

Tribologické procesy v kontaktu 3D tištěného malého kloubního implantátu

Ing. Lukáš Odehnal

Školitel: prof. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Matúš Ranuša, Ph.D.

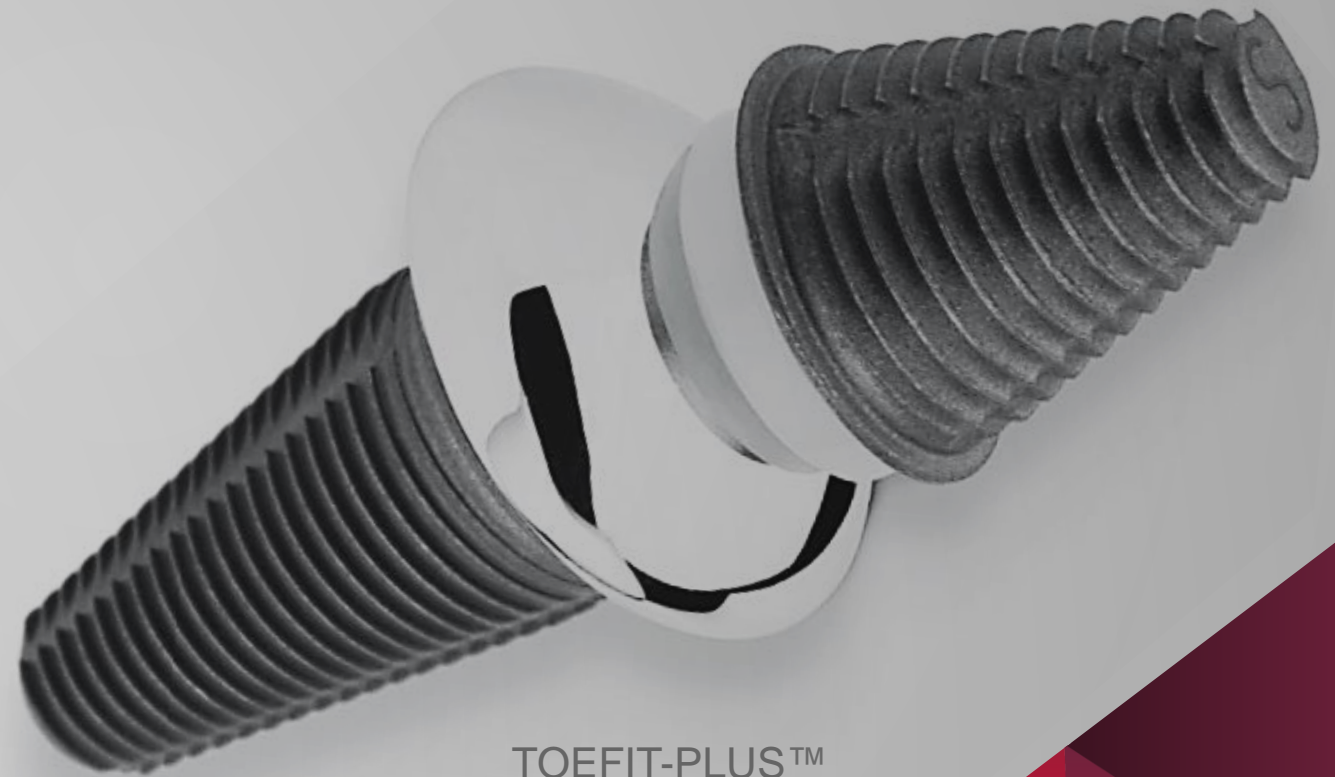
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ



TOEFIT-PLUS™

MOTIVACE PRÁCE – Ortopedický vhléd



Hallux rigidus



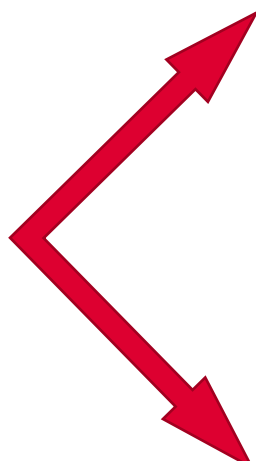
Hallux valgus



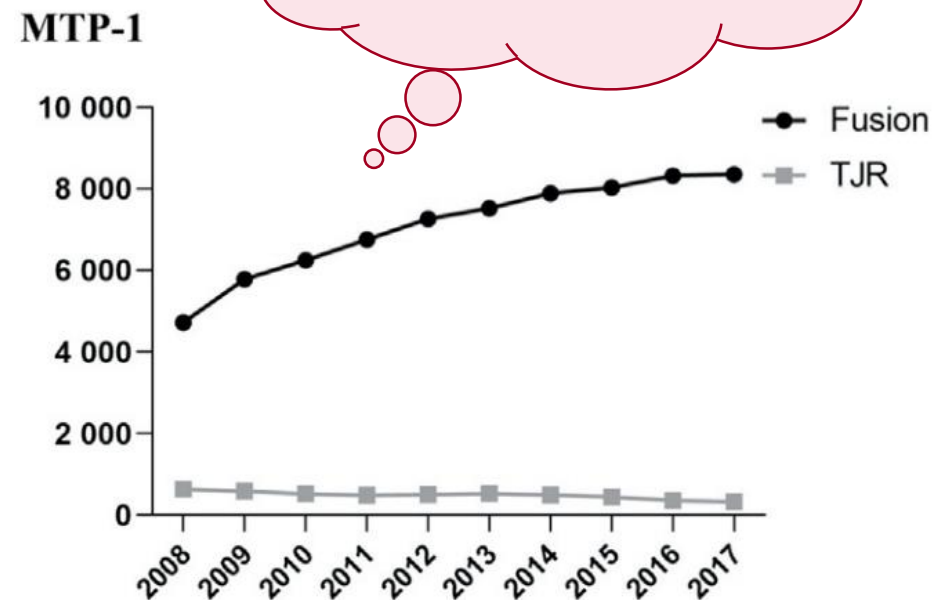
Artrodéza



Totální náhrada



Proč artrodéza výrazně převyšuje?



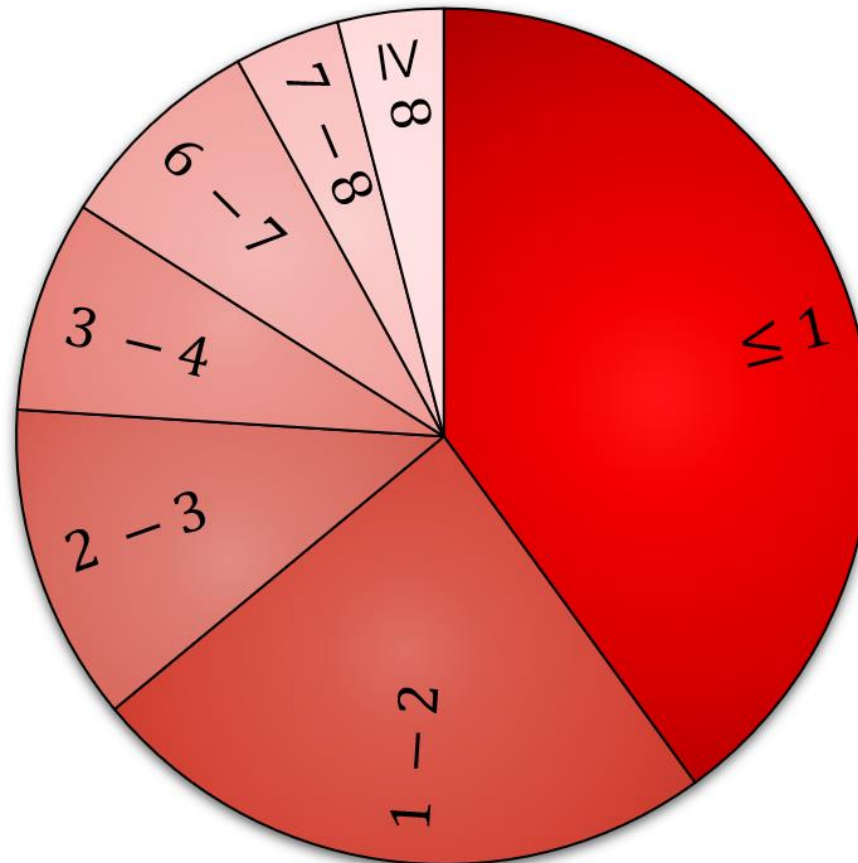
Celkový počet operací 1. MTP kloubu (Milstrey, 2020)

MOTIVACE PRÁCE – Ortopedický vhled

- Artrodéza
 - 8417 – 39 265 USD
- MTP náhrada
 - 4903 – 74 145 USD

Medián obou hodnot ~ 21 000 USD

(Smyth, 2020)

