsou specifická ve své podstatě, jedná se o bronzový porézní základ, který je napuštěn mazivem, což zabezpečuje jejich bezúdržbový chod. Tato



pouzdra poskytují nižší tření, než pouzdra z masivního bronzu a jsou vhodná pro vysoké kluzné rychlosti. [17]

#### 4.7.2.2 Kompozitová kluzná pouzdra

V zásadě se od bronzových pouzder odlišují hmotností, která bývá z pravidla výrazně nižší, než u bronzových a cenou, která je podstatně vyšší. Dále pak tato ložiska nemívají tak vysoké rozpětí provozních teplot. [17]

##### 4.7.2.2.1. PTFE kompozitová pouzdra

Tato pouzdra jsou opatřena vrstvou teflonu, což umožňuje provoz bez maziva. Zásadní výhodou těchto pouzder je bezúdržbovost. Mimo to disponují také velice vysokou životností a možností práce při vysokých kluzných rychlostech. [17]



Obr.24.: PTFE kluzná pouzdra [17]

##### 4.7.2.2.2. POM kompozitová pouzdra

Jedná se o pouzdra ocel–kompozit, opatřena vrstvou kapes pro mazivo, což zaručuje dlouhé intervaly mezi mazáním. Tyto kapsy je nutné nejprve vyplnit mazivem ještě před nasazením na vodící tyč. Po zalisování je pouzdro uloženo na vodící tyči téměř bez vůle. Tato pouzdra jsou určena pro nižší zatížení a pomalé provozní rychlosti. [17]



Obr.25.: POM kluzná pouzdra [17]

#### **4.8 Shrnutí požadavků na vlastnosti navrhovaného zařízení**

Zařízení musí splňovat již zmíněné podmínky. Nejdůležitějším parametrem je konstrukce, která je díky povaze mikroskopu (invertovaná konstrukce) velice specifická, dalším zásadním parametrem zařízení jsou jeho rozměry, které jsou značně limitovány konstrukcí mikroskopu. Zařízení musí být schopno napínat vzorky ve dvou směrech, požadovanou silou, zároveň by však konstrukce měla umožňovat i napínání jen v jedné ose, případně napínání v každé ose rozdílnou silou.

#### **4.9 Rizika pro navrhované zařízení při běžném provozu**

Při konstrukci zařízení je nutné brát ohledy na rizika běžného užívání. Mezi tato rizika patří především poškození při upínání a snímání vzorků a poškození vlivem překročení doporučených maximálních sil a posuvů vlivem neopatrné manipulace. Dále by zařízení mělo odolávat vlhkosti, které bude vystaveno (vlhkost ze vzorků).

Dalším podstatným rizikem je poškození mikroskopu vlivem chybné manipulace se zařízením. Toto riziko je nejzásadnější, neboť vzdálenost vzorku od objektivu je velice malá (0,68 mm), je tedy nutno zajistit, aby nedošlo ke kolizi trhacího zařízení s objektivem mikroskopu, neméně důležité je také předejít kolizi zařízení se stolem mikroskopu.

## 5 Konstrukce zařízení

Následující text přináší přehled o postupu vlastního návrhu a výstupech vlastní konstruktérské práce.

### 5.1 Výběr principů a jednotlivých komponent

Tato kapitola se věnuje volbě jednotlivých komponent, u každé součásti zhodnotím jednotlivé varianty a z nich zvolím nejvhodnější variantu a okomentuji nutnost úpravy konstrukce pro její použití.

#### 5.1.1 Provedení zařízení

Před volbou komponent je nutné zvolit princip fungování trhačického zařízení, na základě kterého budu komponenty volit.

Rozhodl jsem se pro zařízení využívajícího principu trapézového šroubu. Tato varianta se jeví nejvhodnější, protože není nijak zvlášť prostorově ani finančně náročná. Komponenty pro tuto konstrukci budou snadno dostupné a díky možnosti 3D tisku a možnosti užití pokročilého obráběcího centra bude možné některé tvarově specifické komponenty, které nelze koupit, vyrobit.

U této varianty však nastává nutnost posunu síly do osy vzorku. Této problematice se budu věnovat v samostatné kapitole.

#### 5.1.2 Výběr motoru

Vzhledem k poměrně malým požadovaným silám a malému prostoru pro umístění pohonu jsem byl nucen zaměřit se převážně na servomotory a krokové motory, které jsou vhodné díky svým rozměrům a díky svým výkonům bude jejich potenciál plně využit.

