

EXPERIMENTÁLNÍ STUDIUM UTVÁŘENÍ MAZACÍHO FILMU V SYNOVIÁLNÍM KLOUBU

Pavel Čípek, Ing.

Školitel: doc. Ing. Martin Vrbka Ph.D.

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

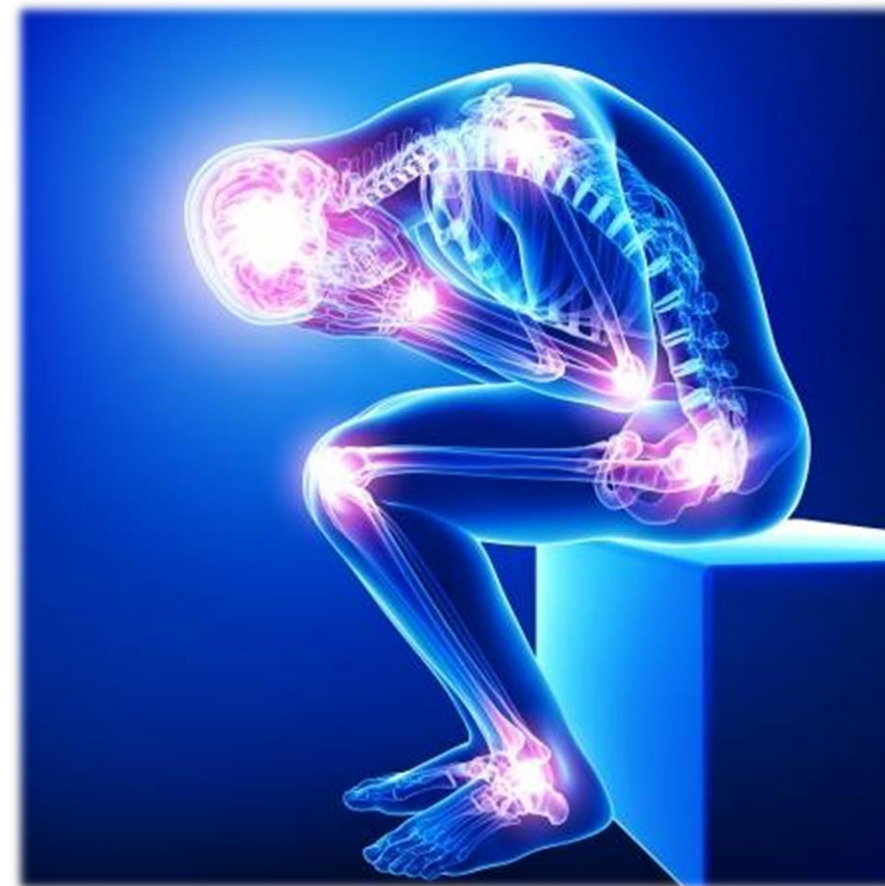
Brno, 21.11.2018



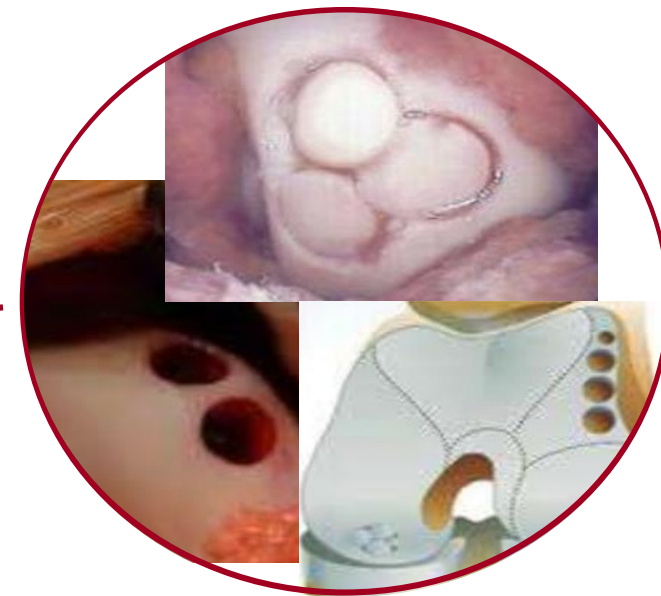
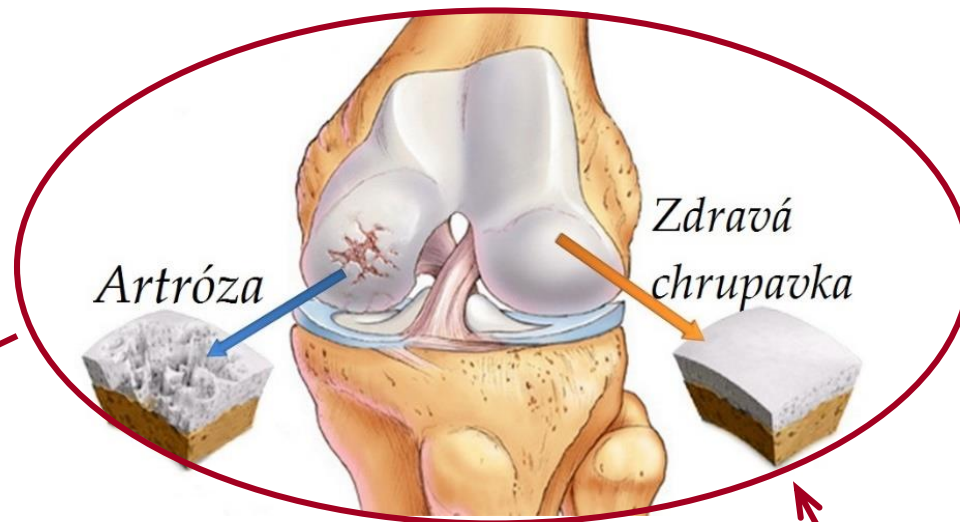
ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

Obsah prezentace

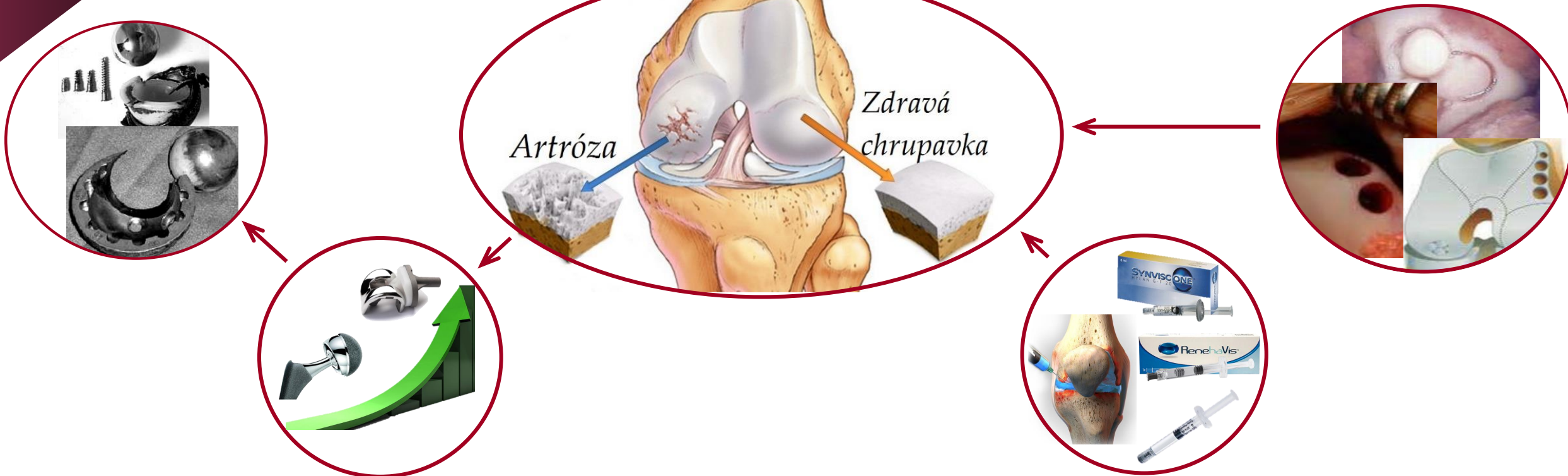
- Motivace
- Úvod do problematiky
- Shrnutí současného stavu poznání
- Analýza a zhodnocení poznatků
- Vymezení cílů disertační práce
- Vědecká otázka a pracovní hypotézy
- Materiál a metody
- Současný stav řešení disertační práce
- Závěr



Motivace



Motivace



- Součinitel smykového tření (CoF)
- Vizualizace mazacího filmu
- Utváření mazacího filmu