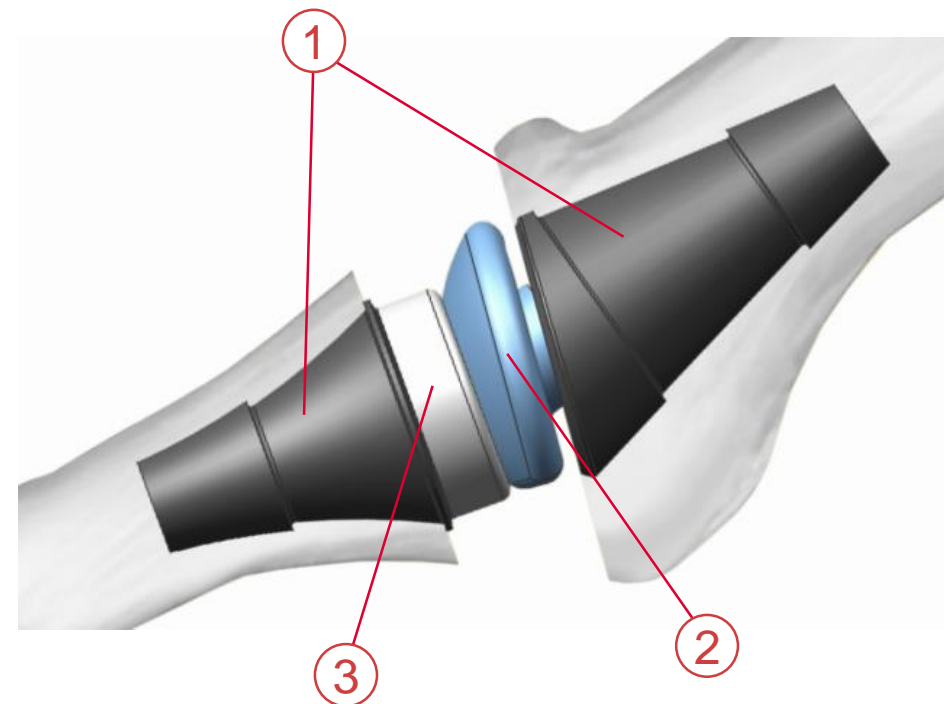


Počet let do reoperace cementované
náhrady 1. MTP kloubu
(US Food and Drug Administration)

- Narůstající bolest
- Uvolnění náhrady
- Omezení pohybu
- Ztráta pohybu

MOTIVACE PRÁCE – Náhrada 1. MTP kloubu

- Nejběžnější typ náhrady – metal on polyethylene (MoP)
 - 1) 2x Ti6Al4V trn
 - 2) CoCrMo metatarsální hlavice
 - 3) UHMWPE phalangeální vložka
- Aditivní výroba ze slitiny Ti6Al4V
 - Individualizace
 - Řiditelná porozita
 - Zjednodušení konstrukce náhrady
 - Použití Ti6Al4V pro třecí povrchy



ProSpon, spol. s r. o.

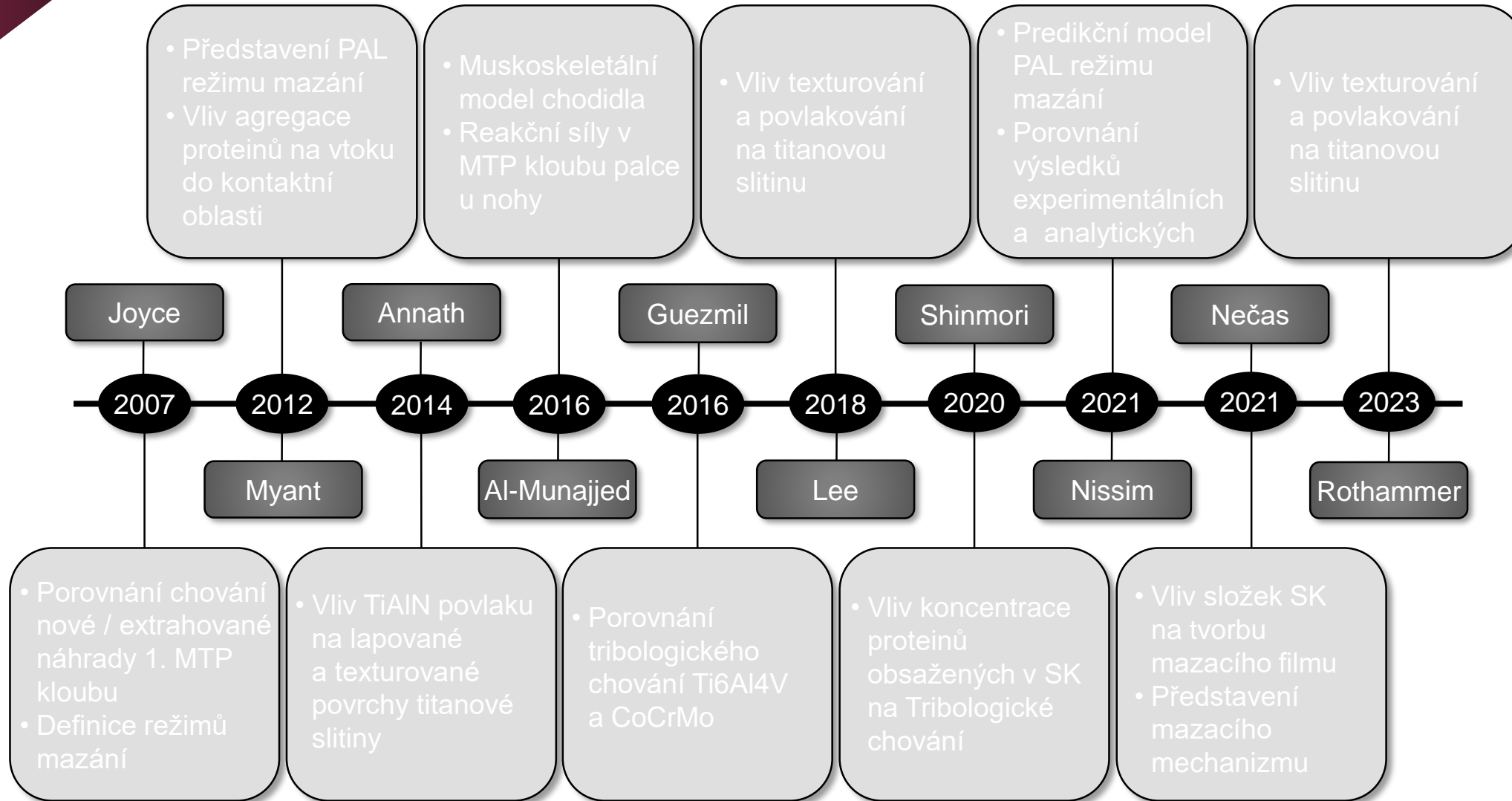
MOTIVACE PRÁCE – Náhrada 1. MTP kloubu

- Nejběžnější typ náhrady – metal on polyethylene (MoP)
 1. 2x Ti6Al4V trn
 2. CoCrMo metatarsální hlavice
 3. UHMWPE phalangeální vložka
- Aditivní výroba ze slitiny Ti6Al4V
 - Individualizace
 - Řiditelná porozita
 - Zjednodušení konstrukce náhrady
 - Použití Ti6Al4V pro třecí povrchy