Dalším faktorem, který činí tuto volbu vhodnou je finanční hledisko, kdy by bylo přizpůsobení celého zařízení pro použití jiného, např. pneumatického pohonu, podstatně nákladnější, než užití jiných, výše zmíněných způsobů a je tedy nevhodný.

Z nabízených alternativ jsem se tedy přiklonil k možnosti krokových motorů.

Konstrukce zařízení musí respektovat pohyb motoru a umožnit jeho pevné upevnění. Dále musí umožňovat dostatečné proudění vzduchu kolem motoru z důvodu chlazení. Pro tuto variantu je nejlepší možností ponechat motor venku, tedy neukládat ho do uzavřeného prostoru. S touto možností však vzrůstá riziko nahodilého poškození při manipulaci, které musí uživatel brát v potaz.

### 5.1.2.1 Výběr konkrétního pohonu

Po zvolení typu pohonu je nutné vybrat elektromotor vyhovující našim požadavkům, tedy tažné síle a rozměrům a takový, který je cenově dostupný.

Dalším požadavkem je ovladatelnost. Motor musí umožňovat velmi malý posun.

Nejvhodnějším řešením je krokový elektromotor, který disponuje velmi malými rozměry a možnostmi velmi malých posunů, dalším vhodným parametrem je neprůchozí vřeteno. Tato vlastnost nám umožňuje uložení šroubu pohonu do ložiska, čímž se předejde nutnosti pevného uložení druhého konce vřetená.

Pro naše potřeby jsem zvolil krokový elektromotor NEMA SIZE 8 (20 MM) HYBRID STEPPER MOTOR, který má vhodné parametry a lze ho snadno upevnit na konstrukci pomocí šroubů.



Obr.26.: NEMA SIZE 8 (20 MM) HYBRID STEPPER MOTOR [22]

### 5.1.3 Výběr přenosu síly do osy vzorku

Řetězový a řemenový převod se jeví jako nevhodné kvůli nutnosti předepínání, což je v prostoru, který máme k dispozici poměrně náročně realizovatelné a pnutí by mohlo mít nežádoucí účinky na konstrukci zařízení a tedy i na naměřené hodnoty. Dalším zásadním problémem jsou rozměry zařízení, kdy se tyto možnosti jeví jako krajně nevhodné.

Převod pomocí ozubených kol lze, ve srovnání s řetězovým a řemenovým přenosem, poměrně snadno realizovat, v ozubení by však mohla vzniknout vůle, která by při měření značně zkreslovala výsledky. Dalším problémem této varianty je nutnost úpravy výstupu elektromotoru pro potřeby instalace ozubení.

Možnost užití ozubeného kola a hřebenu má stejná úskalí, jako převod pomocí ozubených kol, nezahrnuje však přenos kroutícího momentu do osy vzorku. Tato varianta by však zásadně usnadňovala pojezd vzorku (např. užitím kolejničky).

Kuličkový šroub a trapézový pohybový šroub jsou varianty, které nezahrnují přenos kroutícího momentu do osy vzorku a jeví se jako nejvhodnější varianty, ačkoliv bude nutné přizpůsobení konstrukce a zajištění dostatečné tuhosti rámu a vedení.

Po zvážení kladů a záporů zmíněných variant, jsem se rozhodl pro variantu bez přenosu kroutícího momentu do osy vzorku, tedy použití pohybového šroubu a

lineárního vedení a ponechání vzorku mimo osu působení tažné síly. Tato varianta je z hlediska realizace finančně i technologicky nejméně náročná, vyžaduje však správné umístění měřicí jednotky a vyřešení problému tření a jeho vlivu na výsledky měření.

#### **5.1.4 Volba kluzných elementů**

Vzhledem k volbě trapézového šroubu je nyní nutné zvolit nejvhodnější variantu lineárního vedení.

Budeme se pohybovat v malých rychlostech a malých posuvech, kdy je potřeba zaručit plynulý chod mechanismu. Vibrace a otřesy způsobené neplynulým posuvem by měly zásadní vliv na měření a jeho výsledky by byly nesměrodatné. Tuto hrozbu je tedy nutno eliminovat.

Díky požadavkům jsem se omezil pouze na kuličková pouzdra, jejichž obrovskou výhodou oproti kluzným pouzdrům je plynulý chod při velice nízkých rychlostech a čistota provozu. Čistota provozu je faktor, který má velký vliv na použitelnost zařízení. Při použití kluzných pouzder by hrozila možnost kontaktu kluzného média (oleje) se vzorkem a možnost jeho kontaminace, která by následně mohla znehodnotit výsledky měření a následnou práci se vzorkem.