- Málo popsaná oblast tření a mazání
- Neověřené teorie
- Omezený počet publikací

Shrnutí současného stavu poznání

Studium mazacího filmu v synoviálním kloubu

Metodika odběru a uchovávání vzorků

- Druh kloubu
- Druh zvířete
- Roztok pro uchování vzorků
- Podmínky pro uchování vzorků

Experimentální zařízení

- Druh pohybu
- Provozní podmínky
- Konfigurace zařízení
- Zaměření experimentů
- Požadavky na měřené veličiny

Tření v synoviálním kloubu

- Vliv provozních podmínek
- Vliv složení maziv
- Vliv rehydratace
- Vliv kontaktních dvojic

Mazání v synoviálním kloubu

- Struktura tkáně chrupavky
- Režim mazání
- Metody pro vizualizaci mazacího filmu

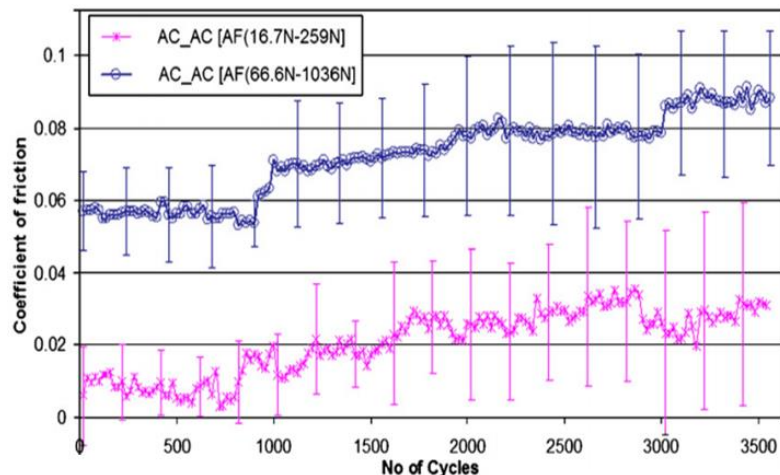
Shrnutí současného stavu poznání

2008

MCCANN, L. a kol.

Tribological testing of articular cartilage of the medial compartment of the knee using a friction simulator.

- Kyvný tribometr
- Chrupavka – chrupavka/kov
- Měření CoF a opotřebení



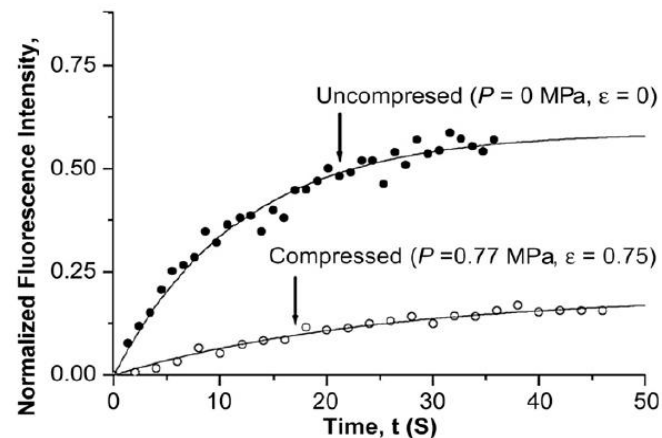
Státní doktorská zkouška

2008

GREENE, G. W. a kol.

Changes in pore morphology and fluid transport in compressed articular cartilage and the implications for joint lubrication.

- Proudění kapaliny skrz strukturu chrupavky pomocí fluorescence
- Nastínění funkce mazání pomocí vytlačování kapaliny ze struktury

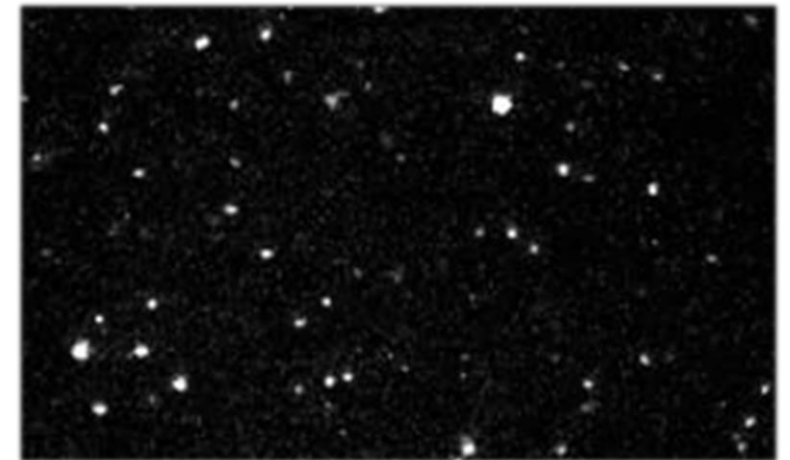


2009

YARIMITSU, S. K. a kol.

Influences of lubricant composition on forming boundary film composed of synovia constituents.

- Pin-on-plate, pin – vzorek hydrogelu
- Vizualizace mazacího filmu pomocí fluorescence s různými mazivy



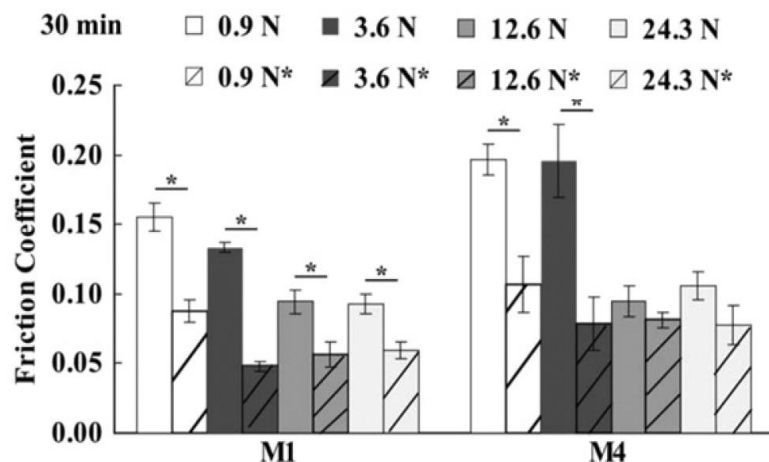
Shrnutí současného stavu poznání

2011

CHAN, S.M.T. a kol.

The role of lubricant entrapment at biological interfaces: Reduction of friction and adhesion in articular cartilage.

- Pin-on-disk
- Chrupavka – chrupavka/kov
- Vzorky z různých částí kloubu



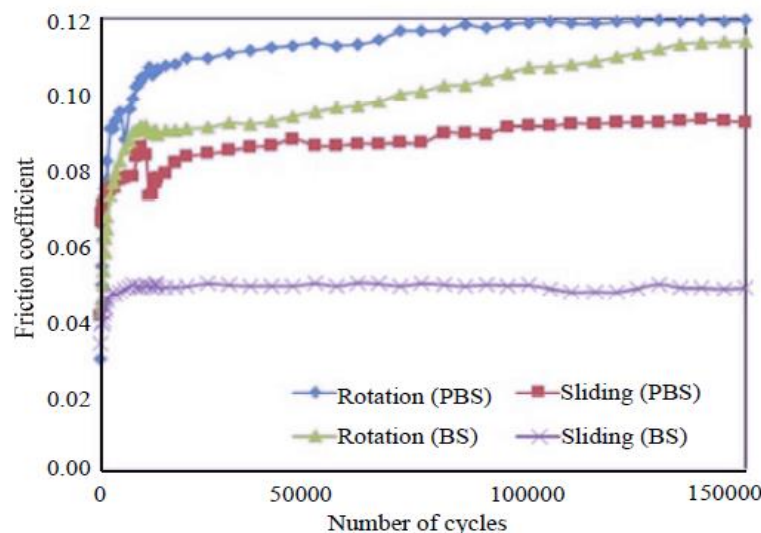
Státní doktorská zkouška

2015

CILINGIR, A. C. a kol.

Effect of Rotational and Sliding Motions on Friction and Degeneration of Articular Cartilage under Dry and Wet Friction.