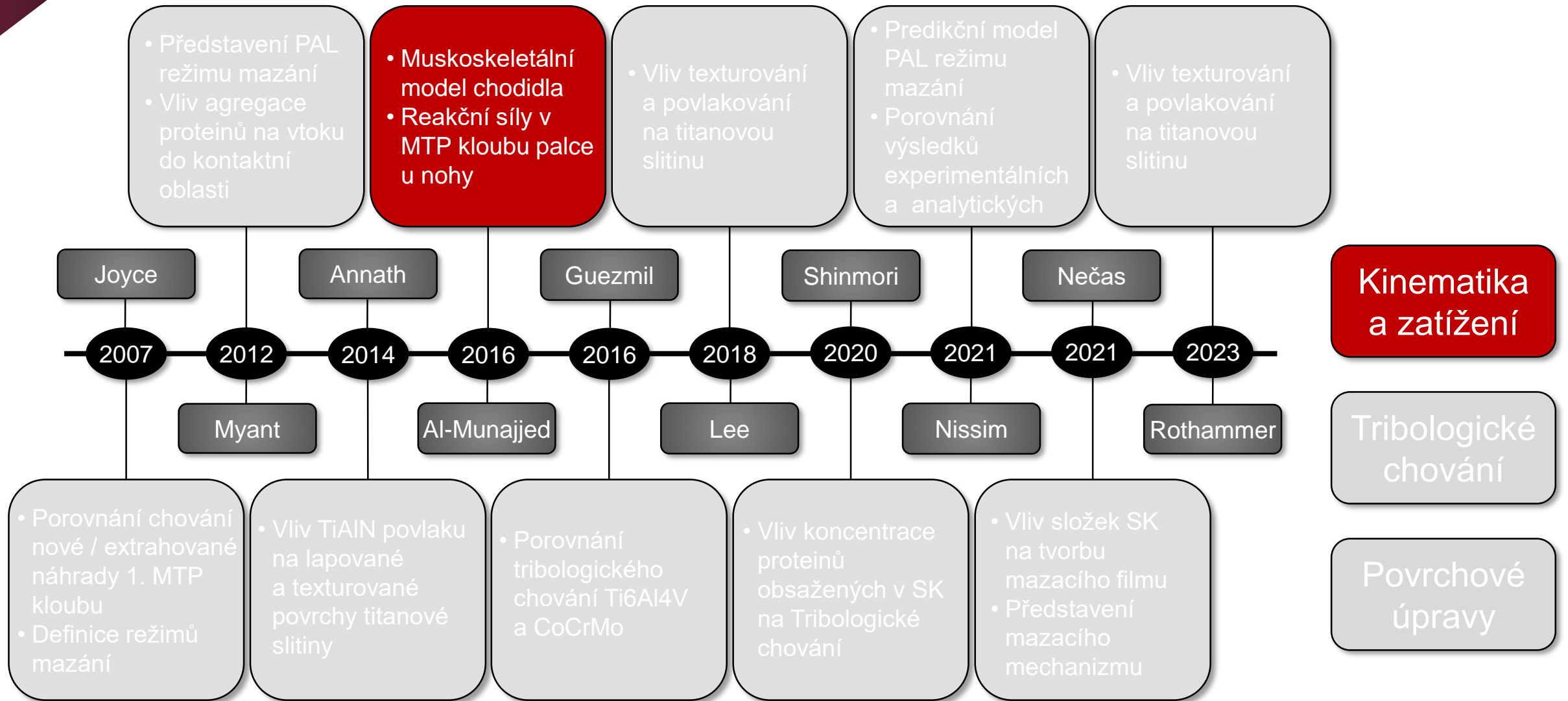


Fraunhofer IAPT

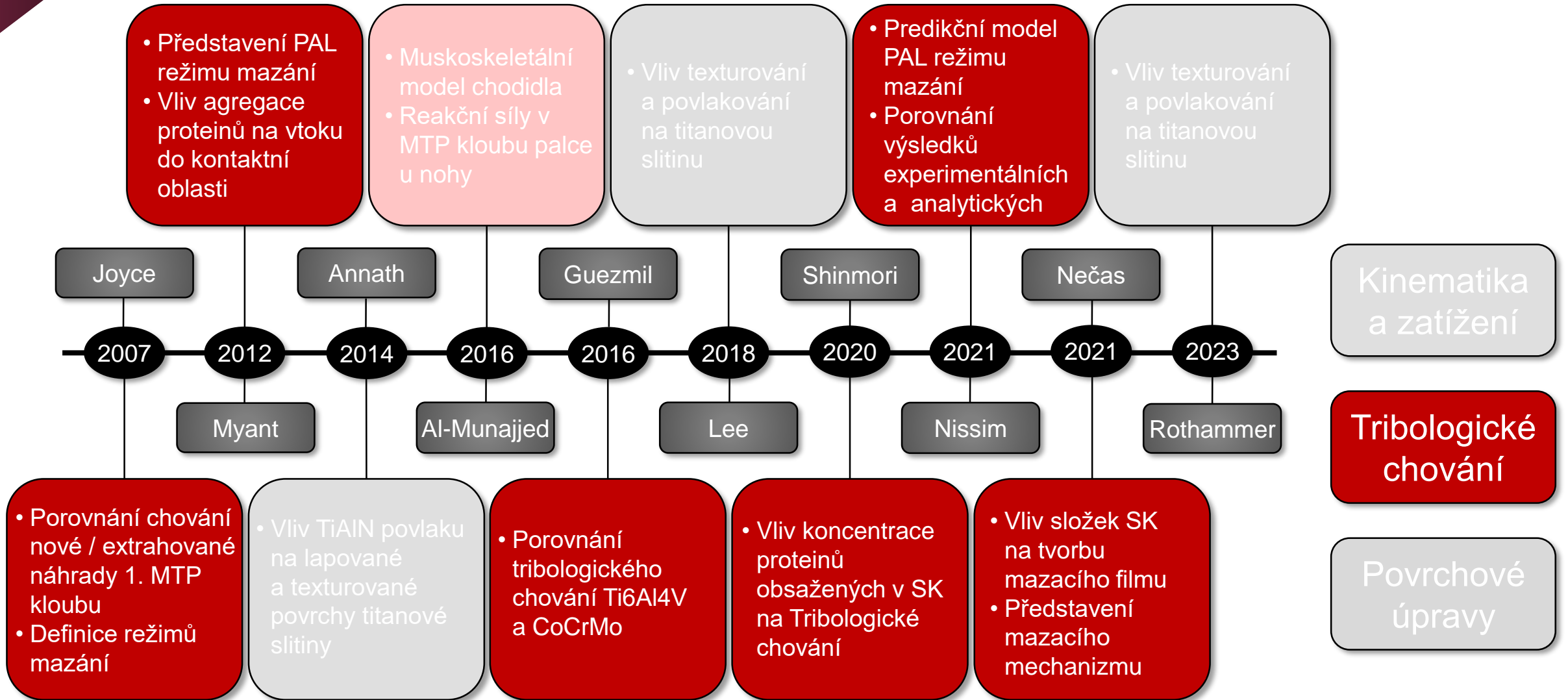
PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ



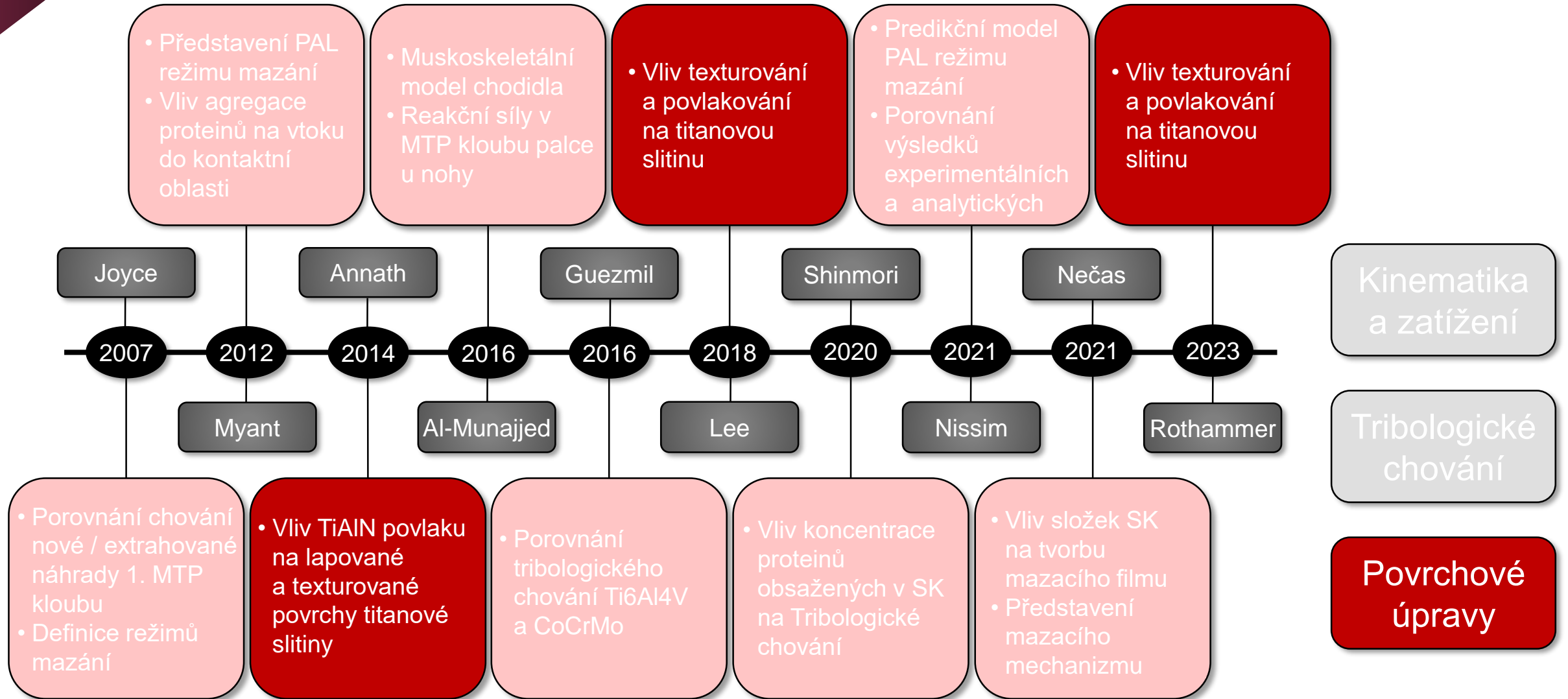
PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ



PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ



PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

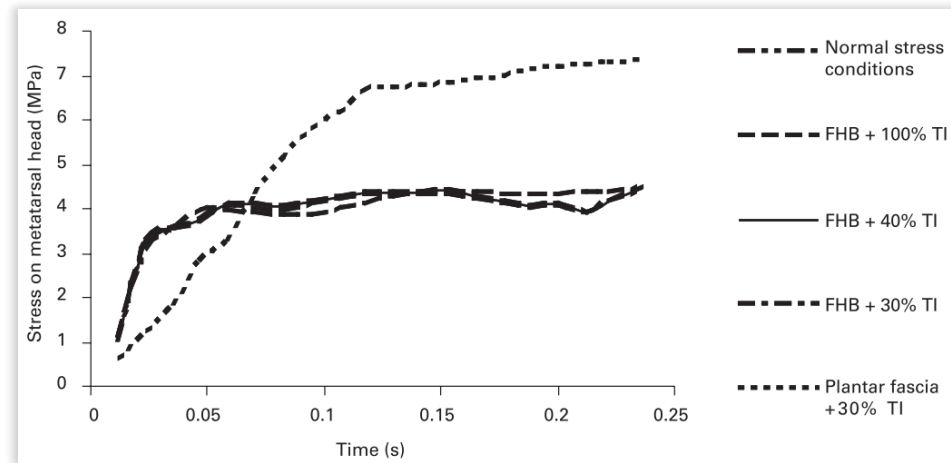


PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

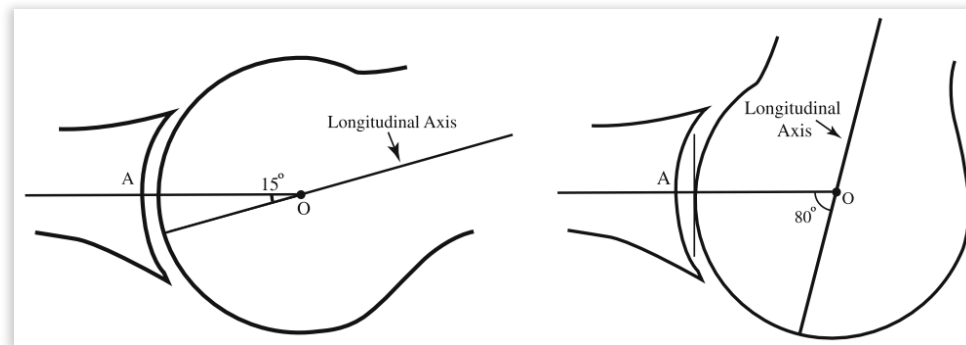
Kinematika
a zatížení

Tribologické
chování

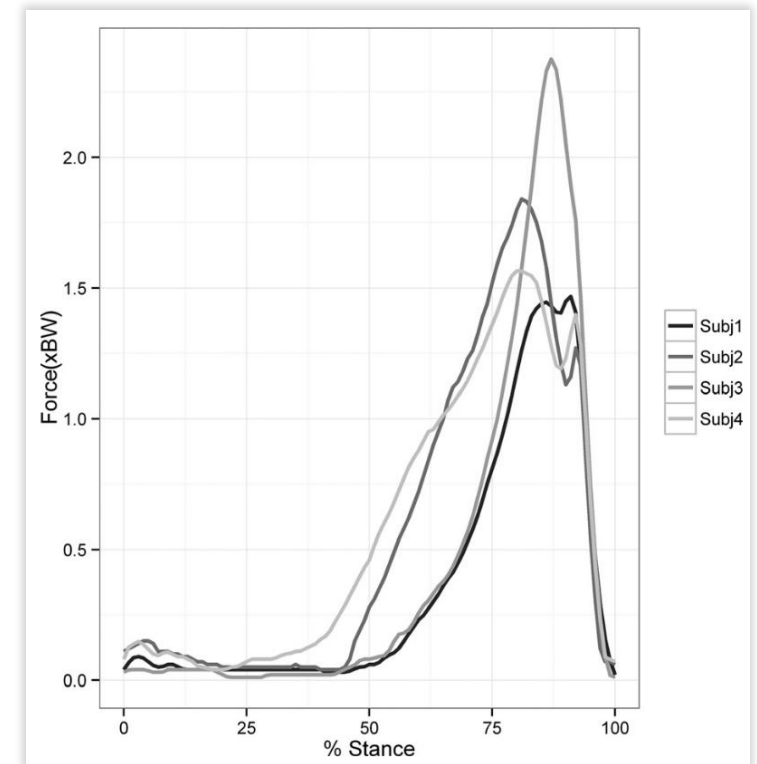
Povrchové
úpravy



(Flavin, 2008)



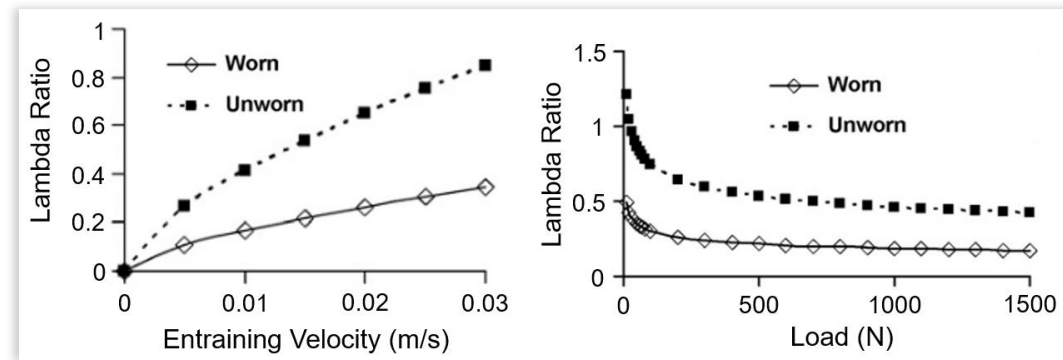
(Durrant, 2019)



(Al-Munajjed, 2016)

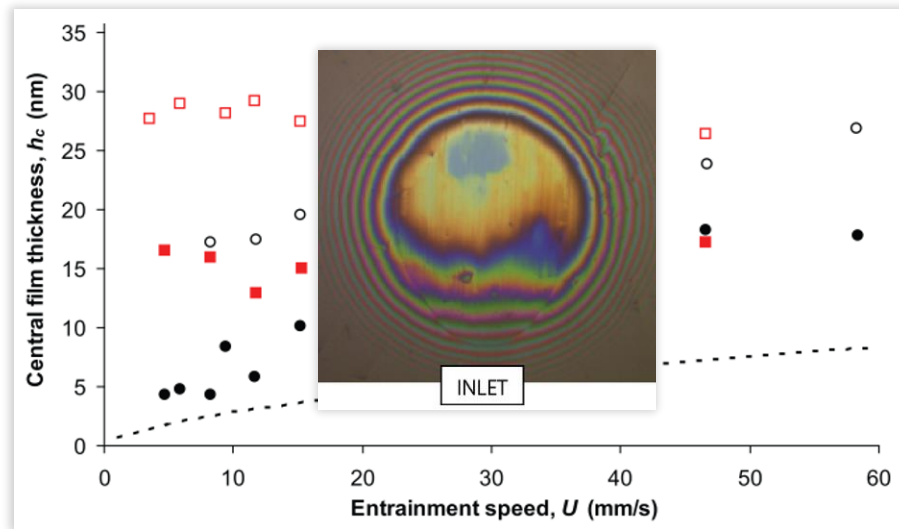
PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Kinematika
a zatížení

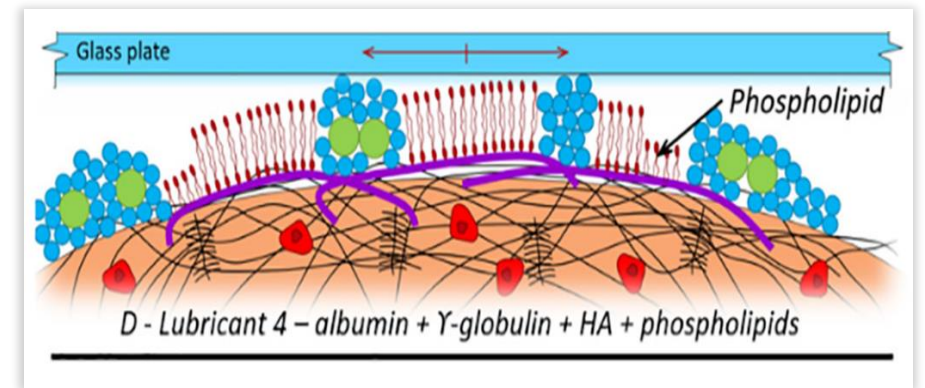


(Joyce, 2007)

Tribologické
chování



(Myant, 2011/2012)



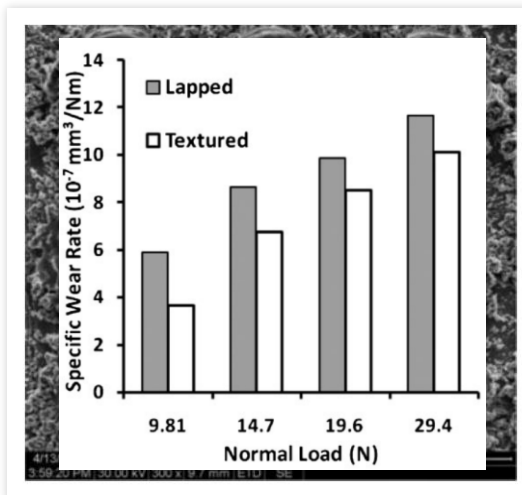
(Čípek, 2022)

PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

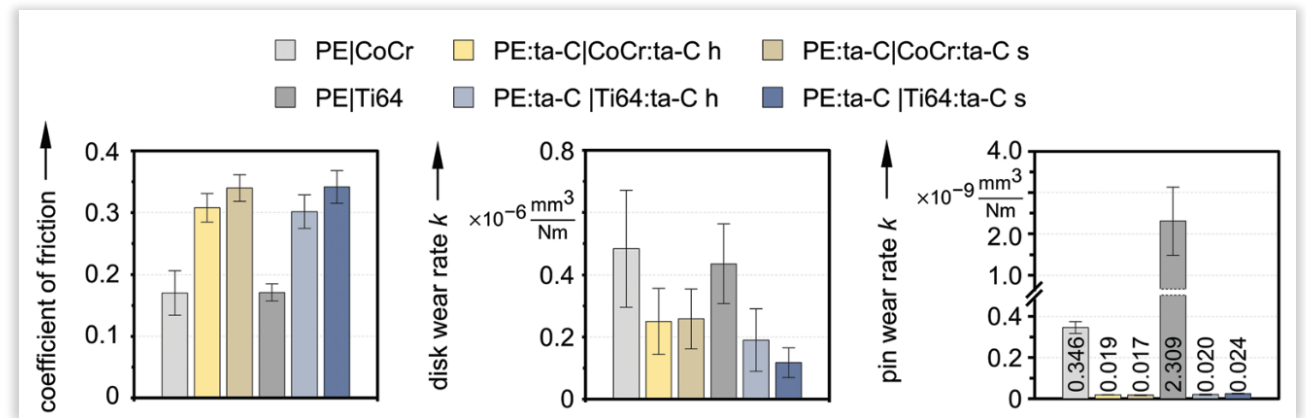
Kinematika
a zatížení

Tribologické
chování

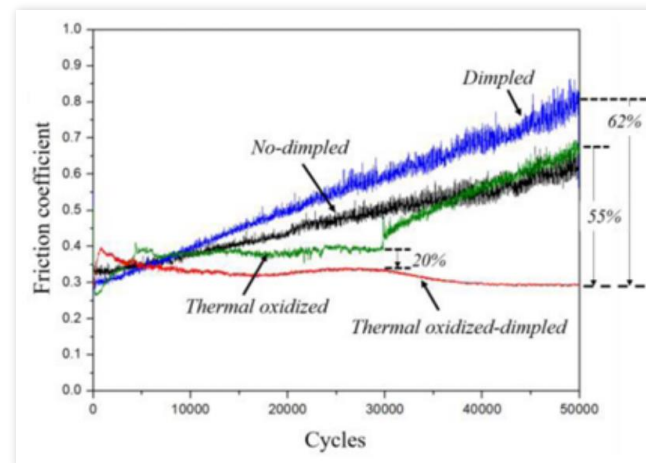
Povrchové
úpravy



(Annath, 2014)



(Rothhammer, 2023)



(Lee, 2018)

SHRnutí REŠERŠE

Kinematika
a zatížení

✓ Očekávané podmínky v malém kloubu člověka (1. MTP kloub)

Tribologické
chování

✓ Popis chování u velkých náhrad kloubů člověka

Povrchové
úpravy

✓ Možnosti různých typů povlaků
Výkonnost textur různých tvarů

SHRNUTÍ REŠERŠE

Kinematika
a zatížení

✓ Očekávané podmínky v malém kloubu člověka (1. MTP kloub)

✗ Transformace a aplikace podmínek na laboratorní testy

Tribologické
chování

✓ Popis chování u velkých náhrad kloubů člověka

✗ Chování malých kloubních náhrad (jiná kinematika / zatížení)

Povrchové
úpravy

✓ Možnosti různých typů povlaků
Výkonnost textur různých tvarů

✗ Možnost tvorby řízené struktury povrchu 3D tiskem + aplikace povlaků

SHRNUTÍ REŠERŠE

Kinematika
a zatížení

✓ Očekávané podmínky v malém kloubu člověka (1. MTP kloub)

✗ Transformace a aplikace podmínek na laboratorní testy

Tribologické
chování

✓ Popis chování u velkých náhrad kloubů člověka

✗ Chování malých kloubních náhrad (jiná kinematika / zatížení)

Povrchové
úpravy

✓ Možnosti různých typů povlaků
Výkonnost textur různých tvarů

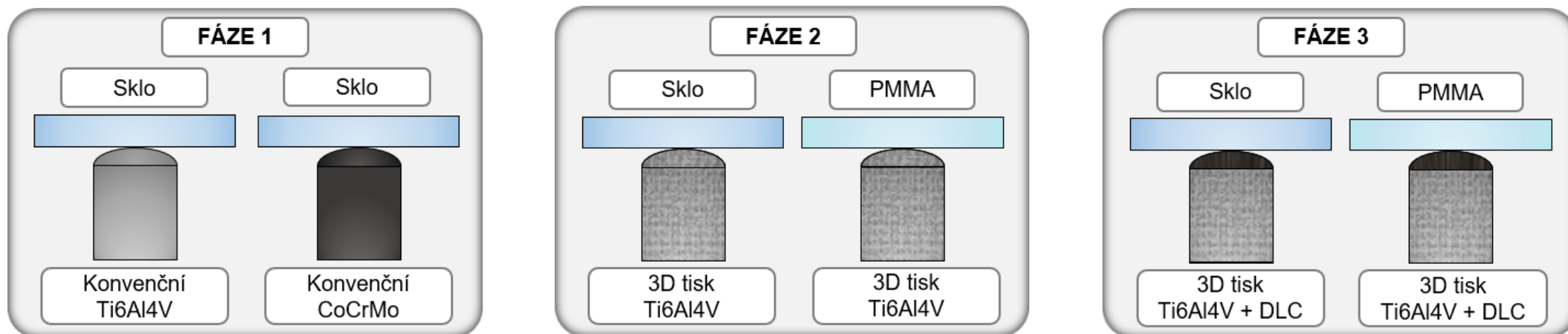
✗ Možnost tvorby řízené struktury povrchu 3D tiskem + aplikace povlaků

Aditivní
výroba

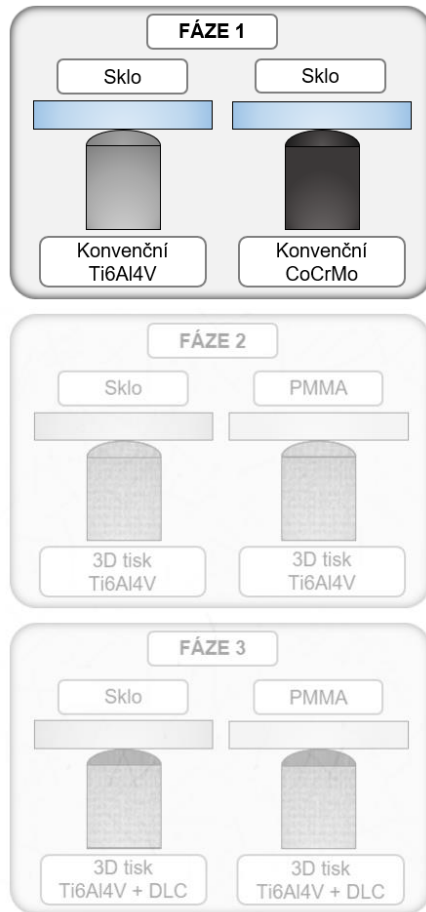
✗ Popis biotribologického chování 3D tištěných třecích párů
Možnost řízené tvorby pórovitosti třecích ploch

CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je objasnění tribologického chování v kontaktu simulovaného malého kloubního implantátu vyrobeného aditivními technologiemi



VĚDECKÉ OTÁZKY A HYPOTÉZY

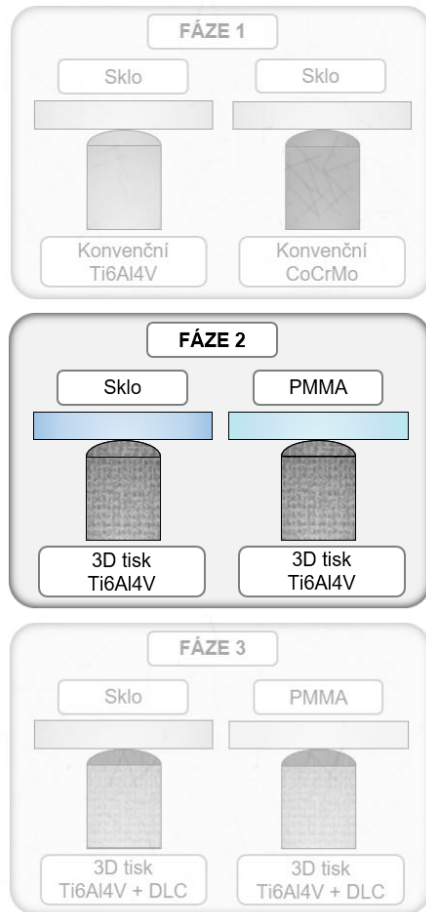


Q1: *Jaký je rozdíl v tribologickém chování třecích povrchů implantátů z materiálů CoCrMo a Ti6Al4V vyráběných konvenčními metodami (tažení za studena, broušení, leštění)?*

H1: Proteiny obsažené v synoviální kapalině budou adsorbovány na povrchy kontaktních párů [1] a kontaktní dvojice bude pracovat v mezním režimu mazání [2] pro oba zkoumané materiály. Bude docházet k větší míře opotřebení pro slitinu Ti6Al4V oproti CoCrMo [3] způsobeného sekundárním opotřebením uvolněných částic.