Po konzultaci jsem zvolil variantu ložiska bez těsnění z důvodu plynulejšího chodu při nízkých rychlostech a nižšího koeficientu tření.

##### **5.1.4.1 Volba konkrétního pouzdra**

Zvolil jsem Lineární ložisko LM8UU pr. 8 mm, které plně postačuje požadavkům. Výhodou tohoto ložiska je jeho tichý chod a oproti ložisku s těsněním má nižší koeficient tření.



*Obr.27.: Lineární ložisko LM8UU pr. 8 mm [23]*

### 5.1.5 Volba způsobu měření

Při umístění měřicího elementu se nám nabízejí hned dvě varianty.

První variantou je měření deformace ohýbaného elementu. Tato možnost je konstrukčně méně náročná, nicméně prostorově náročnější. Dále by to vyžadovalo vysokou tuhost posuvného členu a eliminovat vliv ohybu na trapézový šroub a na kluzné elementy.

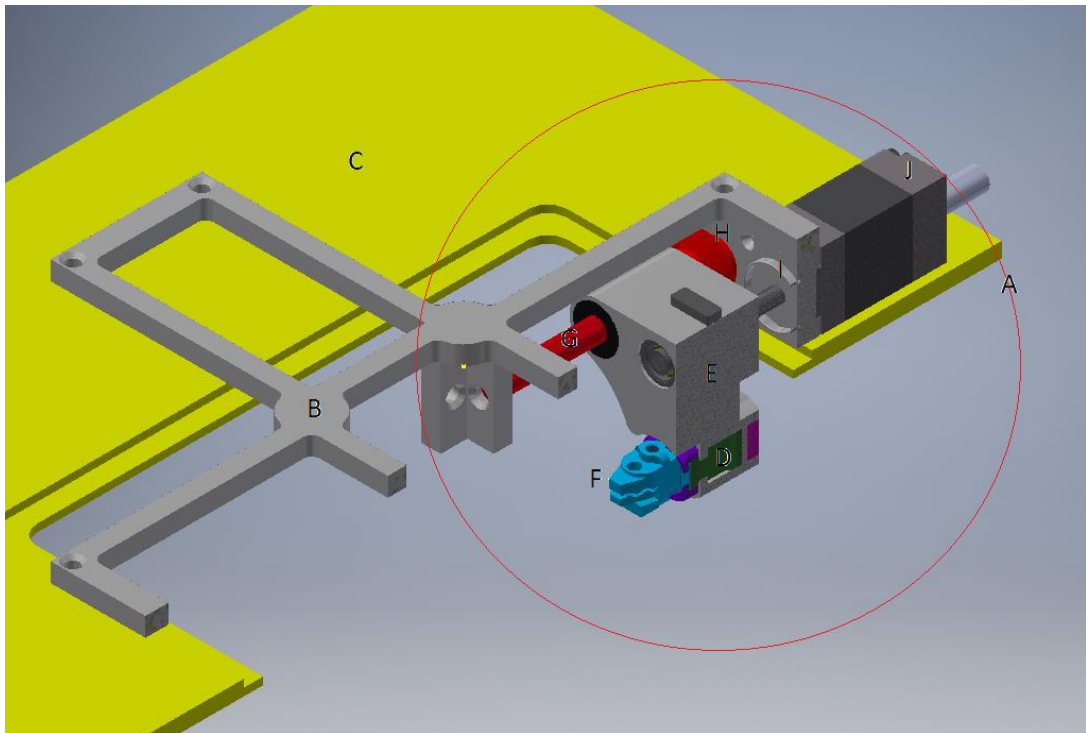
Druhou variantou je měření deformace měřeného segmentu v tahu a následné vyhodnocení výsledků. Tato varianta je dle mého názoru vhodnější, protože vyžaduje menší manipulační prostor pod osou pohybového šroubu, což je parametr, který je nutné udržet co možná nejmenší. Nevýhoda této varianty spočívá v nutnosti krytování tenzometru a tvarové a konstrukční přizpůsobení měřeného členu. Zvolil jsem tedy tuto variantu.

## 5.2 Konstrukce jednotlivých částí

V této kapitole představím svůj návrh konstrukce zařízení a odůvodním svou volbu.

Celé zařízení jsem se rozhodl rozdělit do čtyř totožných segmentů (A), které se následně smontují dohromady a zpevní konzolou (B) a uloží na stůl (C).