- Pin-on-plate, různé druhy pohybu
- Chrupavka – chrupavka
- Měření CoF a opotřebení

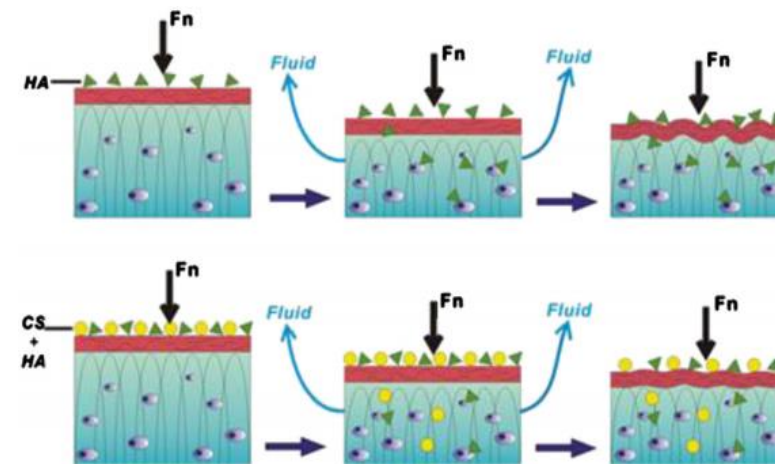


2015

WU, T. a kol.

The lubrication effect of hyaluronic acid and chondroitin sulfate on the natural temporomandibular cartilage under torsional fretting wear.

- Měření CoF a opotřebení
- Popis pronikání částic do struktury chrupavky



7/22

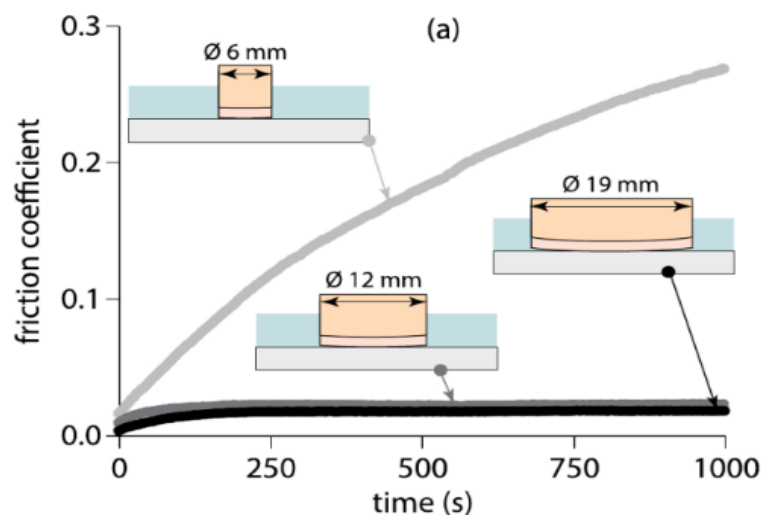
Shrnutí současného stavu poznání

2016

MOORE, A. a kol.

New Insights Into Joint Lubrication.

- Pin-on-plate
- Chrupavka – sklo
- Měření CoF, vliv velikosti vzorků



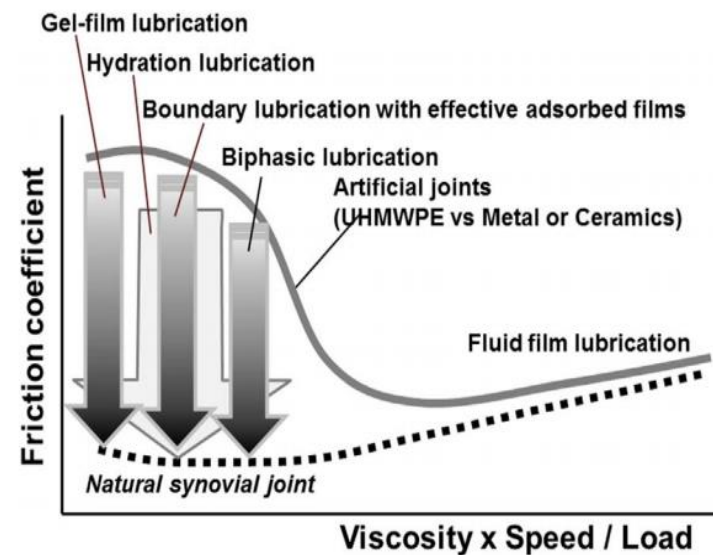
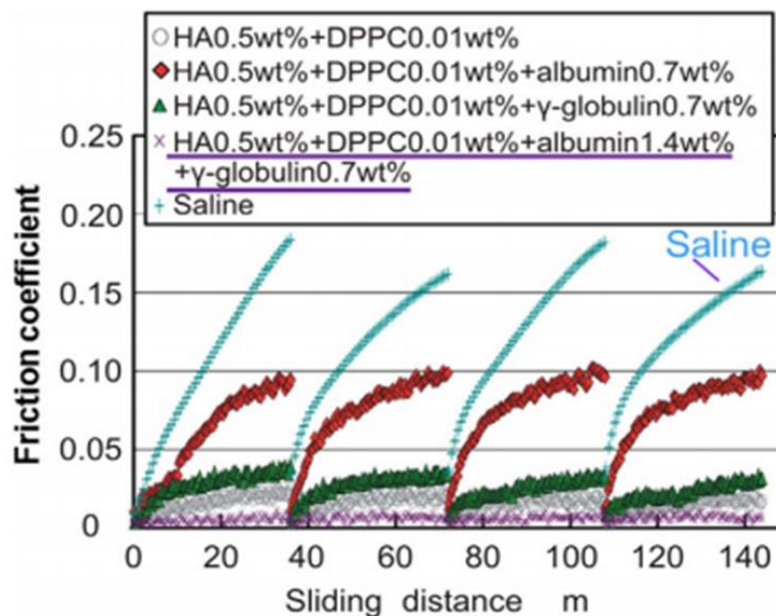
Státní doktorská zkouška

2017

MURAKAMI, T. S. a kol.

Importance of adaptive multimode lubrication mechanism in natural synovial joints.

- Pin-on-plate simulátor s recipročním pohybem
- Měření CoF s různými mazacími roztoky
- Popis teorií mazání



8/22

Analýza a zhodnocení výsledků

Studium mazacího filmu v synoviálním kloubu

Tření v synoviálním kloubu

- ✓ Metodologie odběru vzorků chrupavek
- ✓ Vliv provozních podmínek na vývoj CoF
- ✓ Vliv kontaktních materiálů na vývoj CoF
- Vliv složení synoviální kapaliny na vývoj CoF

Mazání synoviálního kloubu

- Popis funkce struktury chrupavky v mazání synoviálního kloubu
- Vizualizace mazacího filmu v kontaktu hydrogelu
- Popis teorií režimů mazání synoviálního kloubu

- ✗ Vizualizace a popis utváření mazacího filmu v modelu synoviálního kloubu
- ✗ Kombinace měření CoF a vizualizace mazacího filmu
- ✗ Vliv složení synoviální kapaliny na tření a mazání

Vymezení cílů disertační práce

- **Hlavní cíl**

- Provést experimentální analýzu součinitele smykového tření a utváření mazacího filmu v modelu synoviálního kloubu s využitím fluorescenční mikroskopie a cílem popsat vliv jednotlivých složek synoviální kapaliny na formování mazacího filmu.

- **Dílčí cíle**

- Návrh a výroba experimentálního zařízení
- Návrh a ověření metodologie odběru a uchovávání vzorků chrupavky
- Implementace metody fluorescenční mikroskopie
- In situ pozorování kontaktu
- Analýza a interpretace výsledků

Vědecká otázka a pracovní hypotézy

- **Vědecká otázka**

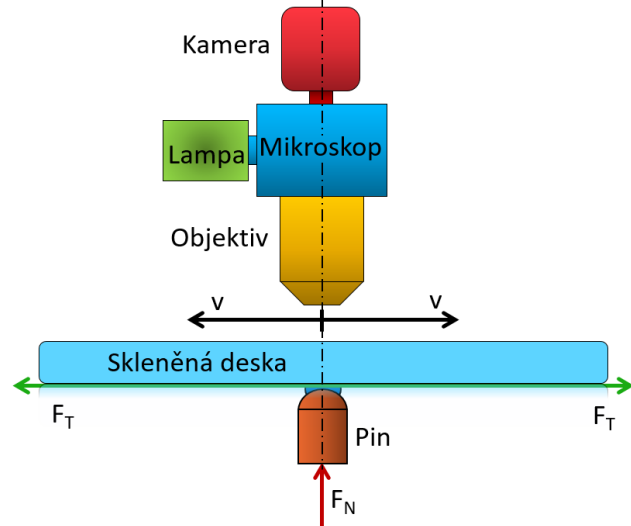
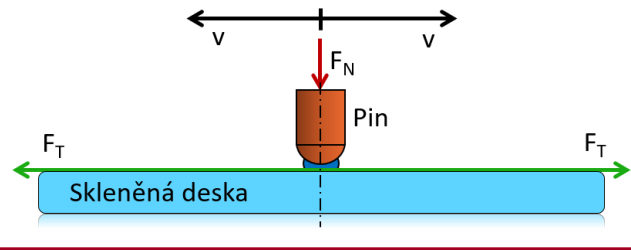
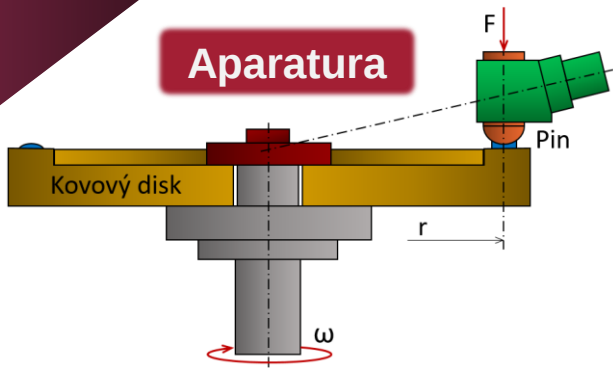
- Jaký vliv mají jednotlivé složky synoviální kapaliny na utváření mazacího filmu a součinitel smykového tření v synoviálním kloubu?