[1] Marian, 2021 [2] Joyce, 2007 [3] Guezmil, 2016

VĚDECKÉ OTÁZKY A HYPOTÉZY



Q2: *Jak se změní tribologické chování třecího povrchu aditivně vyrobeného implantátu z materiálu Ti6Al4V v důsledku aplikace řízené povrchové struktury?*

H2: Vytvořená řízená struktura třecích ploch pomocí aditivních technologií způsobí navýšení tloušťky mazacího filmu, jako je tomu u cílené textury vytvářené laserem [1]. Vytvořené důlky navíc budou schopny zachytit částice opotřebení [2], které se dále nebudou podílet na tvorbě sekundárního opotřebení typického pro slitinu Ti6Al4V.

[1] Choudhury, 2018 [2] Ananth, 2014

VĚDECKÉ OTÁZKY A HYPOTÉZY



Q3: *Jakým způsobem je možné ovlivnit tribologické chování texturovaného aditivně vyrobeného třecího povrchu z materiálu Ti6Al4V aplikací DLC povlaku z hlediska formování tloušťky mazacího filmu a míry opotřebení?*

H3: Aplikací DLC povlaku dojde ke zvýšení součinitele tření [1,2], nicméně dojde ke snížení podstatného parametru, kterým je míra opotřebení [2,3]. Z hlediska dlouhodobého testování DLC povlaků bude docházet k jejich selhání z důvodu delaminace a otěru, což razantně ovlivní jejich účinnost [4].

[1] Escudeiro, 2015

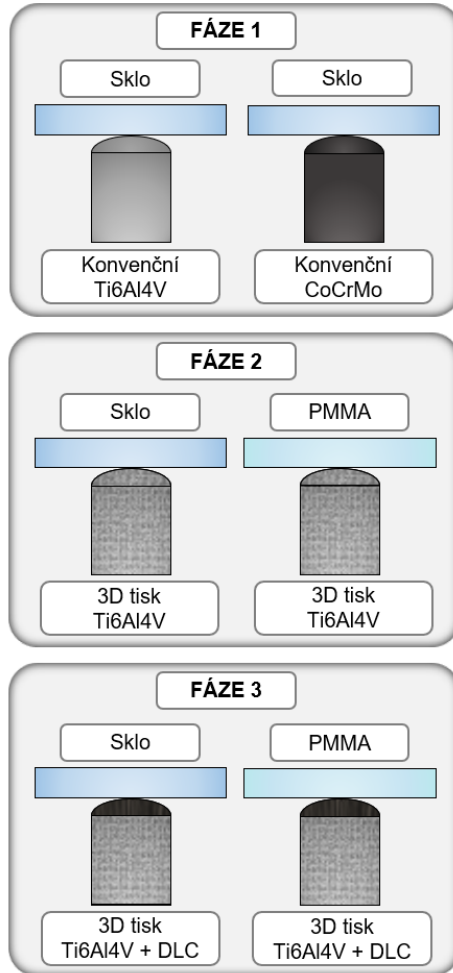
[2] Rothammer, 2023

[3] Lee, 2018

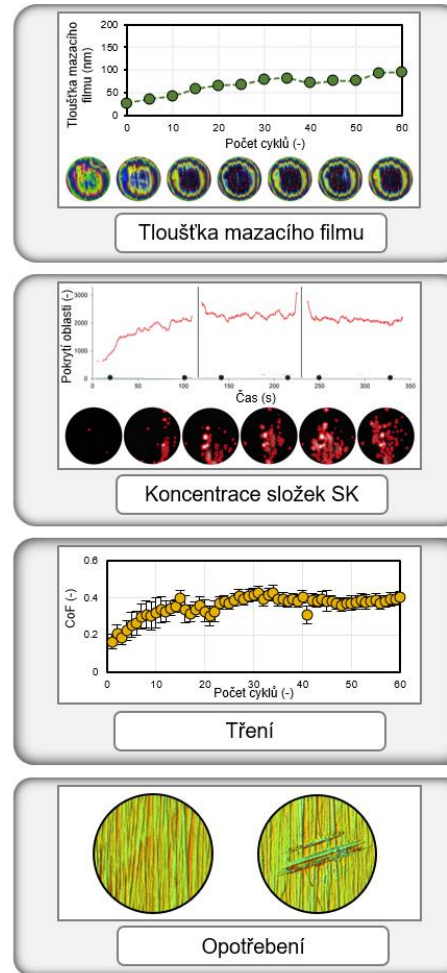
[4] Joyce, 2006

MATERIÁL A METODY – Schématický plán práce

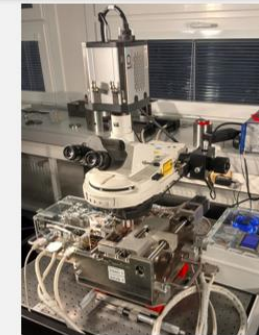
Testované konfigurace



Pozorované parametry



Testovací zařízení



Univerzální tribometr konfigurace pin-on-plate

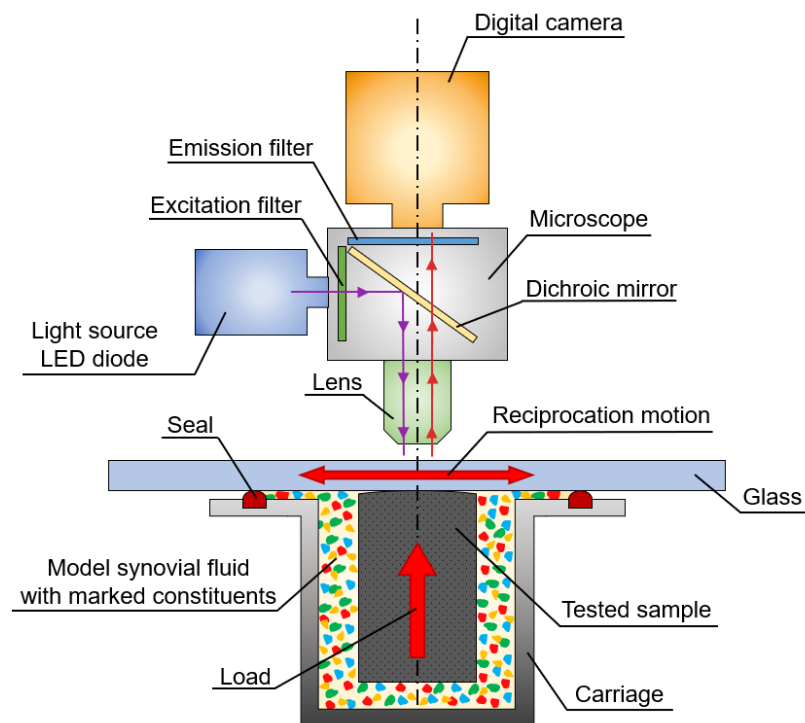


Optický profilometr Bruker ContourGT-X

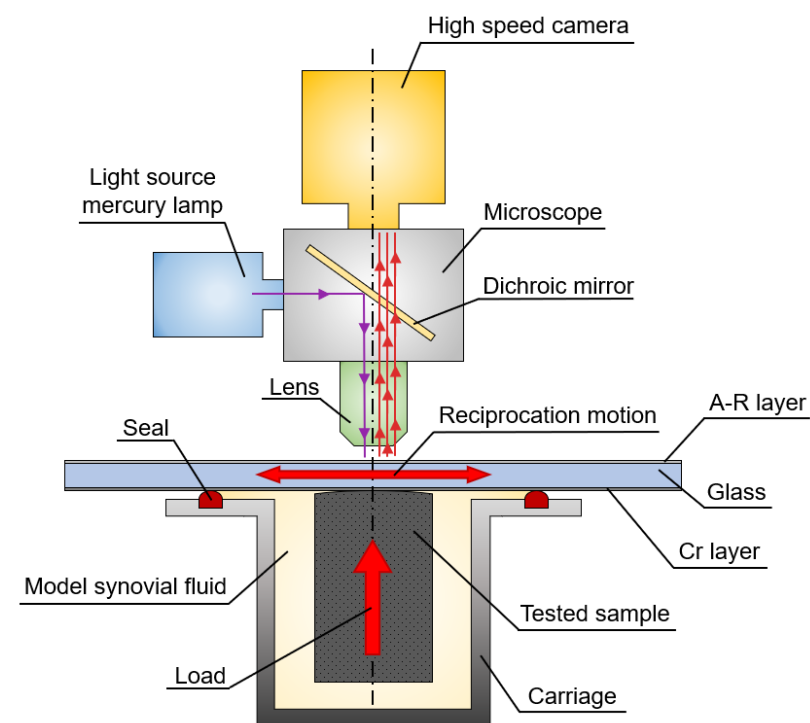
MATERIÁL A METODY – Zařízení a pozorovací metody