Obrázek vyobrazuje všechny klíčové konstrukční uzly (měřený prvek (D), Jezdce (E), čekisti (F), vodící tyče (G), krycí manžetu (H), koncový doraz (I) a pohon (J)).



Obr.28.: pohled na hotový segment trhačického zařízení připevněný na konzolu

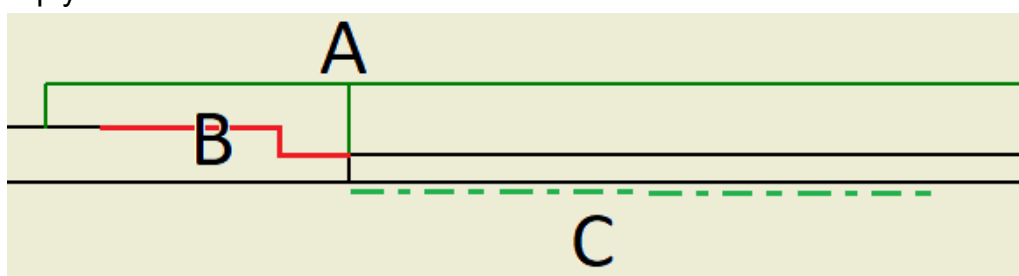
### 5.2.1 Konstrukce základny

Základna je prvek, který přímo dosedá na stůl mikroskopu. Tato část zařízení má za úkol zajistit dostatečnou tuhost celku a jeho stabilní umístění.

Konstrukce tohoto prvku musí respektovat rozměry stolu mikroskopu a jeho geometrii. Zároveň však musí být co nejlehčí, aby zbytečně nezatěžovala stůl mikroskopu. Dále musí umožňovat co nejsnazší umístění zařízení na stůl mikroskopu a jeho aretaci.

Dalším faktorem ovlivňujícím konstrukci základny je snadná smontovatelnost zařízení, kdy musí být zároveň zachována geometrie zařízení.

Konstrukční požadavky jsou dobře patrné ze schématu na obr. 29. Základna (A) musí zapadat do díry (B), nesmí však zasahovat pod stůl mikroskopu (C), aby nebránila plynulému chodu zařízení.



Obr.29.: detail dosedací plochy a tvaru stolu mikroskopu

### 5.2.2 Návrh měřicího elementu

Návrh měřeného členu je zásadním konstrukčním prvkem, který má obrovský vliv na přesnost měření a na jeho náročnost.

Jak jsem již popsal v jedné z předchozích kapitol, budeme měřit deformaci tělesa namáhaného na tah. Z této volby vyplývá, že je nutné eliminovat ohyb tělesa.

Ideálním tělesem, po pevnostní stránce, by byl válec, válec však není vhodným tělesem z důvodu lepení tenzometru, kterým budeme deformace měřit. Z důvodu lepení tenzometru je nutné mít rovnou plochu, tudíž použijeme obdélníkový profil.

Takovéto těleso nám umožní měření pouze v jednom směru a eliminovat tak vliv ohybu.

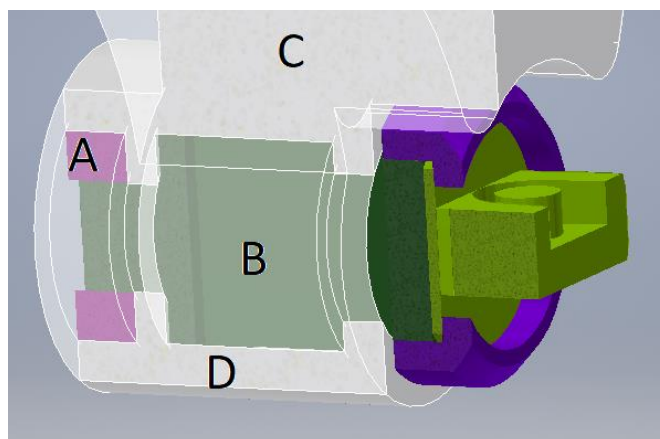
Těleso musí být dále možné pevně uchytit k vozíku a k čelistem.

Jak je vidět na obr. 30, zvolil jsem metodu závitového spojení, kdy matice (A) pevně spojí měřené těleso (B) s vozíkem (C).

Další výhodou tohoto tvaru je jeho snadné opláštění, tedy instalace krycí trubky (D), eliminující možnost nahodilého poškození tenzometru při manipulaci.

Krycí trubku jsem se nakonec rozhodl přímo zakomponovat do konstrukce jezdce, což zároveň zvýšilo tuhost celého členu.