- **Pracovní hypotéza**

- Hlavní roli při tvorbě mazacího filmu v kontaktu bude hrát protein γ -globulin, avšak v závislosti na jeho koncentraci a poměru vůči ostatním složkám maziva.
 - Podobné chování vykazuje mazací film v případě hydrogelu
 - Hydrogel vs. chrupavka
 - Podobné tribologické vlastnosti – CoF
 - Podobné mechanické vlastnosti – modul pružnosti, Poissonův poměr
 - Podobný obsah vody ve struktuře

Materiál a metody

Aparatura



Státní doktorská zkouška

Mini Traction
Machine (MTM)

Bruker
TriboLAB

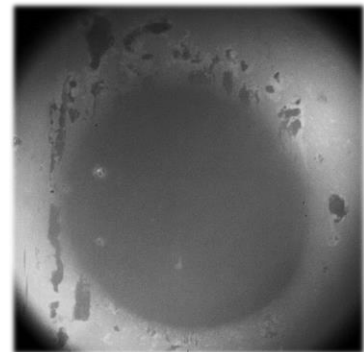
Nový reciproční
tribometr

Podmínky experimentů

- Mazivo – PBS
 - $F = 5 \text{ N}$
 - $v = 10 \text{ mm/s}$
 - Vzorky – chrupavka
-
- Mazivo – PBS
 - $F = 15, 20 \text{ N}$
 - $v = 5, 10 \text{ mm/s}$
 - Vzorky – PTFE, chrupavka
-
- Mazivo – PBS, modelové kapaliny
 - $F = 2 - 20 \text{ N}$
 - $v = 2 - 30 \text{ mm/s}$
 - Vzorky – chrupavka

Sledované parametry

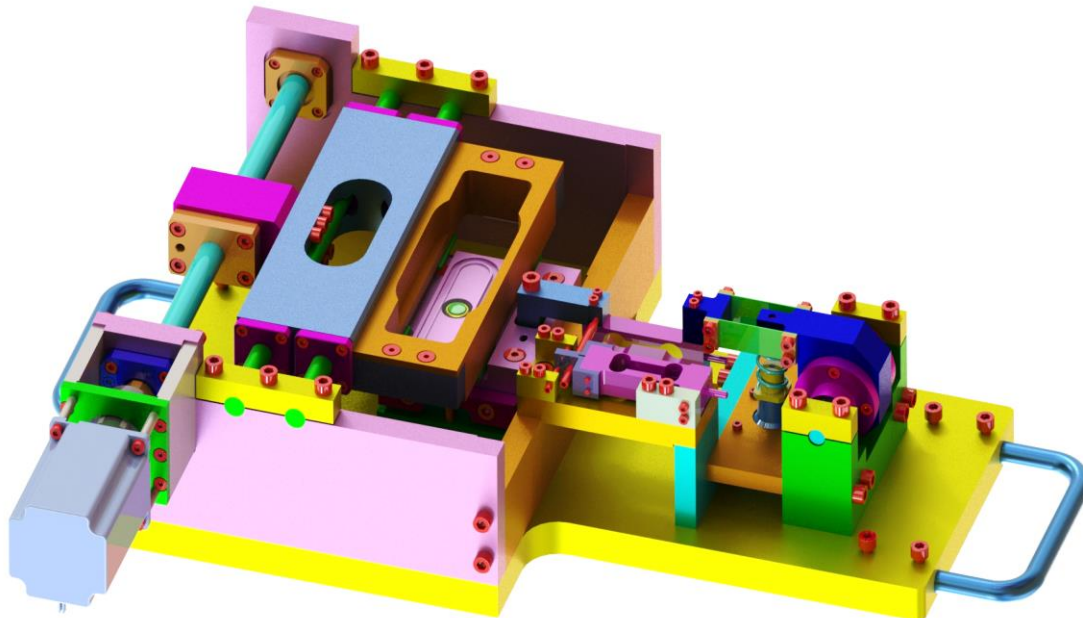
- Verifikace metodologie odběru a uchovávání vzorků
 - CoF
-
- Verifikace nového tribometru
 - CoF
-
- Porovnání experimentů s existujícími publikacemi
 - Analýza CoF
 - Vizualizace kontaktu
 - Analýza vlivu jednotlivých složek modelových kapalin



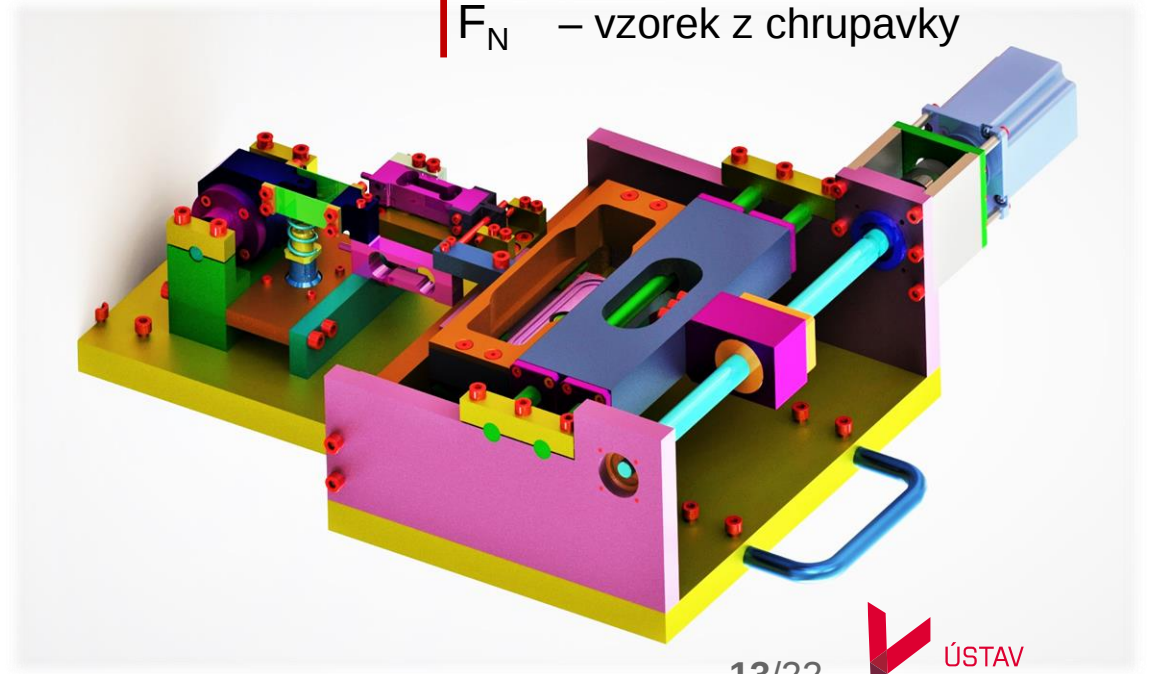
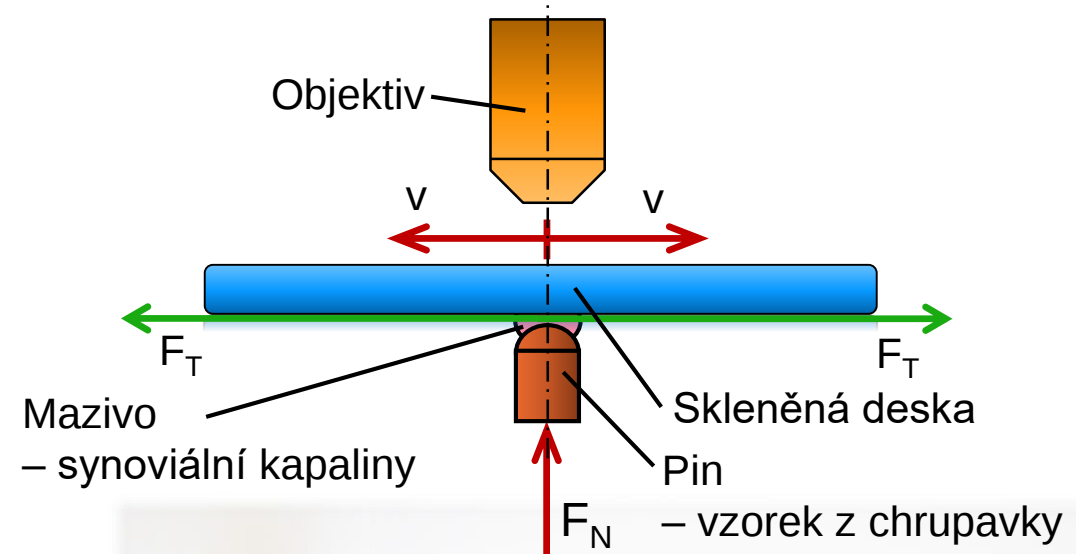
Současný stav řešení práce – experimentální zařízení