Tribometr s optickou aparaturou

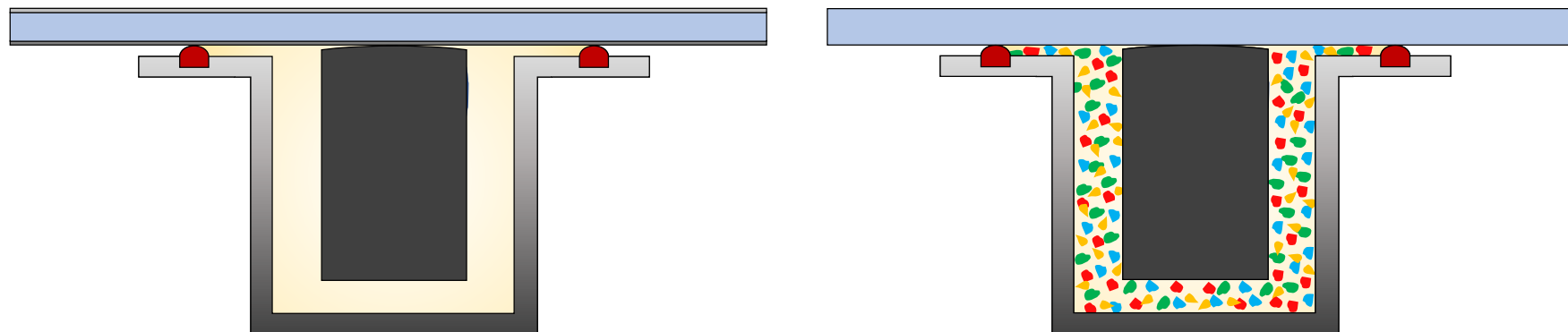


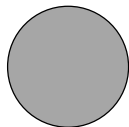
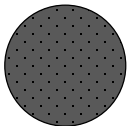
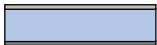
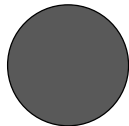
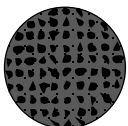

Fluorescenční mikroskopie



Kolorimetrická interferometrie

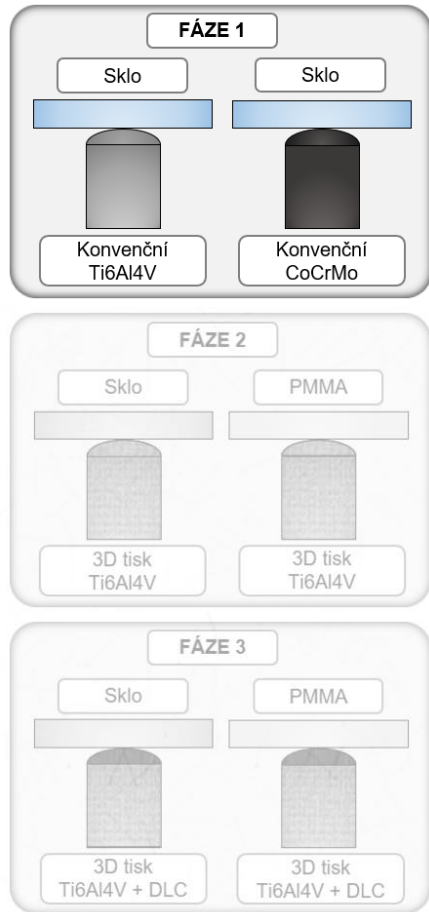
MATERIÁL A METODY – Kontaktní pár



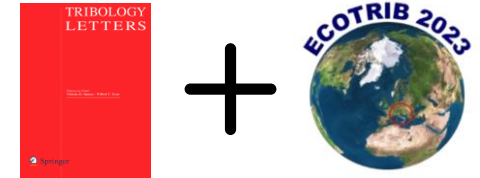
-  CoCrMo konvenční výroba
-  Ti6Al4V 3D tisk + leštění
-  Sklo B270 + A-R a Cr vrstva
-  Ti6Al4V konvenční výroba
-  Ti6Al4V 3D tisk + leštění
náhodná struktura povrchu
-  Sklo B270

Albumin	γ -globulin	Kyselina hyaluronová	Fosfolipidy
26.3 mg/ml	8.2 mg/ml	0.82 mg/ml	0.35 mg/ml

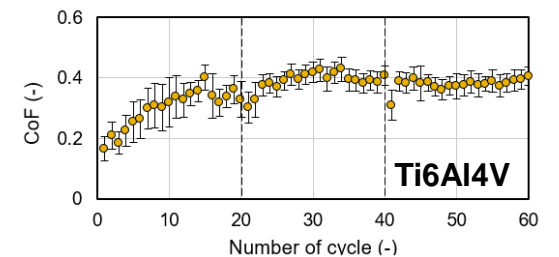
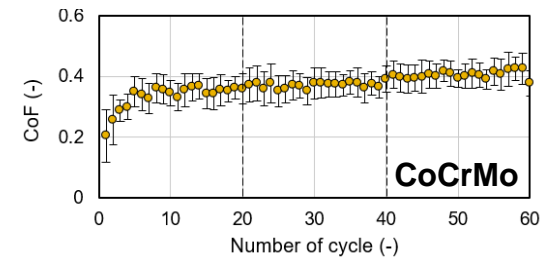
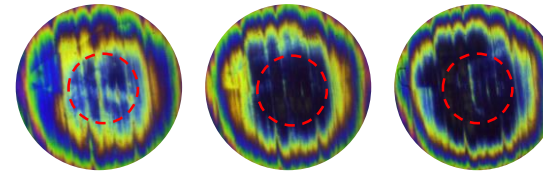
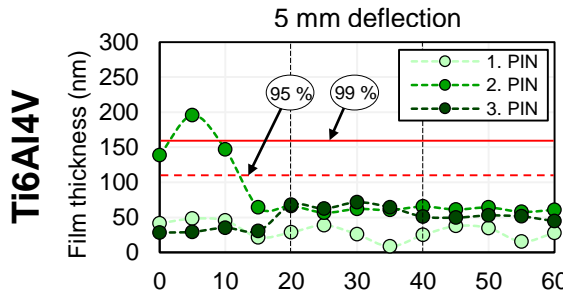
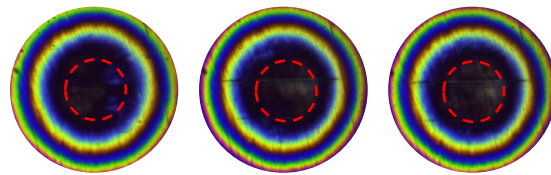
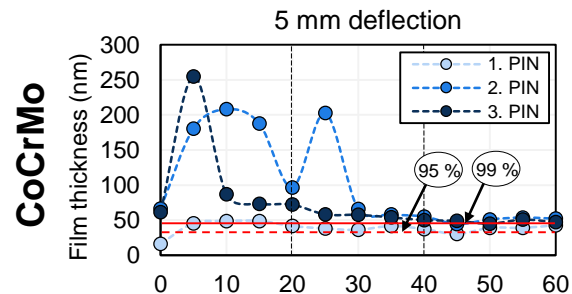
SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



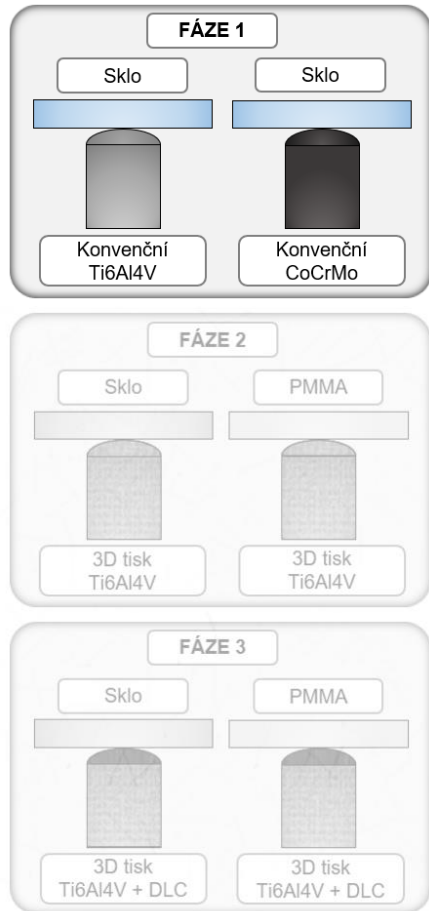
✓ **Publikace 1:** Tribological behaviour of Ti6Al4V alloy: An application in small joint implants