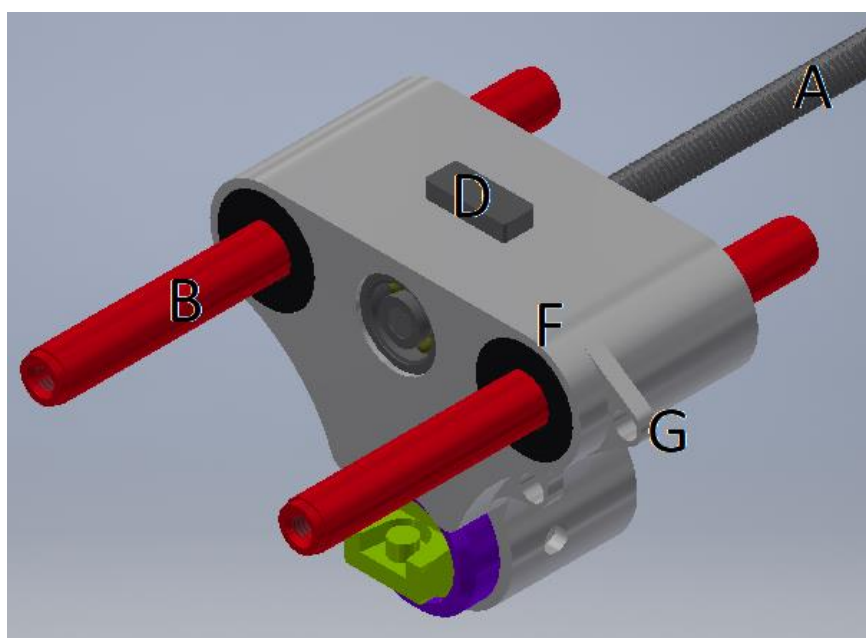
Obr.30.: detail měřicího elementu zasazeného do vozíku

### 5.2.3 Konstrukce vozíku

Vozík (obr. 31) je prvek, na kterém je přímo umístěný měřený prvek v pouzdře (H). Tato součást je přímo umístěna na pohybovém šroubu (A) a na vodících kolejkách (B). Vozík musí respektovat rozměry a geometrii stolu mikroskopu (C).

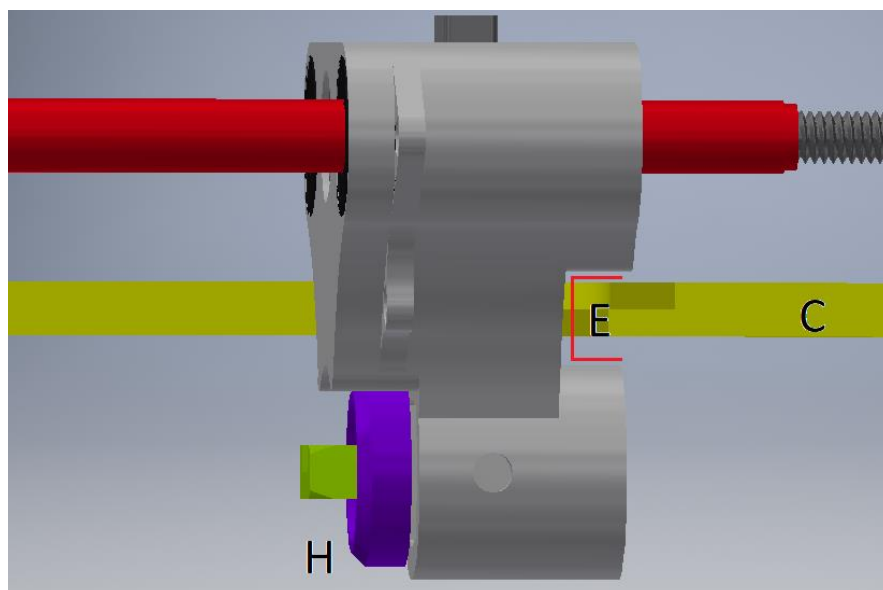
Vozík disponuje prvkem, který vymezuje vůli pohybového šroubu (D) (obr 31), a ubrání (E) (obr. 32) umožňuje mnohem delší pojezd. V tomto elementu jsou zalisována kuličková pouzdra (F).

Vozík je dále opatřen výstupky pro snadné uspořádání kabelů a možnost předejít jejich poškození (G).