Schéma zařízení

- Konfigurace pin-on-plate
- Reciproční pohyb
- Kombinuje možnost měření CoF a vizualizaci mazacího filmu

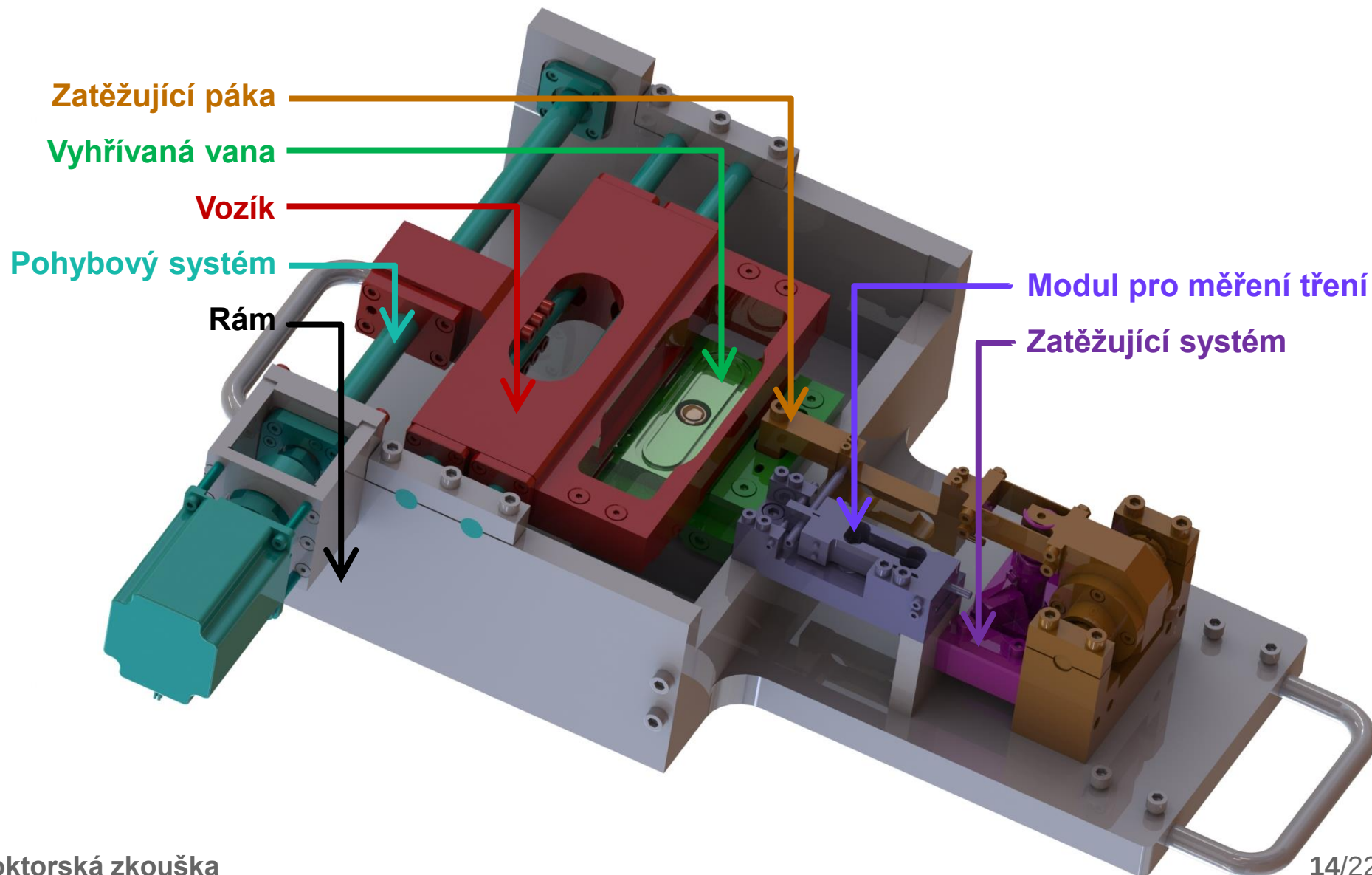


Státní doktorská zkouška

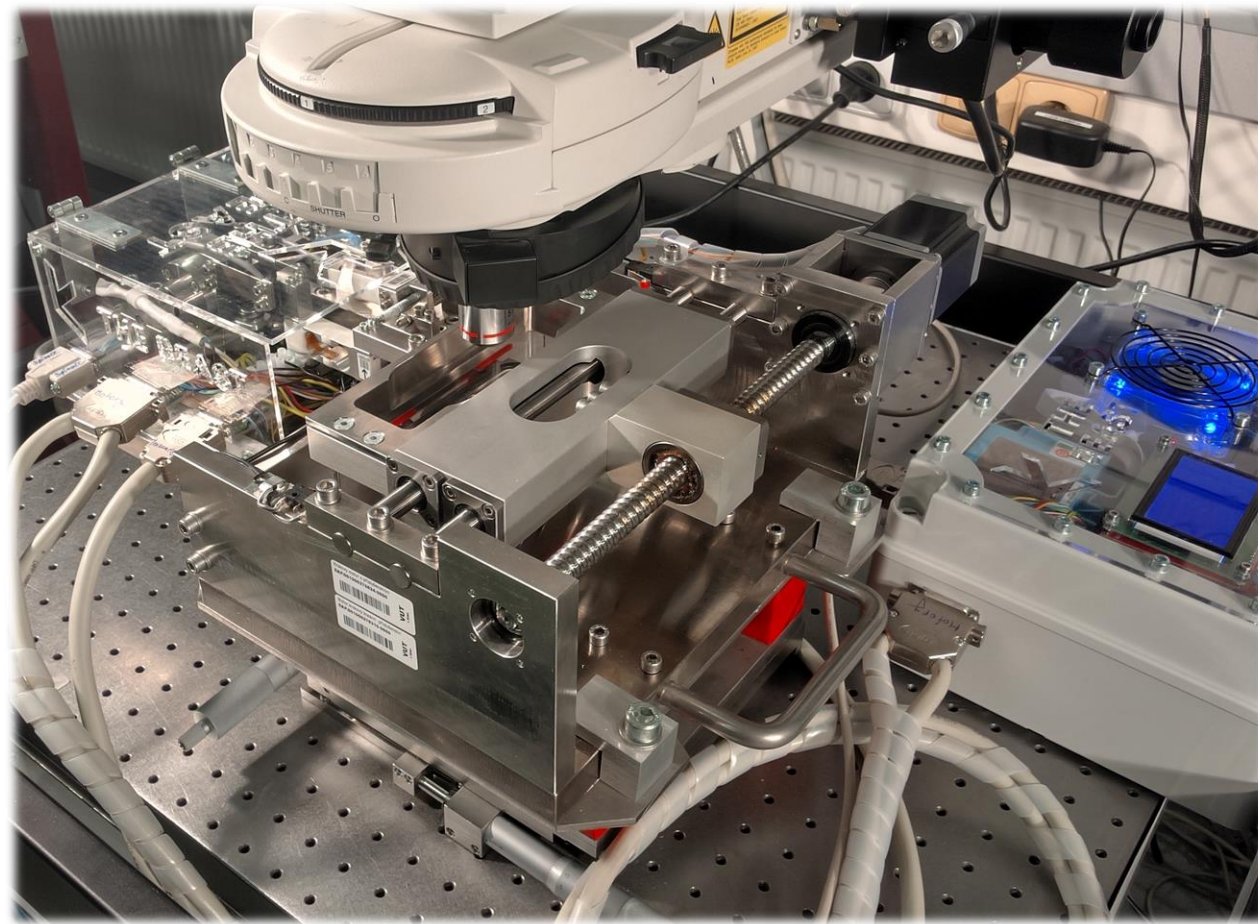
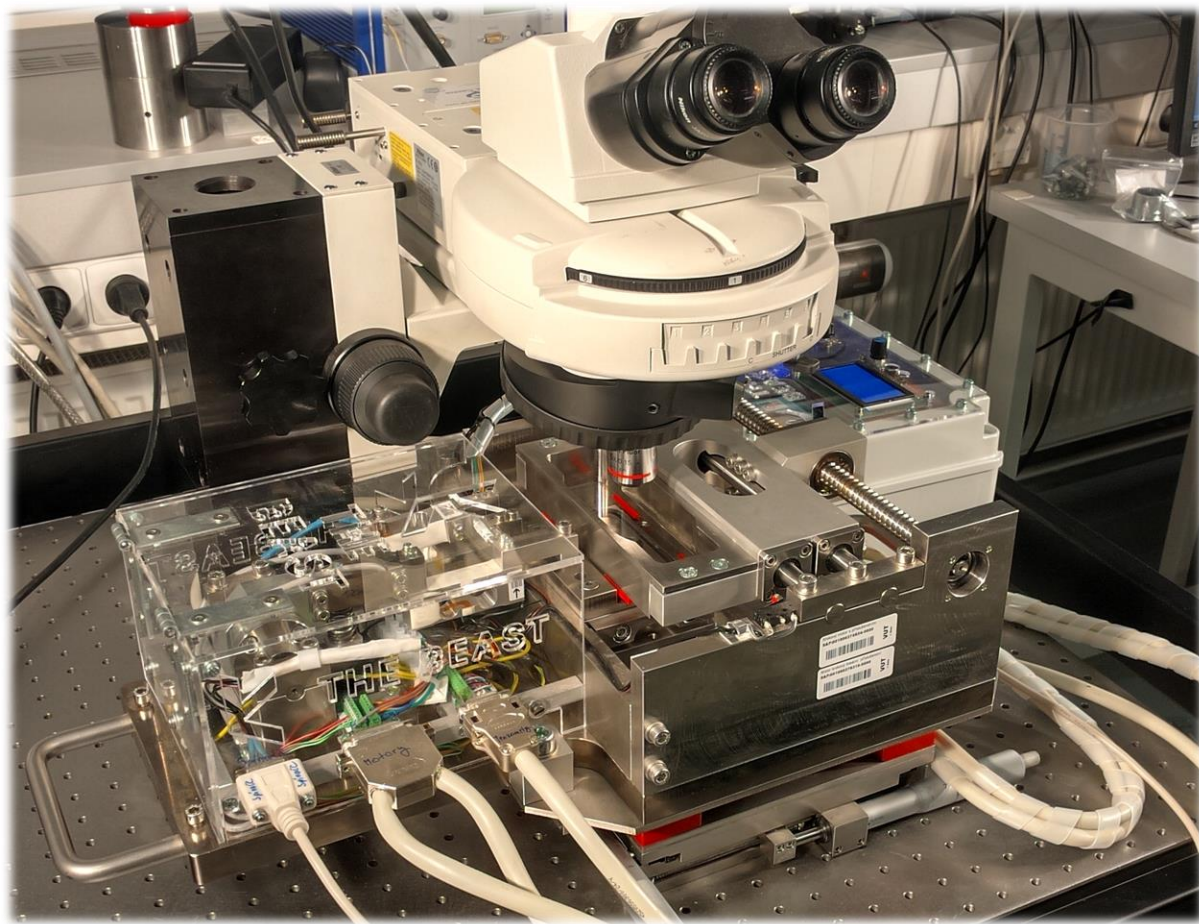


13/22

Současný stav řešení práce – experimentální zařízení