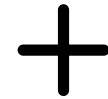
- U slitiny Ti6Al4V nevznikl dostatečně tlustý mazací film pro oddělení třecího páru



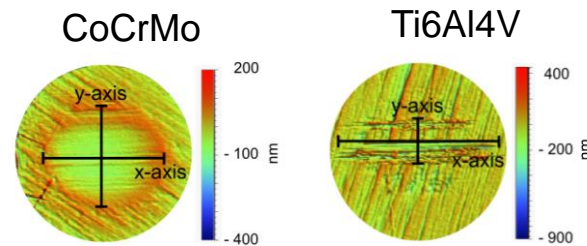
SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



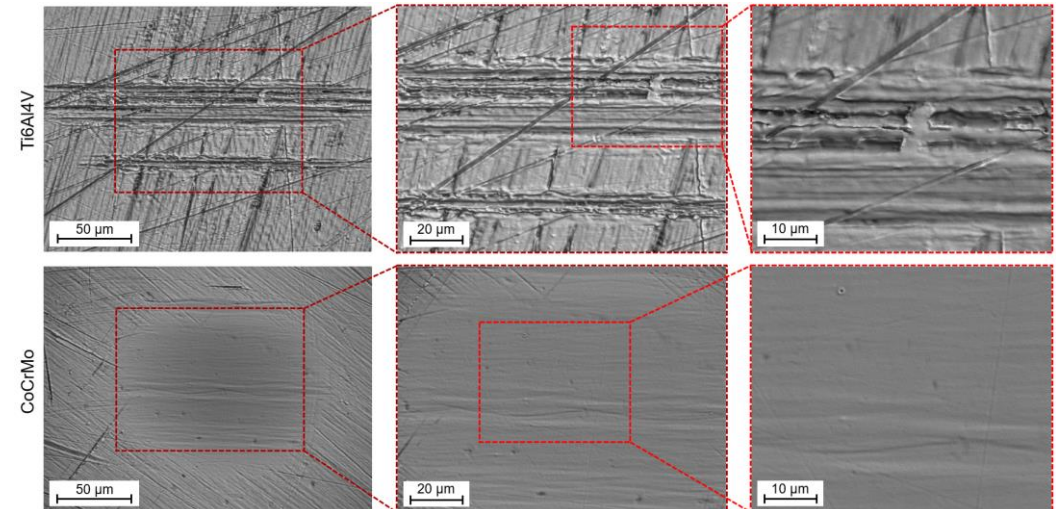
✓ **Publikace 1:** Tribological behaviour of Ti6Al4V alloy:
An application in small joint implants



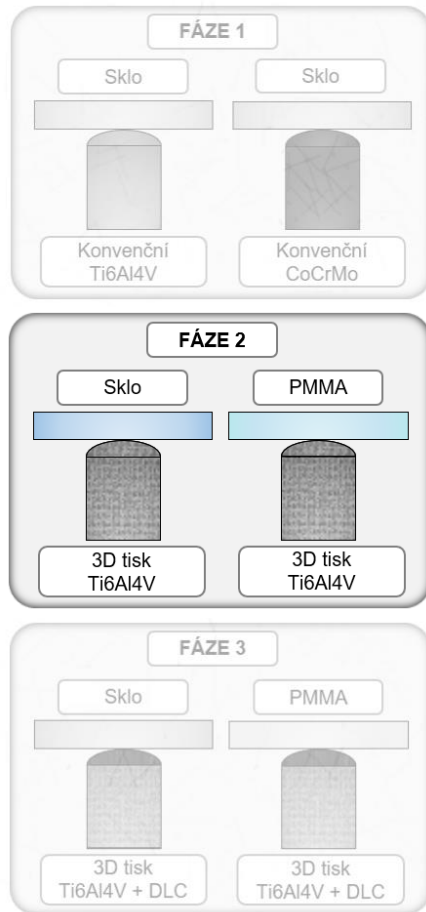
- Režim opotřebení slitiny Ti6Al4V se liší od konvenční CoCrMo



Tested conditions	Average x-axis width	Average y-axis width	Average central depth
20 mm/s CoCrMo	140 μm	110 μm	86 nm
20 mm/s Ti6Al4V	155 μm	102 μm	163 nm
40 mm/s CoCrMo	Non-visible signs of wear		
40 mm/s Ti6Al4V	249 μm	116 μm	668 nm



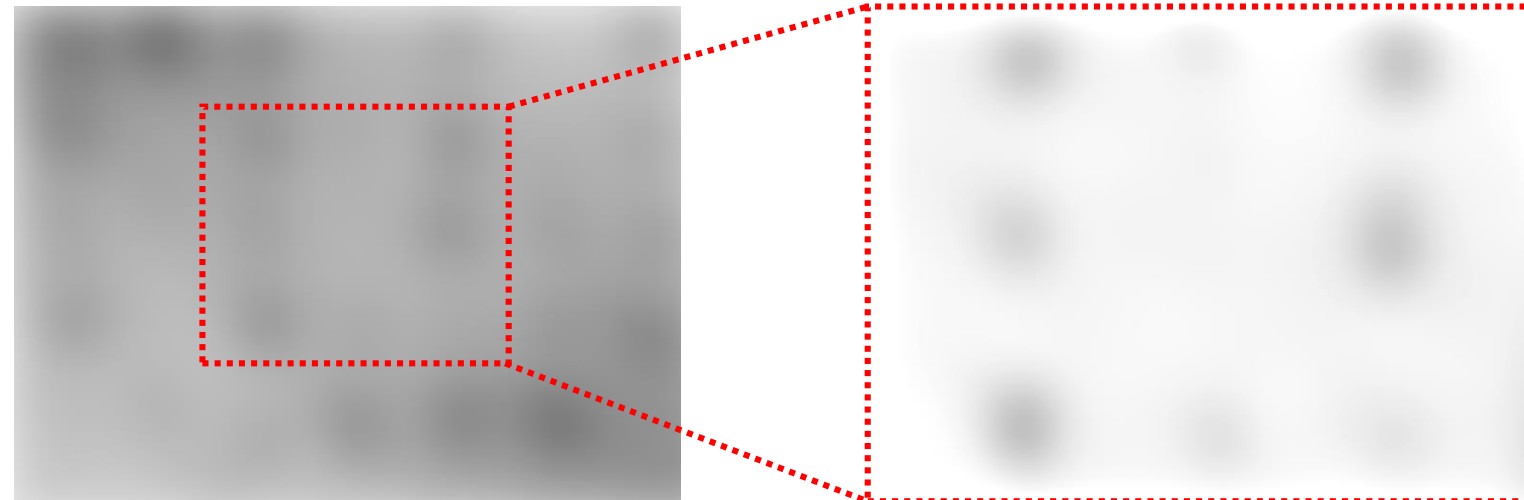
SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



Publikace 2: Tribological behaviour of additively manufactured Ti6Al4V with controlled surface structure: An application in small joint implants



+ Prezentace na konferenci



SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



✗ **Publikace 3:** Tribological behaviour and long term durability of structured additively manufactured Ti6Al4V alloy with enhanced surface by coating: An application in small joint implants

- Aplikace poznatků z výzkumu 3D tištěných povrchů
- Doplnění vzorků o povlak zlepšující jejich vlastnosti
- Dlouhodobé experimenty



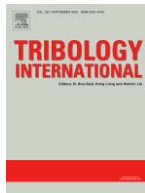
PŘEHLED PUBLIKACÍ, KONFERENCÍ A PROJEKTŮ



Odehnal L, Ranuša M, Vrbka M, Křupka I, Hartl M. Tribological Behaviour of Ti6Al4V Alloy: An Application in Small Joint Implants. Tribol Lett 2023;71:125. <https://doi.org/10.1007/s11249-023-01795-4>.



Odehnal L, Ranuša M, Vrbka M, Křupka I.
Lubrication Film Thickness Development of CoCrMo and Ti6Al4V Alloys in a Simulated Small Joint Implant



Odehnal L, Ranuša M, Wimmer MA, Vrbka M, Křupka I. Development of lubrication film and influence on friction in a total knee replacement during a gait cycle. Tribol Int 2023;178:108073. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.108073>.



Spoluřešitel

Tření a mazání implantátů malých kloubů
vyráběných aditivní technologií 3D tisku kovů



Spoluřešitel

Vývoj tribologicky optimalizovaných třecích
povrchů 3D tištěných náhrad malých kloubů

DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Lukáš Odehnal

Lukas.Odehnal@vut.cz



*Tento výzkum je součástí řešení
projektu grantové agentury České
republiky, číslo projektu: 22-02154S.*



www.ustavkonstruovani.cz