Obr.31.: vozík usazený na koleje





Obr.32.: boční pohled vozíku

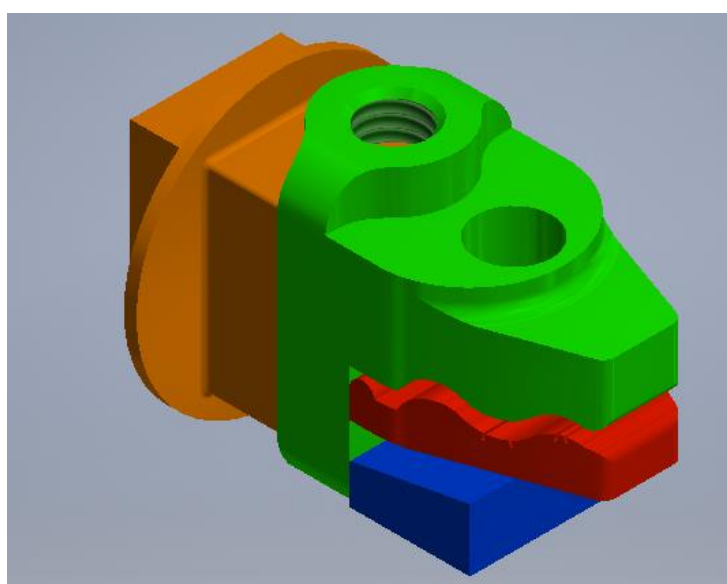
#### 5.2.4 Konstrukce konzoly

Funkcí konzoly (obr. 28) je zachování geometrie zařízení.

Konzolu jsem navrhl jako monolitický prvek, který bude nutné velmi přesně obrobit a následně jej umístit na vrchní část zařízení. Má konstrukce konzoly spočívá v křížících se nosnících, jejichž uzly jsem se rozhodl z montážních a pevnostních důvodů vyztužit. Konzola musí respektovat rozměry a pohyby vozíku.

#### 5.2.5 Konstrukce čelistí

Konstrukce čelistí (obr. 34) byl jeden z největších konstrukčních problémů.



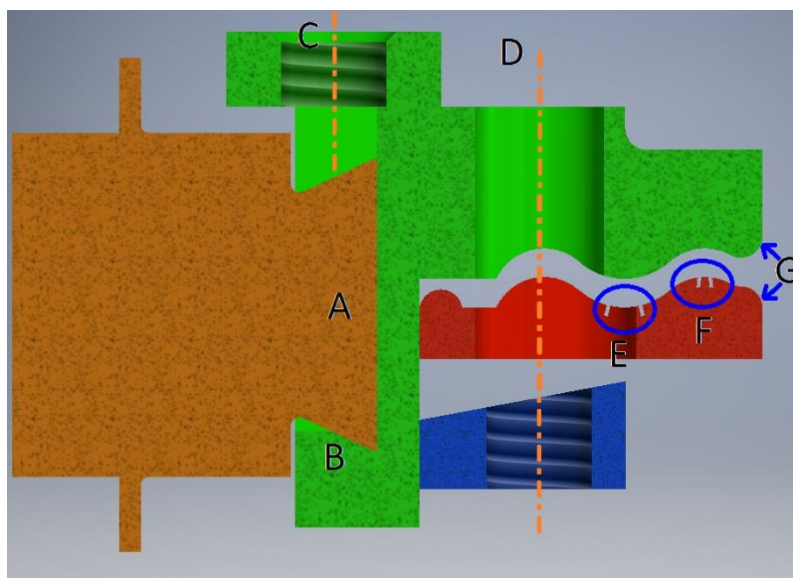
Obr.34.: celkový pohled na návrh konstrukce čelistí

Zásadním problémem je povaha vzorků, které jsou mokré a kluzké, zároveň jsou však velmi pružné. Tyto vzorky mají tendence vyklouznout z čelistí.

Požadavky na čelisti jsou tedy takové, aby byla možnost upínat kluzké vzorky, zároveň je však čelisti nesmí žádným způsobem poškodit a to ani při manipulaci. Čelisti tedy nesmí mít žádné ostré hrany, se kterými by vzorek přicházel do styku. Dále musí být snadno ovladatelné uživatelem a upínání vzorku nesmí být náročné.

Původním návrhem byly čelisti pevně spojené s měřícím segmentem, což by zajišťovalo naprosto přesné měření, nicméně se vyskytl problém, kdy by musela být obsluha zařízení velice opatrná, aby nedošlo k nahodilému poškození zařízení při upínání vzorku. Dospěl jsem tedy k názoru, že bude nutné vymyslet konstrukci, kdy budou čelisti odnímatelné, nicméně jejich spojení s měřeným elementem bude bezvůlové.