Současný stav řešení práce – experimentální zařízení

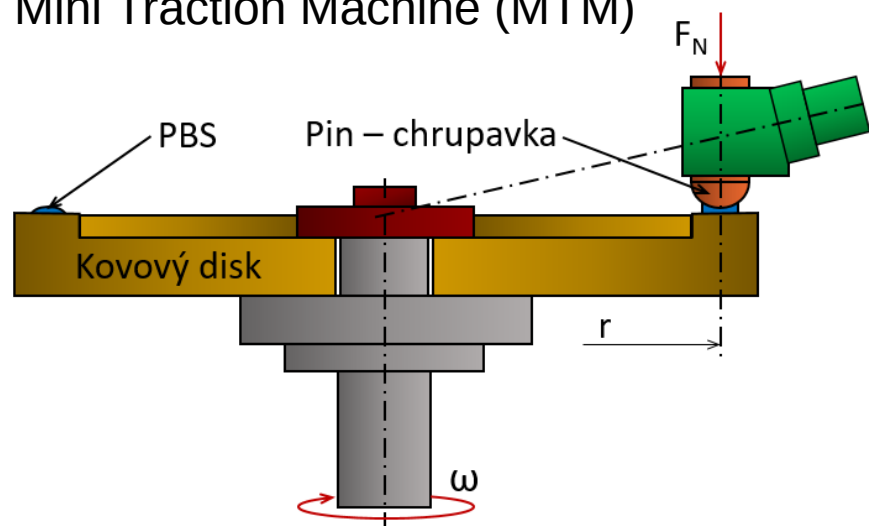


Současný stav řešení práce – ověření uchovávání vzorků

Podmínky experimentů

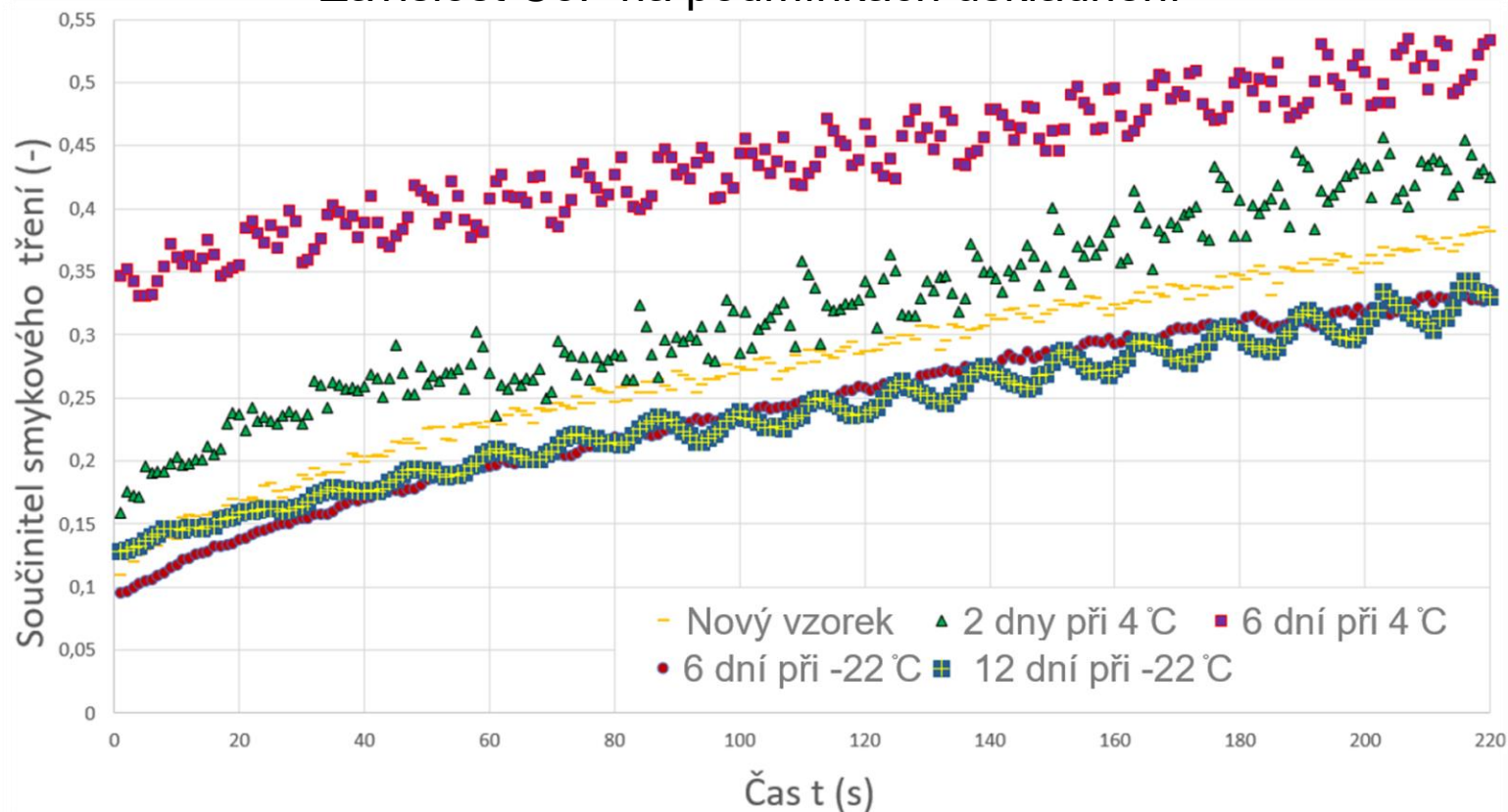
- $F_N = 5 \text{ N}$
- $v = 10 \text{ mm/s}$
- Mazivo – PBS
- Vzorek – pin – chrupavka