Finální verze čelistí (obr. 33), respektive jejich upevnění k měřenému členu je za pomoci příruby (A) a převlečného elementu (B), který je dotahován šroubem (znázorněn pouze osou) (C) a zajišťuje bezvůlové spojení čelistí s měřeným elementem.



Obr.33.: řez čelistmi

Dalším požadavkem je minimální hmotnost, abychom předešli namáhání měřeného elementu na ohyb a tedy nepřesnému měření.

Čelisti samotné musí udržet vzorek a mít schopnost odvodu přebytečné vlhkosti. Finální verze čelistí (obr. 33) je dotahována šroubem (znázorněn pouze osou) (D), který zajišťuje pevné uchopení vzorku, dále disponují kanálky (E), (F), které zajišťují odvod přebytečné vlhkosti. Zdrsnění na povrchu zajišťuje v kombinaci se zvlněním pevné uchopení i kluzkých vzorků. Dále čelisti disponují zaobleními (G), která umožňuje manipulaci se vzorkem bez hrozby jeho natržení.

## 6 Závěr

Práce přinesla přehled používaných metod testování mechanických vlastností biologických vzorků včetně příkladů komerčně dostupných zařízení. V přímé souvislosti s cílem práce je pak představen přehled možných konstrukčních řešení důležitých uzlů a funkcionalit navrhovaného zařízení, ze kterého jsou vybírány prostředky pro realizaci vlastního konstrukčního návrhu zařízení.

Představené zařízení je navrženo tak, aby splňovalo všechny požadavky na něj kladené. S ohledem na rozsah práce bylo po diskusi s vedoucím práce upuštěno od detailních kontrol jednotlivých komponent, které jsou tvarově poměrně složité a analyticky jen obtížně popsitelné.

Tuto tvarovou složitost jsem si mohl dovolit s ohledem na dostupnost 3D tisku, který má pracoviště zadavatele práce k dispozici pro výrobu prototypů a funkčních provedení aparatur a jejich specifických součástí.

V době odevzdávání práce probíhá optimalizace modelů pro 3D tisk a připravuje se jejich výroba. Spolupráce se zadavatelem pokračuje a její součástí budou i pevnostní kontroly některých komponent metodou konečných prvků.

## 7 Literatura

- [1] Lecia microsystems. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/p/leica-dmi8/>
- [2] MicroscopyU. Microscope Objective Specifications [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/microscope-objective-specifications>
- [3] Datasheet objektivu Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2. Dostupné z: [http://neurodiscovery.harvard.edu/files/hndc/files/20\\_leica\\_microsystems.pdf](http://neurodiscovery.harvard.edu/files/hndc/files/20_leica_microsystems.pdf)
- [4] MTS s.r.o.. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.mts.com/en/products/industry/index.htm>
- [5] Torontech Inc. [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.torontech.com/materials-testing/universal-testing-machines/universal-testing-machine-electromechanical-series>
- [6] GALDABINI s.r.o.. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.zkusebni-stroje.cz/galdabini-quasar.html>
- [7] Zwickroell s.r.o.. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/en/biaxial-testing-machines/cruciform-testing-machine>
- [8] RAVEO s.r.o.. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [https://www.raveo.cz/servo\\_motor](https://www.raveo.cz/servo_motor)
- [9] Essentra components s.r.o. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.essentracomponents.cz/>
- [10] BOLEK Alfréd. Části strojů 1. svazek Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989 ISBN: 80-03-00046-7
- [11] KSK Precise Motion, a.s. [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.ksk-pm.com/trapezoidal-screws>
- [12] SKF a.s. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/index.html>
- [13] NEFF Gewindetriebe GmbH PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.neff-ball screws.com/products/trapezoidal-screw-drives.html>
- [14] UZIMEX PRAHA, spol. s r.o. [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <http://www.uzimex.cz/Vyrobce/Nippon-bearing/Vedeni-na-valcovych-tycich/Kulickova-pouzdra.html>
- [15] Target Plus s.r.o. [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://www.targetplus.cz/kulickova-linearni-pouzdra.html>
- [16] VK LOŽISKA s.r.o. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <http://www.vkloziska.cz/kulickova-pouzdra-a-vodici-tyce-hiwin>
- [17] Exvalos spol. s r.o. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <http://www.exvalos.cz/kluzna-loziska---pouzdra/kluzna-loziska---pouzdra-skf-/>

- [18] OVSÍK Martin. Výzkum možností nových metod měření tvrdosti polymerů [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/25609/ovs%C3%ADk\\_2013\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/25609/ovs%C3%ADk_2013_dp.pdf?sequence=1). Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Maňas David, Ph.D.
- [19] TEPLÝ Stanislav Bc.. Stanovení materiálových charakteristik metodou instrumentované indentace [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66328/F2-DP-2016-Teply-Stanislav-Teply%20diplomova%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.
- [20] Vladimír Ježek prezentace na ÚFE [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [http://physics.muni.cz/~dorian/Jezek\\_Nanoindentace.pdf](http://physics.muni.cz/~dorian/Jezek_Nanoindentace.pdf)
- [21] Modelování a aproximace v biomechanice [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [http://www.mech.fd.cvut.cz/education/archiv/k618yamb/download/biomechanika-1/2\\_mech\\_vl.pdf](http://www.mech.fd.cvut.cz/education/archiv/k618yamb/download/biomechanika-1/2_mech_vl.pdf)
- [22] Moons' Industries (Europe) s.r.l. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [https://www.moonsindustries.com/c/hybrid-stepper-motors-a0201/framesize-NEMA8\(20mm\)](https://www.moonsindustries.com/c/hybrid-stepper-motors-a0201/framesize-NEMA8(20mm))
- [23] Siran 3D Evolution s.r.o. PRODUKTY [online]. [Cit. 21.6.2019]. Dostupné z: [https://www.vsepro3dtisk.cz/p/linearni-lozisko-lm8uu-pr-8-mm?gclid=CjwKCAiAr\\_TQBRB5EiwAC\\_QCqxNc3RaCAYX-T2sDDDQe58v7e-4F8clJnKgB3V09qu6ZA9pQzpm4ExoCWHgQAvD\\_BwE](https://www.vsepro3dtisk.cz/p/linearni-lozisko-lm8uu-pr-8-mm?gclid=CjwKCAiAr_TQBRB5EiwAC_QCqxNc3RaCAYX-T2sDDDQe58v7e-4F8clJnKgB3V09qu6ZA9pQzpm4ExoCWHgQAvD_BwE)

## 8 Seznam obrázků

- Obr.1.: mikroskop Lecia Dmi8 [1]
- Obr.2.: pracovní verze stolu mikroskopu se zvýrazněnou funkční plochou
- Obr.3.: demonstrace maximálních dovolených rozměrů zařízení
- Obr.4.: závislost indentační síly na hloubce (a) a na čase (b) [18]
- Obr.5.: Exceed 65 od firmy MTS [4]
- Obr.6.: QUASAR 2,5kN od firmy GALDABINI [6]
- Obr.7.: Biaxial Testing Machine for biomaterials od firmy Zwick Roell [7]
- Obr.8.: graf vlastností různých typů objektivů od firmy Lecia [1]
- Obr.9.: značení objektivů [2]
- Obr.10.: parametry produktu Objektiv Leica HC PL APO 20x/0.75 IMM CORR CS2 [3]
- Obr.11.: servomotory [8]
- Obr.12.: krokové elektromotory [8]
- Obr.13.: převod pomocí ozubených kol
- Obr.14.: převod pomocí ozubeného kola a hřebenu [9]
- Obr.15.: řemenový převod s klínovým řemenem
- Obr.16.: válečkový řetěz [10]
- Obr.17.: pouzdrový řetěz [10]
- Obr.18.: Gallův řetěz [10]
- Obr.19.: princip kuličkového šroubu [11]
- Obr.20.: trapézový šroub [13]
- Obr.21.: kuličkové pouzdro s oboustranným těsněním [16]
- Obr.22.: kluzná pouzdra z masivního bronzu [17]
- Obr.23.: kluzná pouzdra ze svinutého bronzového pásu [17]
- Obr.24.: PTFE kluzná pouzdra [17]
- Obr.25.: POM kluzná pouzdra [17]
- Obr.26.: NEMA SIZE 8 (20 MM) HYBRID STEPPER MOTOR [22]
- Obr.27.: Lineární ložisko LM8UU pr. 8 mm [23]
- Obr.28.: pohled na hotový segment trhačícího zařízení připevněný na konzolu
- Obr.29.: detail dosedací plochy a tvaru stolu mikroskopu
- Obr.30.: detail měřeného elementu zasazeného do vozíku
- Obr.31.: vozík usazený na koleje
- Obr.32.: boční pohled vozíku
- Obr.33.: řez čelistmi
- Obr.34.: celkový pohled na návrh konstrukce čelistí