Mini Traction Machine (MTM)



Státní doktorská zkouška

Závislost CoF na podmínkách uskladnění

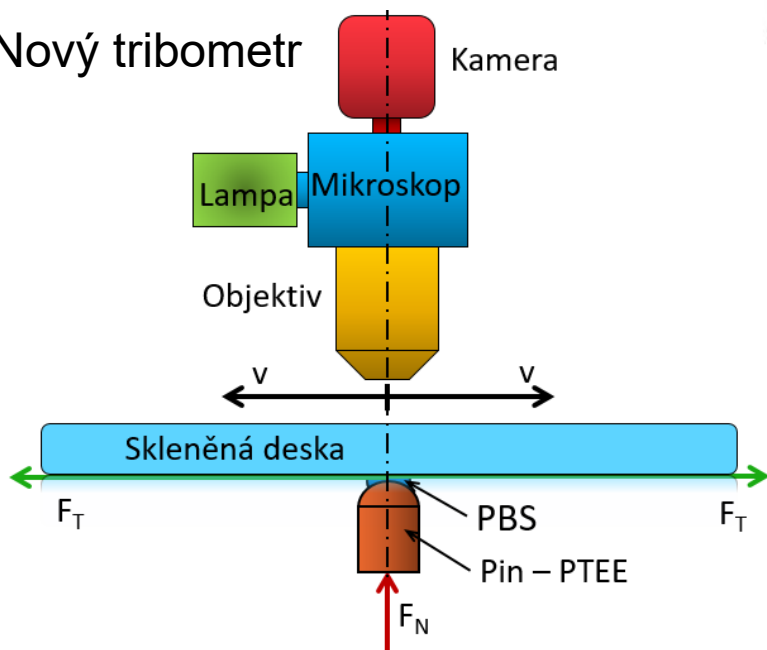


Současný stav řešení práce – verifikace nového tribometru

Podmínky experimentů

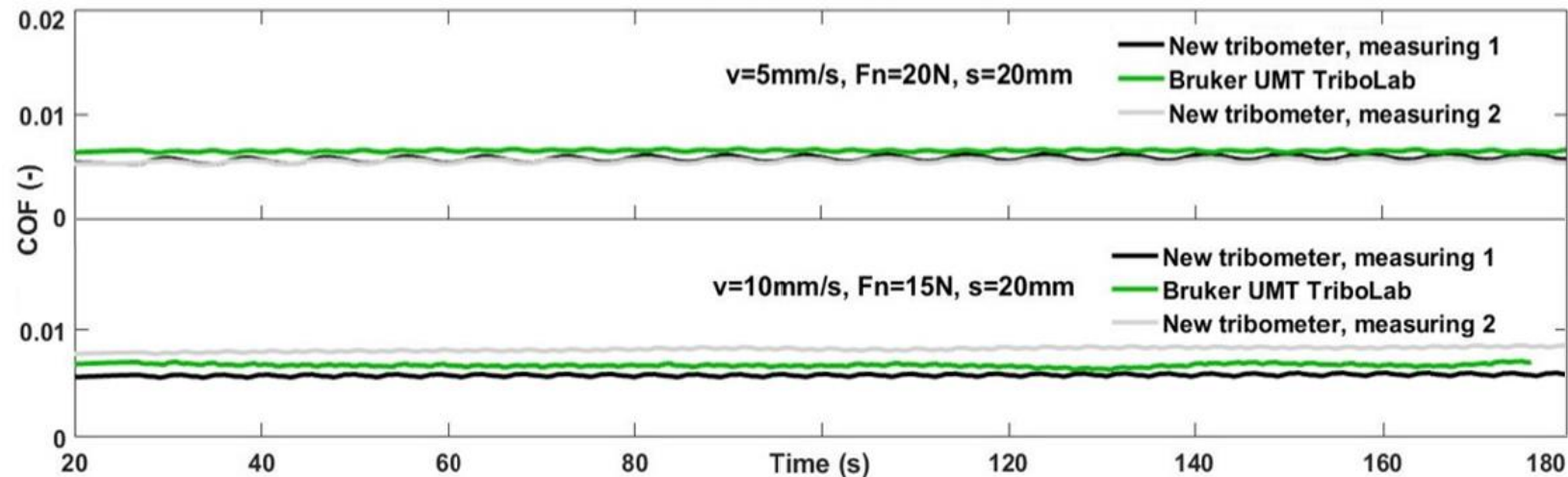
- $F_N = 15, 20 \text{ N}$
- $v = 5, 10 \text{ mm/s}$
- Mazivo – PBS
- Vzorek – pin – PTEE

Nový tribometr

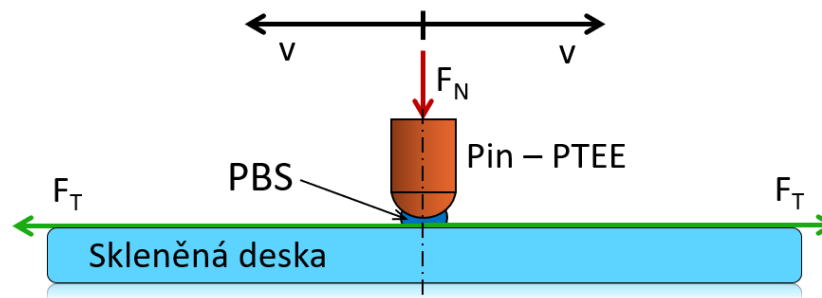


Státní doktorská zkouška

Shoda naměřených CoF s konvenčním zařízením



Bruker UMT TriboLAB

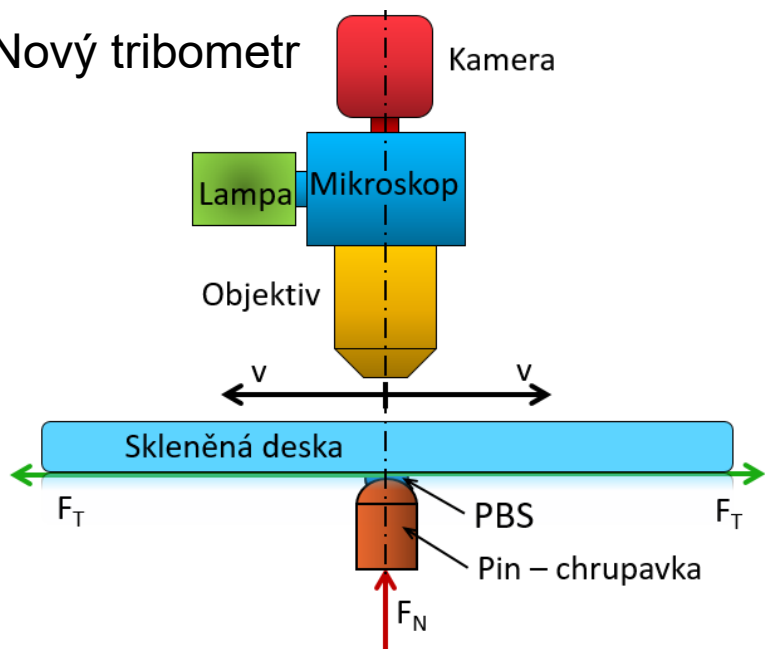


Současný stav řešení práce – měření s chrupavkou

Podmínky experimentů

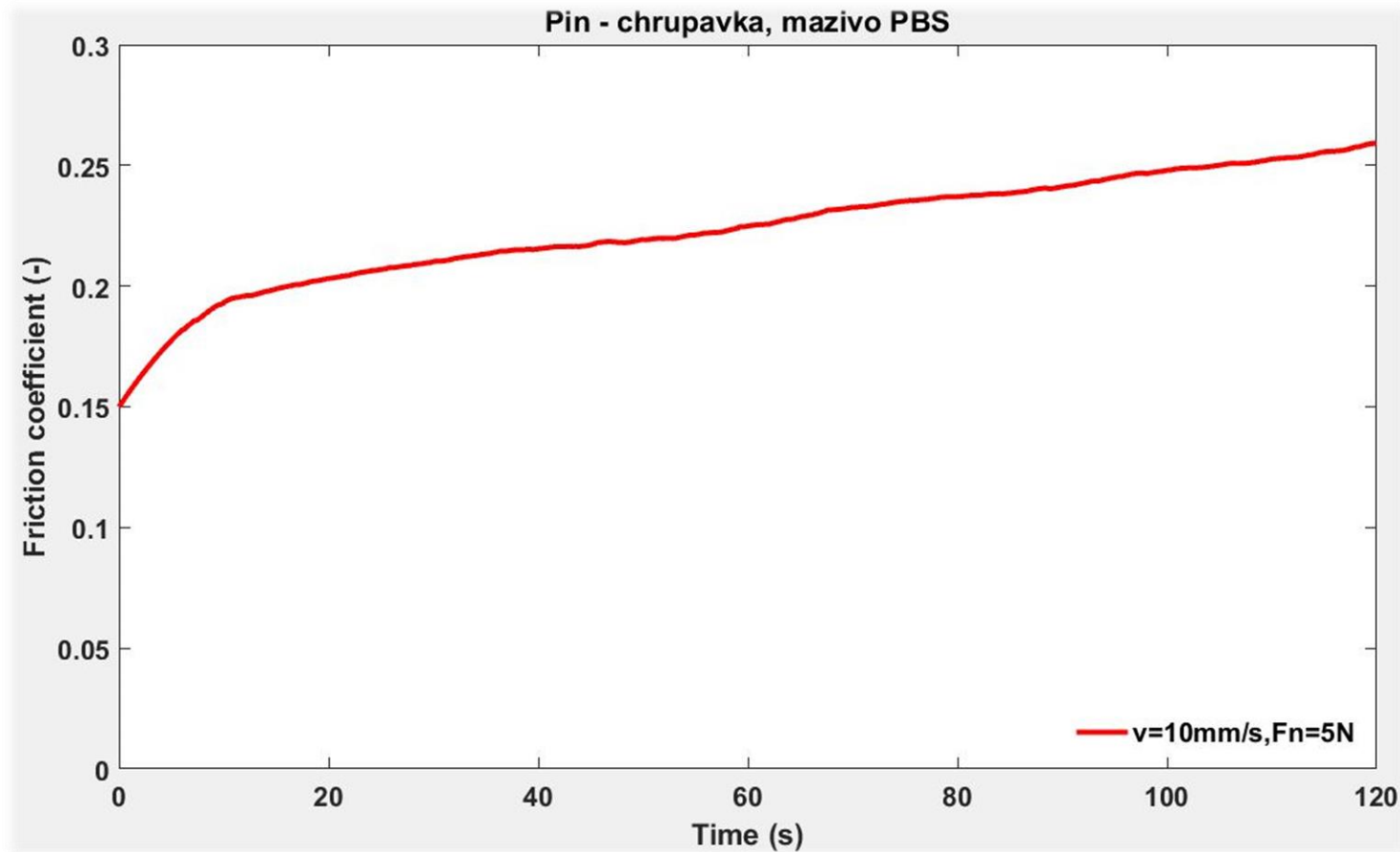
- $F_N = 15, 20 \text{ N}$
- $v = 5, 10 \text{ mm/s}$
- Mazivo – PBS
- Vzorek – pin – chrupavka

Nový tribometr



Státní doktorská zkouška

Vývoj CoF v čase, chrupavka – sklo



Přehled dosažených výsledků

- ✓ Shrnutí současného stavu poznání
- ✓ Návrh a ověření metodologie odběru a uchovávání vzorků
- ✓ Návrh a výroba experimentálního zařízení
- ✓ Verifikace a kalibrace experimentálního zařízení
- ✓ Metodologie experimentů
- Implementace metody fluorescenční mikroskopie pro model synoviálního kloubu
- Vizualizace mazacího filmu v modelu synoviálního kloubu
- ✗ Kombinace vizualizace mazacího filmu a měření CoF
- ✗ Popis vlivu jednotlivých složek synoviální kapaliny na formování mazacího filmu
- ✗ Analýza a interpretace a publikace výsledků



Závěr

Rok 2017

- Návrh a konstrukce experimentálního zařízení
- Výroba experimentálního zařízení

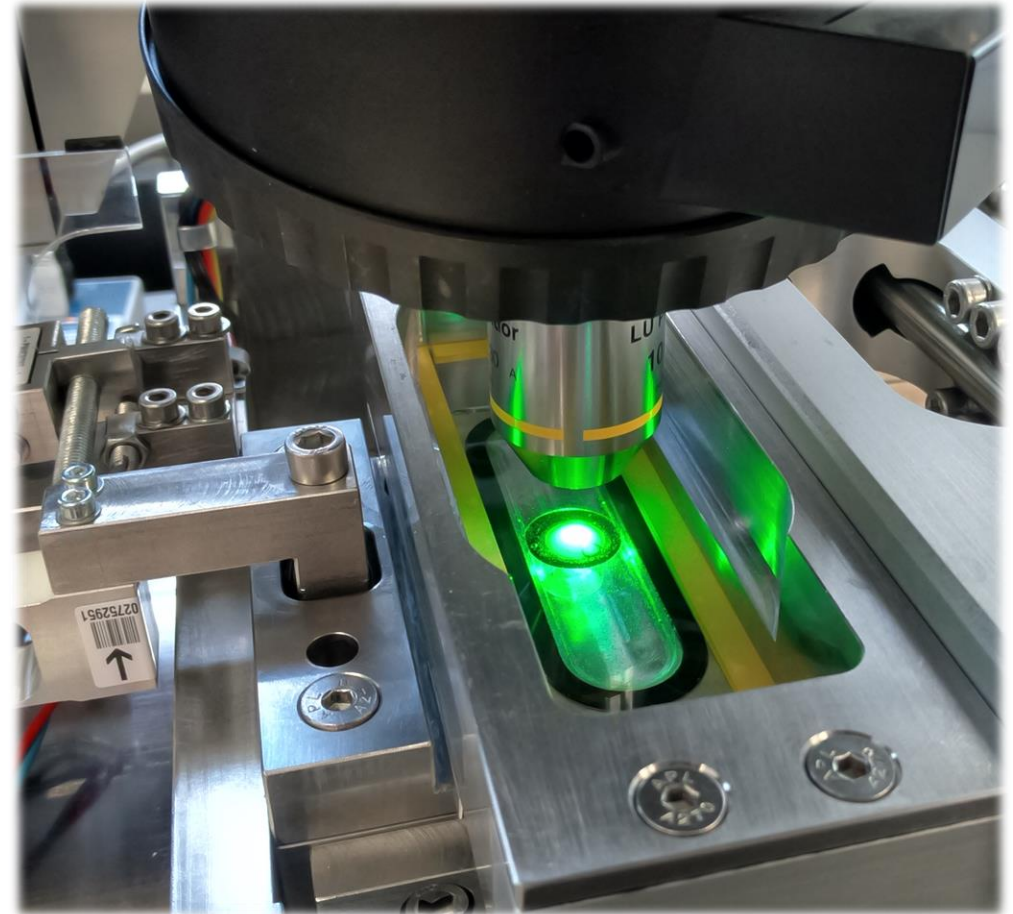
Rok 2018

- Verifikace a kalibrace zařízení
- Publikace dosažených výsledků na konferenci
- Státní doktorská zkouška

Rok 2019

- Vizualizace a popis mazacího filmu
- Publikace – vizualizace kontaktu
- Publikace – vliv složení synoviální kapaliny na tření a mazání v synoviálním kloubu
- Mezinárodní konference

Státní doktorská zkouška



Přehled publikací

Články v konferenčních sbornících

- ČÍPEK, P.; REBENDA, D.; NEČAS, D.; VRBKA, M.; KŘUPKA, I. Development of reciprocating tribometer for testing synovial joint. Engineering Mechanics, 2018. First edition. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences, Prague, 2018. s. 169-172. ISBN: 978-80-86246-88-8. ISSN: 1805-8256. Výroba experimentálního zařízení
- REBENDA, D.; ČÍPEK, P.; NEČAS, D.; VRBKA, M.; HARTL, M. Effect of Hyaluronic Acid on Friction of Articular Cartilage. Engineering Mechanics, 2018. First. Praha: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences, 2018. s. 709-712. ISBN: 978-80-86246-91-8.



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Pavel Čípek, Ing.

Pavel.Cipek@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz