

Vliv povrchových nerovností na vývoj tření a tloušťky mazacího filmu v oblasti přechodu do smíšeného mazání

Zapletal Tomáš, Ing.

Školitel: prof. Ing. **Ivan Křupka, Ph.D.**

Školitel specialista: Ing. **Petr Šperka, Ph.D.**

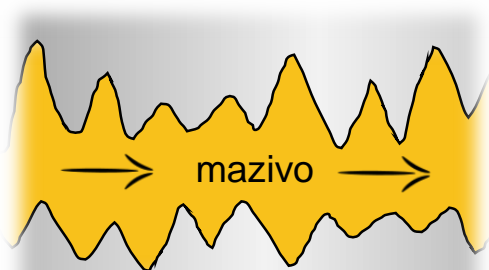
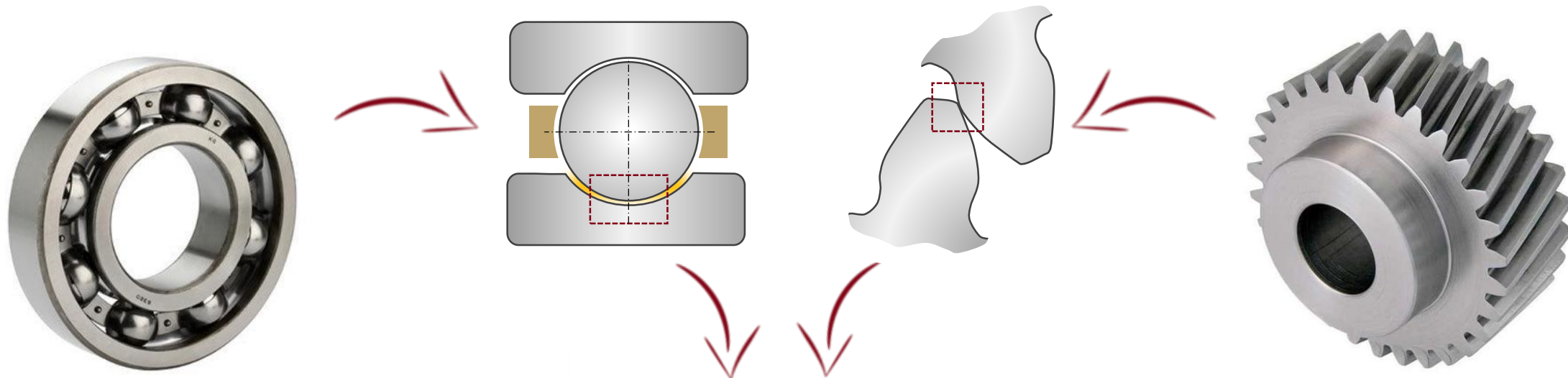


ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

OBSAH PREZENTACE

- Motivace pro řešení
- Shrnutí současného stavu
- Vymezení cílů disertační práce
- Materiál a metody
- Současný stav
- Závěr

MOTIVACE PRO ŘEŠENÍ

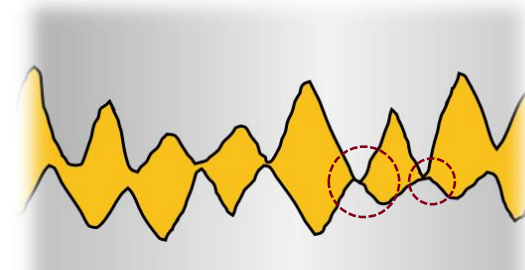


Dokonalá separace třecích povrchů

Dowson, D., 1993

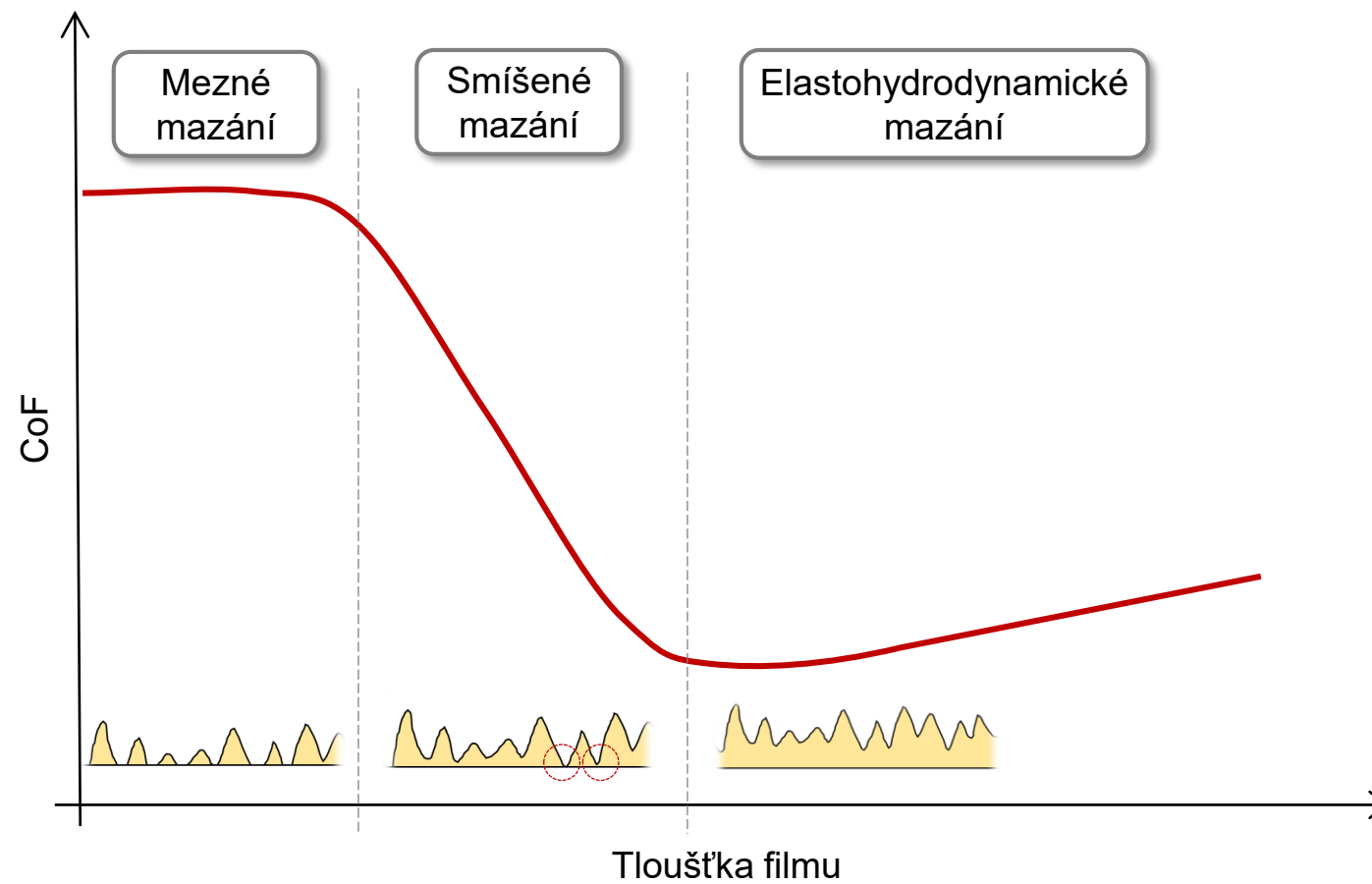
„...advances in analysis, design and manufacture have enabled fluid-film lubricated systems to operate with films of ever decreasing thickness throughout the 20th century.

Využití maziv s nízkou viskozitou
Náročnější provozní podmínky

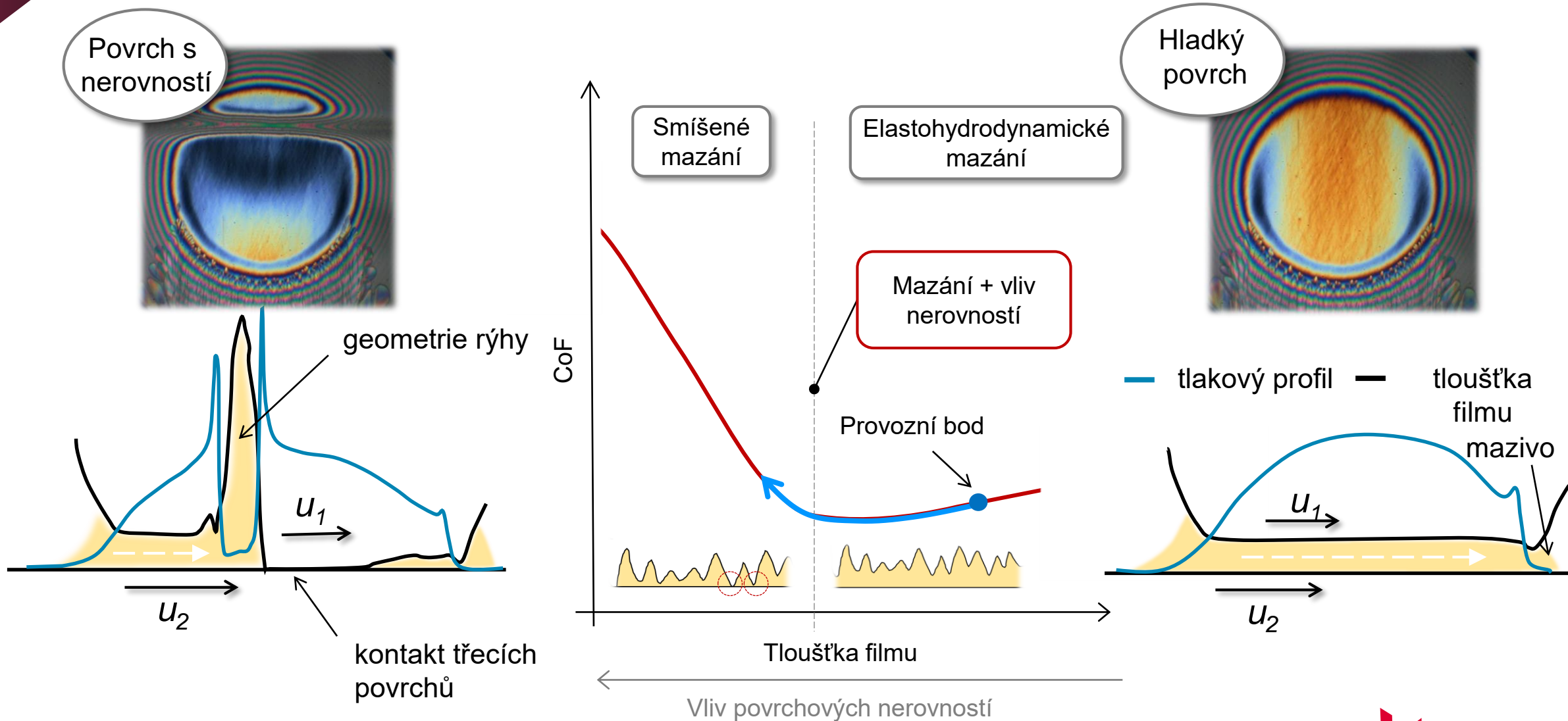


Počáteční kontakt třecích povrchů

MOTIVACE PRO ŘEŠENÍ



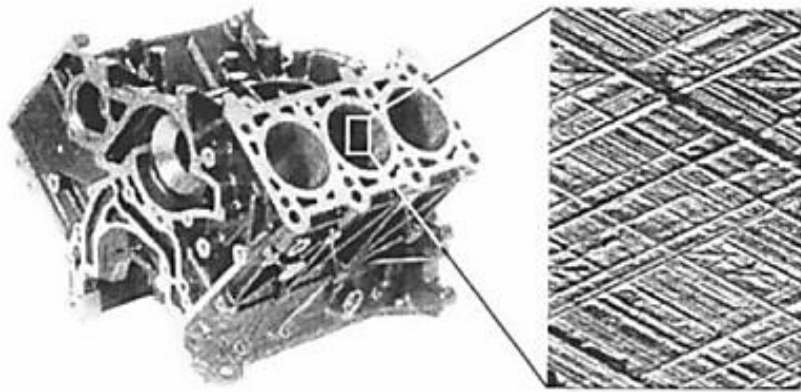
MOTIVACE PRO ŘEŠENÍ



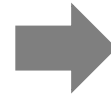
SHRnutí SOUČASNÉHO STAVU

Přístupy k řešení problematiky nerovností

- Reálné povrchy
- Zkoumání izolovaného chování dané nerovnosti
- Numerické studie

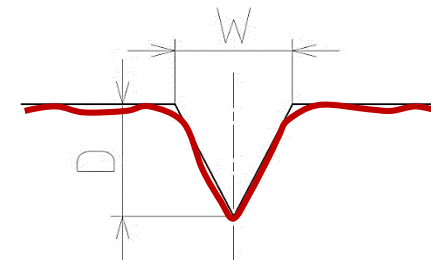
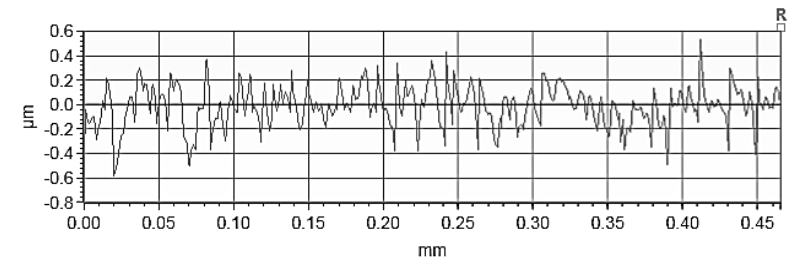


MAINSAH, E., J., a kol. 2001

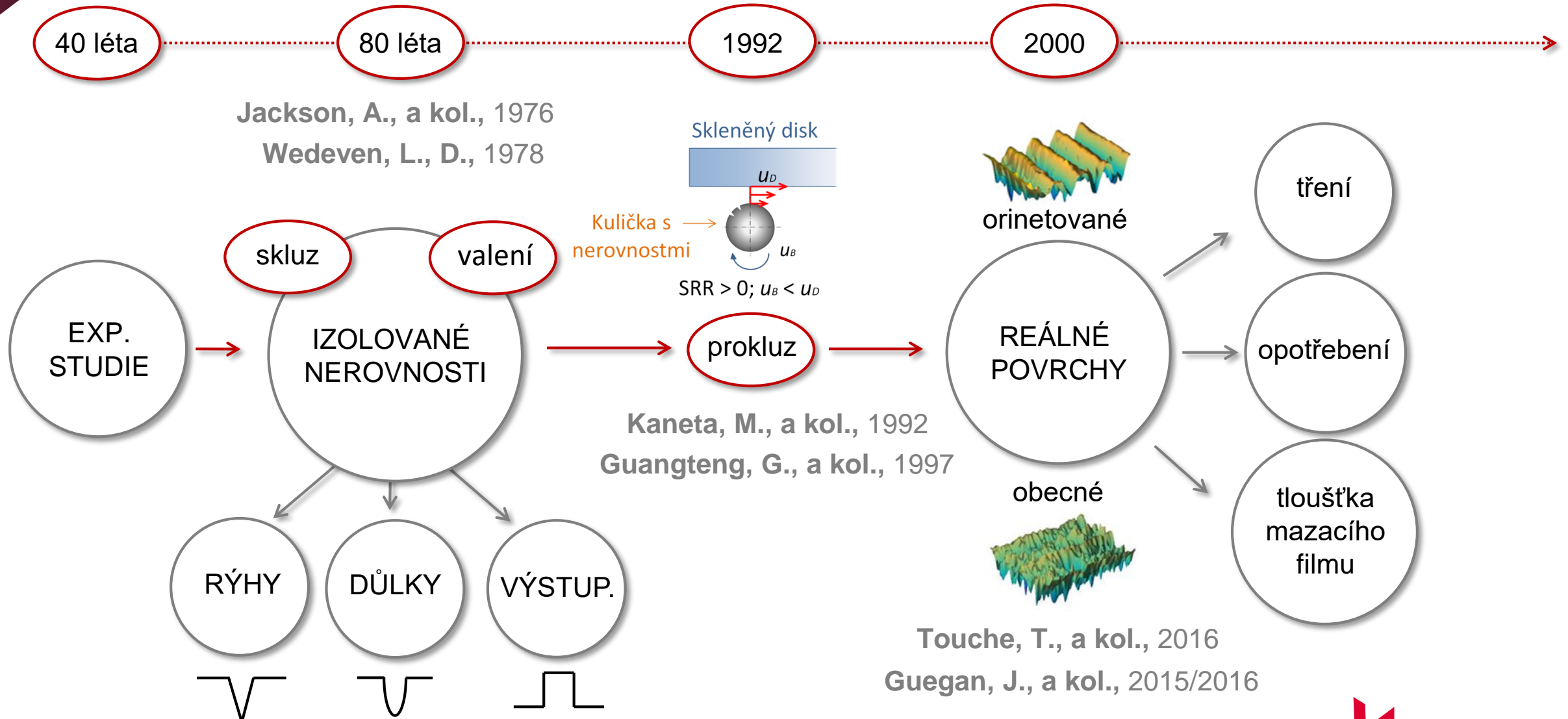


REÁLNÉ
POVRCHY

IZOLOVANÉ
NEROVNOSTI



SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU



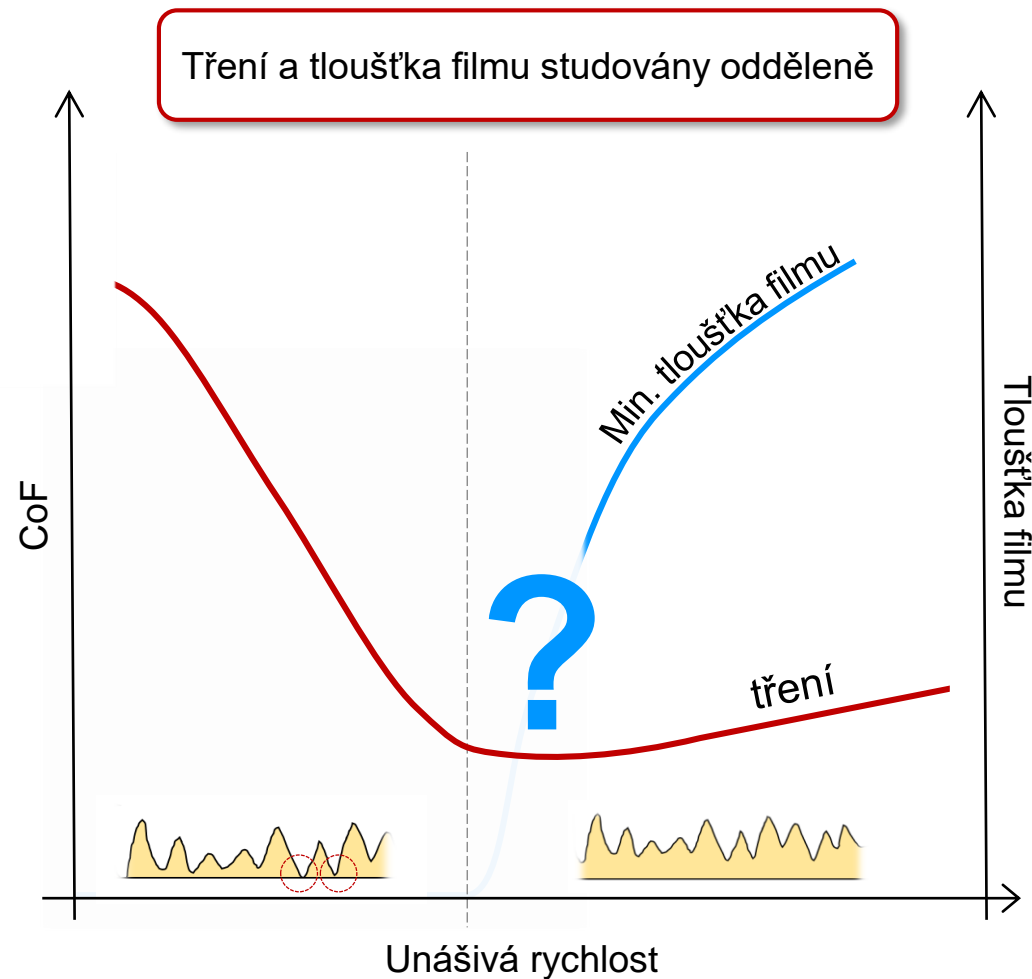
SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU

IZOLOVANÉ NEROVNOSTI

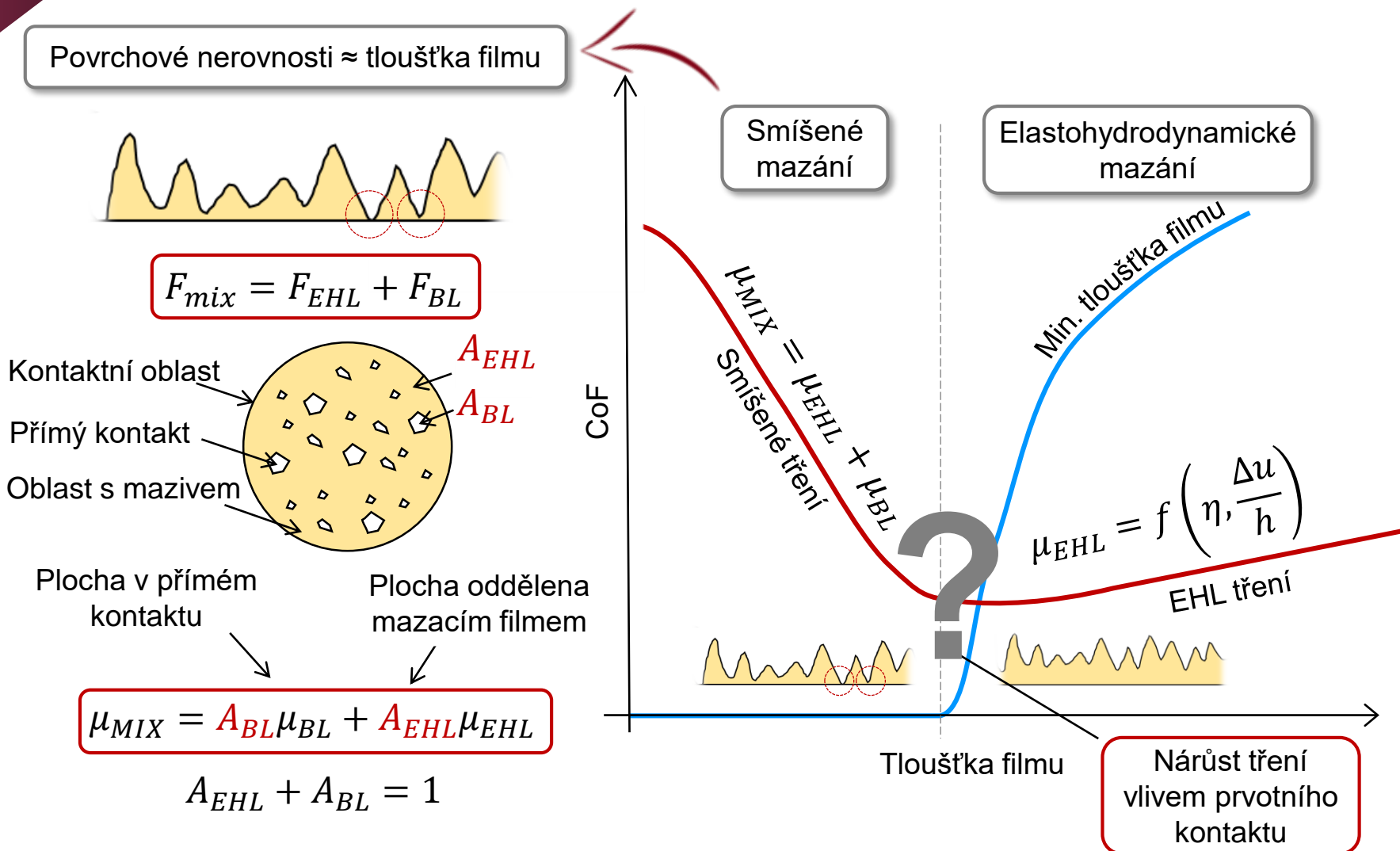
- Relativně dobře pochopená problematika
- Studie převážně zaměřeny na:
 - Tloušťku filmu \approx deformaci nerovností
 - Chování v kombinaci s dalšími prvky
 - Tření

REÁLNÉ POVRCHY

- Komplexnější problematika
- Studie převážně zaměřeny na:
 - Tloušťku filmu \approx deformaci nerovností
 - Tření
 - Opotřebení



SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU



Khonsari, M., M., 2006

„Mixed lubrication commonly defines a lubrication state in which both fluid film and asperity contact exist...“

Spikes, H., A., Oliver, A., V., 2003

„...the regime where the applied load is sheared between full-film regions and asperity contact regions.“

Guegan, J., a kol., 2016

$$\mu_{MIX} = \mu_{HD} + \frac{\mu_{BN} - \mu_{HD}}{(1 + \Lambda)^m}$$

Ghannavieh, A., B., a kol., 2014

$$F_f = \sum_{i=1}^N \iint_{A_{Ci}} \tau_{Ci} dA_{Ci} + \iint_{A_H} \tau_H dA_H$$

VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Cíl disertační práce

- Experimentální verifikace přístupu k hodnocení přechodu do smíšeného mazání

Přínos disertační práce

- Rozšíření poznatků o vývoji tření v oblasti přechodu do smíšeného mazání

Reálné povrchy

- Objasnění přechodu z pohledu obecně nerovných povrchů

Modelové/izolované nerovnosti

- Určení velikosti příspěvku modelových nerovností na výslednou hodnotu součinitele tření

VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Vědecká otázka č. 1

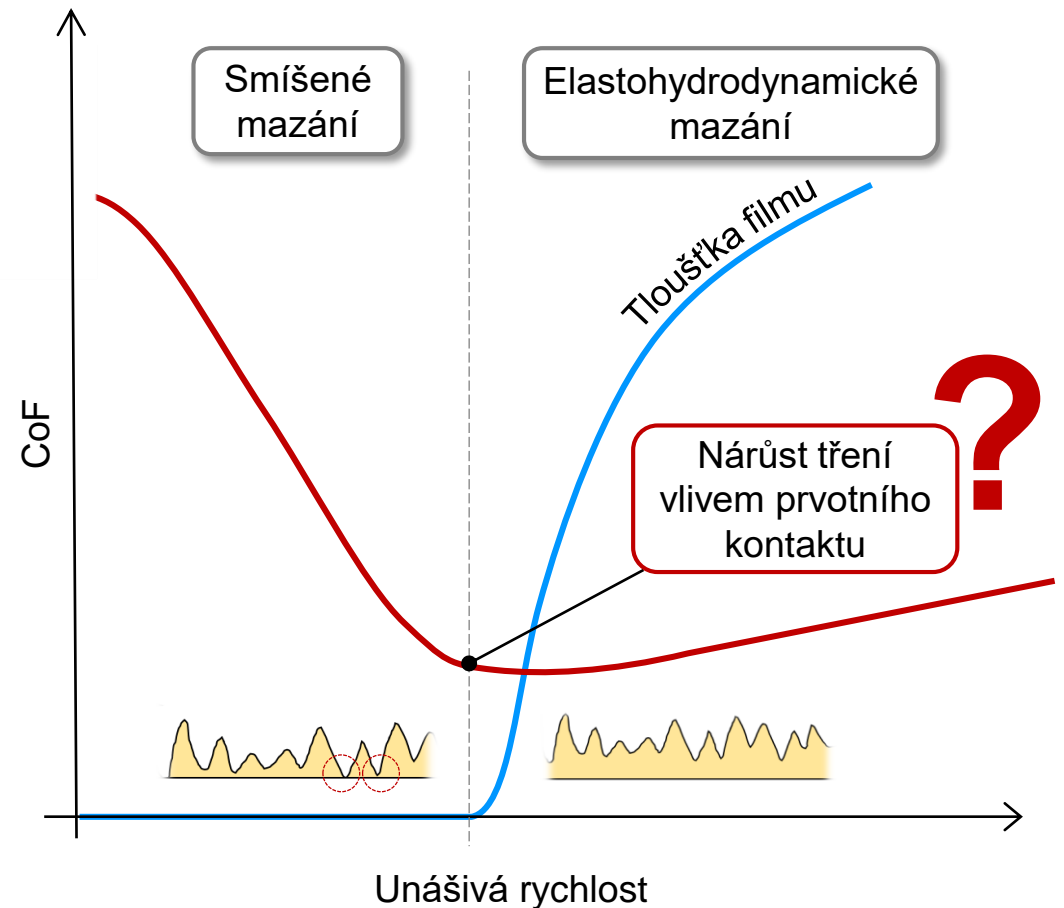
Koresponduje nárůst tření, který je obecně považován za přechod do smíšeného mazání, s prvotním kontaktem mezi třecími povrchy?

Pracovní hypotéza č. 1

Na základě informací o vývoji tloušťky mazacího filmu a součinitele tření lze verifikovat, zda je nárůst tření skutečně vyvolán přímým stykem mezi třecími povrchy.

Tenot, 1937

„...the rising friction in the mixed lubrication regimes was not necessarily due to dry, or solid, friction.“



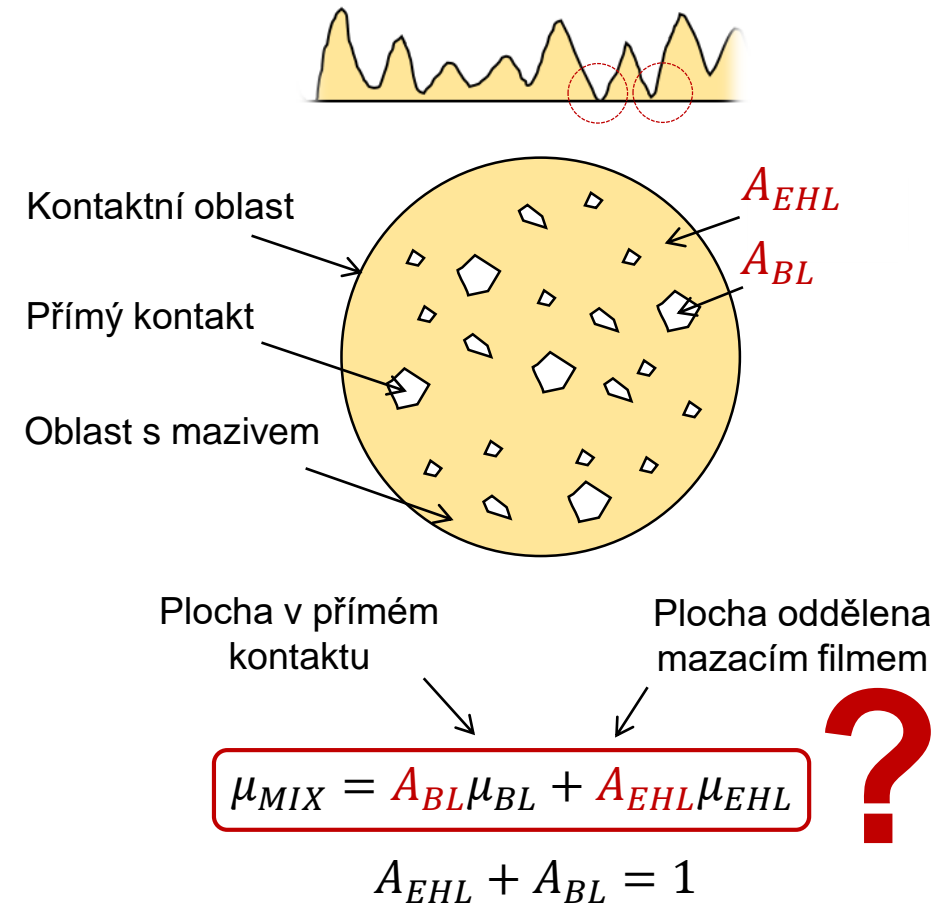
VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Vědecká otázka č. 2

Lze definovat průběh součinitele tření v oblasti smíšeného mazání na základě superpozice třecích složek kapalinového a mezného mazání, při zohlednění jejich příspěvku na základě velikosti plochy v přímém kontaktu?

Pracovní hypotéza č. 2

Porovnáním experimentálních dat s predikcí založenou na předpokladu nezávislého příspěvku jednotlivých složek tření, které definují jeho celkovou hodnotu v oblasti smíšeného mazání, lze potvrdit vhodnost tohoto přístupu pro případ povrchů s uniformní strukturou.



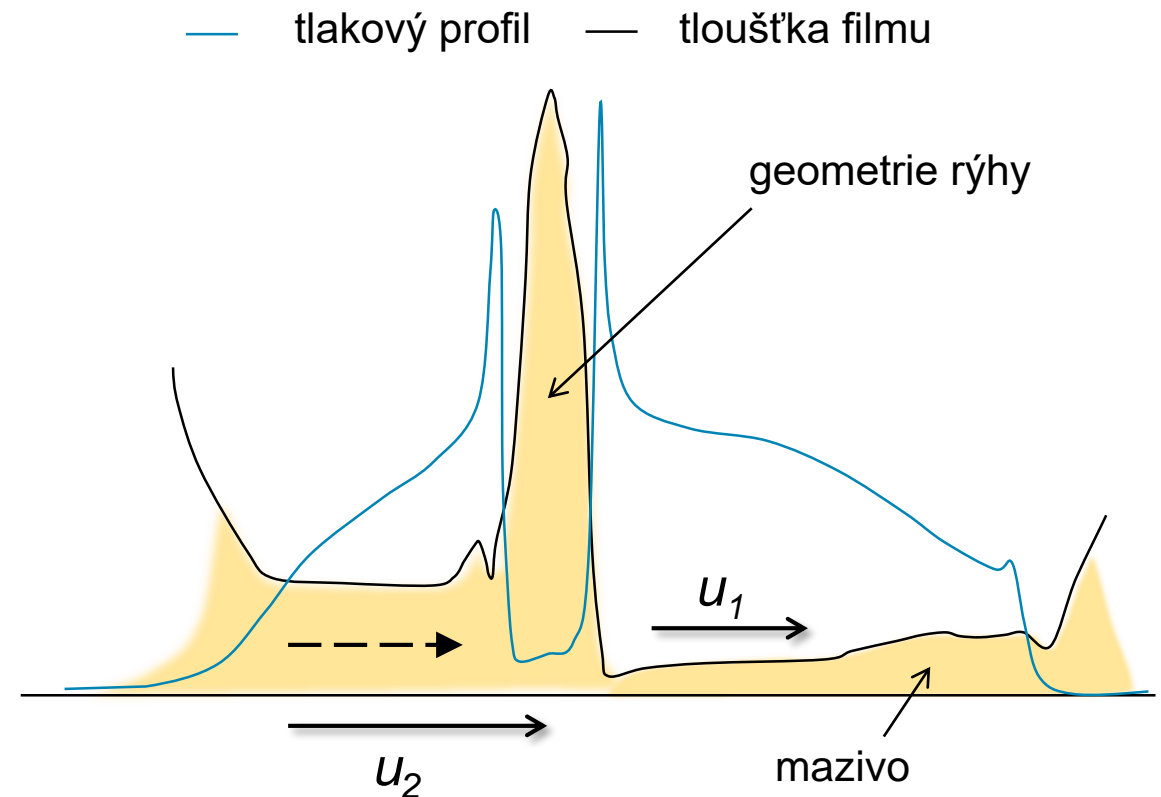
VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Vědecká otázka č. 3

Jaký dopad má kolísání tlaku způsobené vstupem nerovností do kontaktní oblasti na výslednou hodnotu součinitele tření?

Pracovní hypotéza č. 3

Propojením informace o vývoji tření a tloušťky mazacího filmu pro jednotlivé modelové nerovnosti, při jejich průchodu kontaktní oblasti, lze určit velikost příspěvku těchto nerovností na výslednou hodnotu součinitele tření.



MATERIÁL A METODY

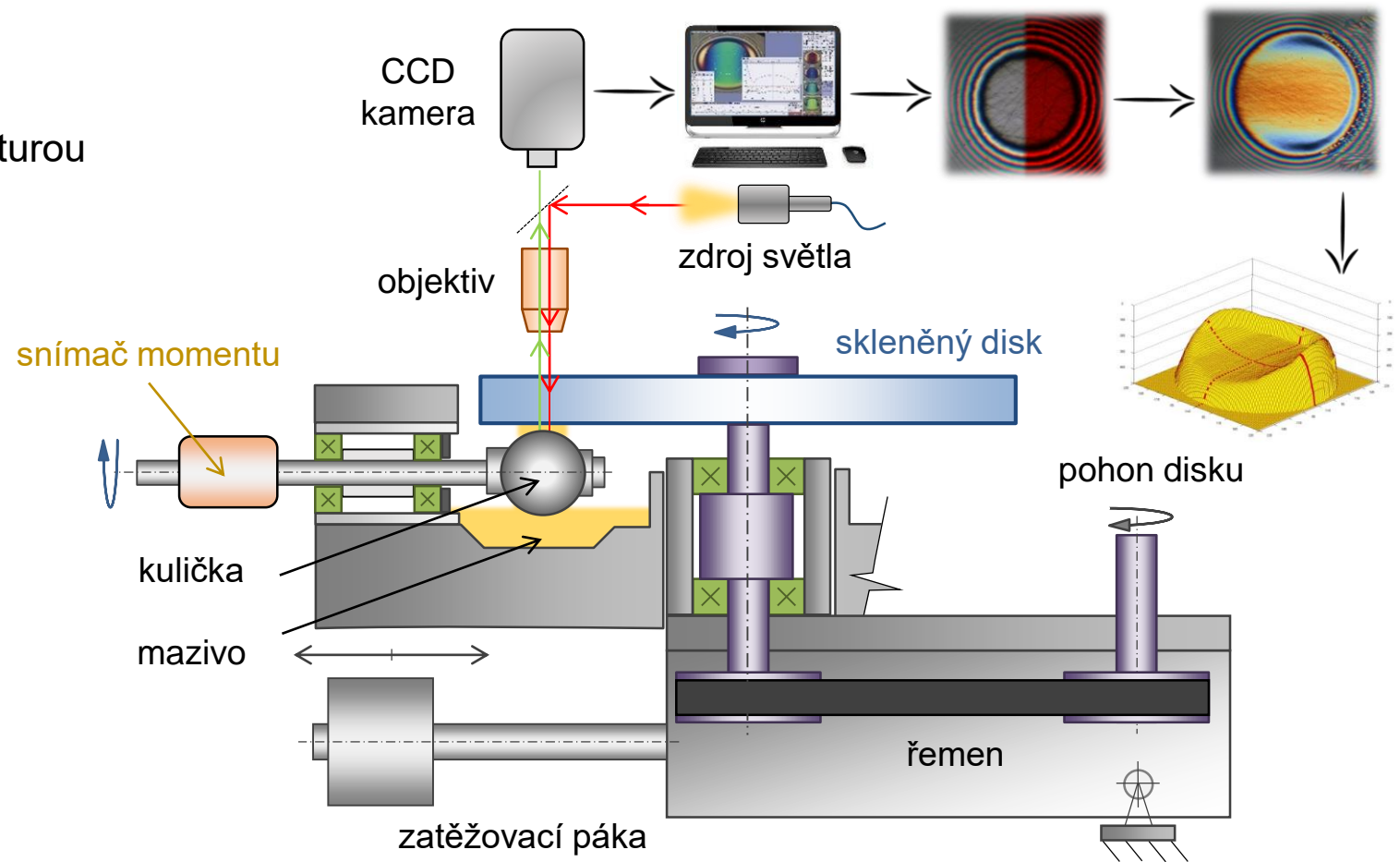
Rozlišitelnost tloušťky filmu $\approx 0,2 \text{ nm}$
Příčná rozlišitelnost = $0,456 \mu\text{m}$

Materiál

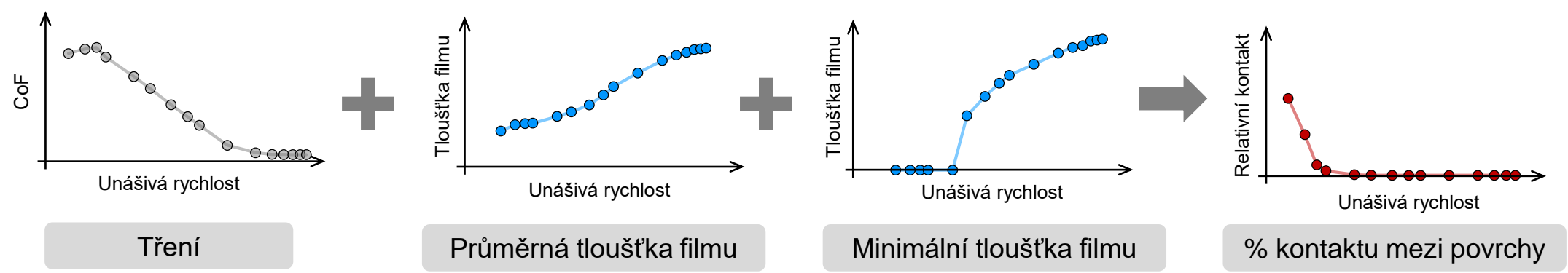
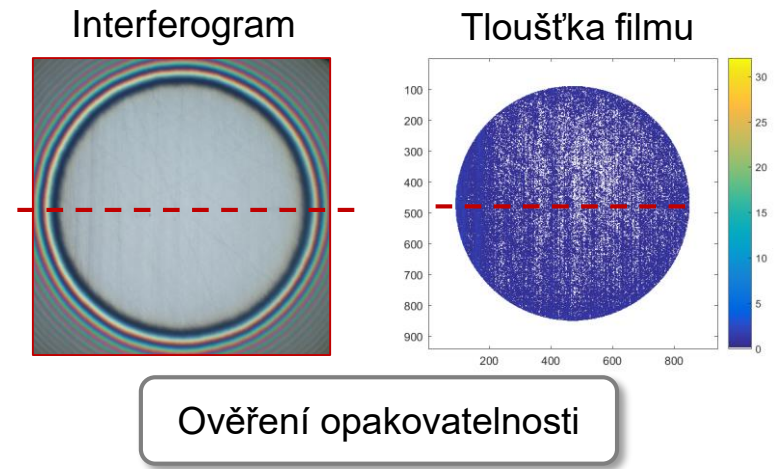
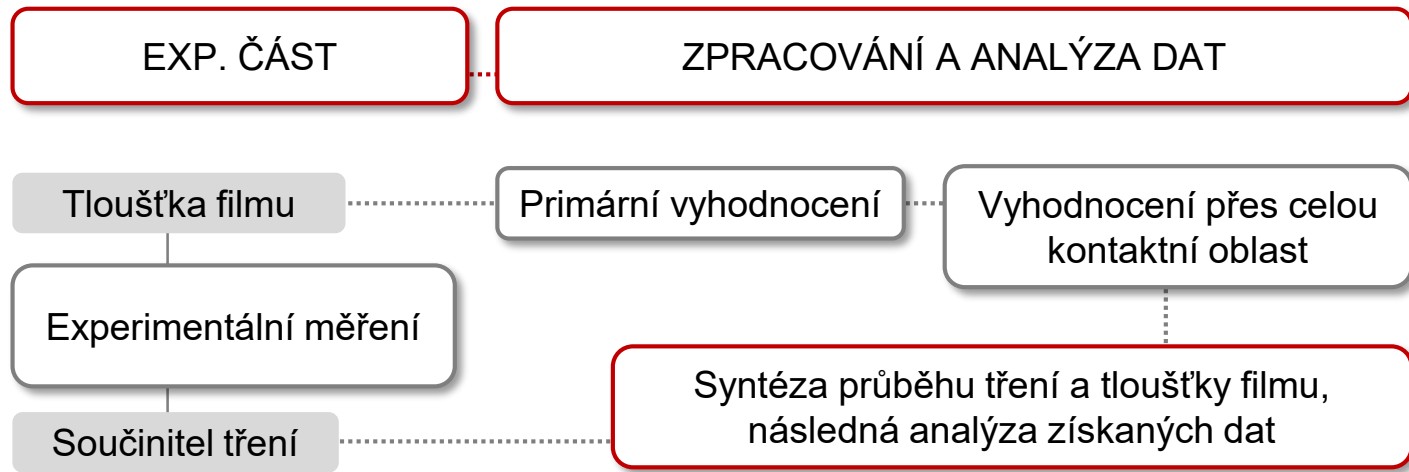
- Experimentální vzorky
 - 2 až 4 povrchy s reálnou strukturou
 - Modelové nerovnosti
- Maziva
 - Reálná základová maziva
 - Referenční maziva

Metody

- Tribometr ball-on-disc
 - Měření tloušťky filmu
 - Měření tření



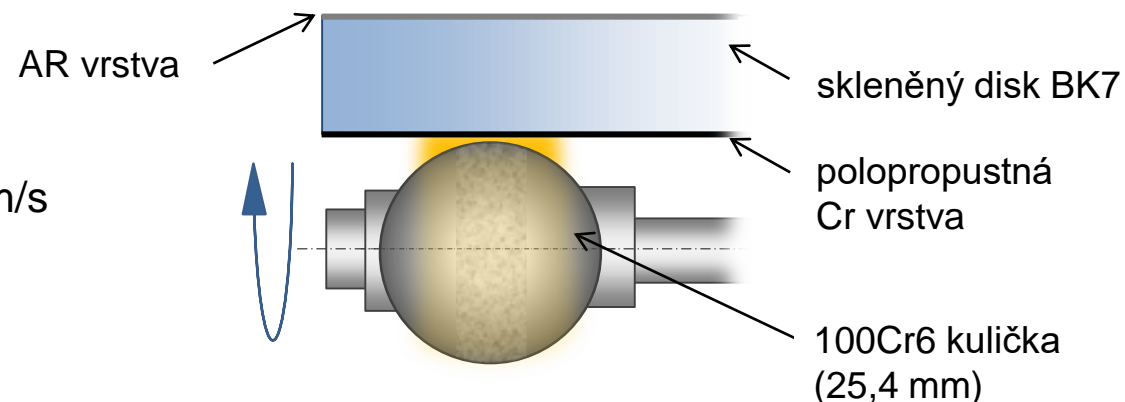
MATERIÁL A METODY



SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ – PILOTNÍ STUDIE

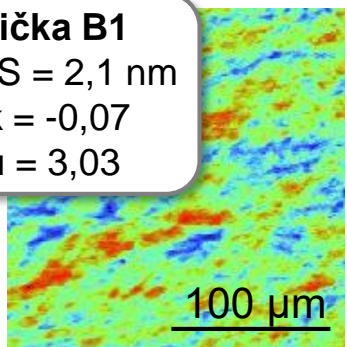
Pilotní studie

- $SRR = \pm 0,1$
- Valivá rychlost (1000 – 0,4) mm/s
- Zatížení = 44,5 N ($\approx 0,6$ GPa)
- Teplota = 24,5 °C



Kulička B1

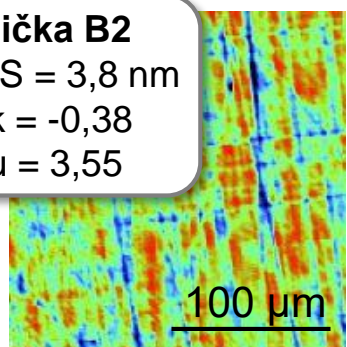
RMS = 2,1 nm
Rsk = -0,07
Rku = 3,03



8
0
-8 nm

Kulička B2

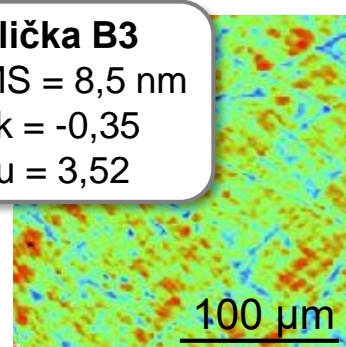
RMS = 3,8 nm
Rsk = -0,38
Rku = 3,55



10
0
-13 nm

Kulička B3

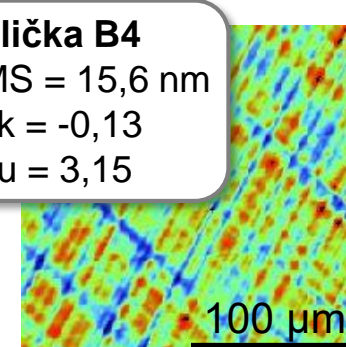
RMS = 8,5 nm
Rsk = -0,35
Rku = 3,52



25
0
-32 nm

Kulička B4

RMS = 15,6 nm
Rsk = -0,13
Rku = 3,15



40
0
-48 nm

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



Nárůst tření pozorován před prvotním kontaktem mezi třecími povrchy

Skutečný nárůst tření dříve než uvažuje predikce

$$\mu_{MIX} = A_{BL}\mu_{BL} + A_{EHL}\mu_{EHL}$$

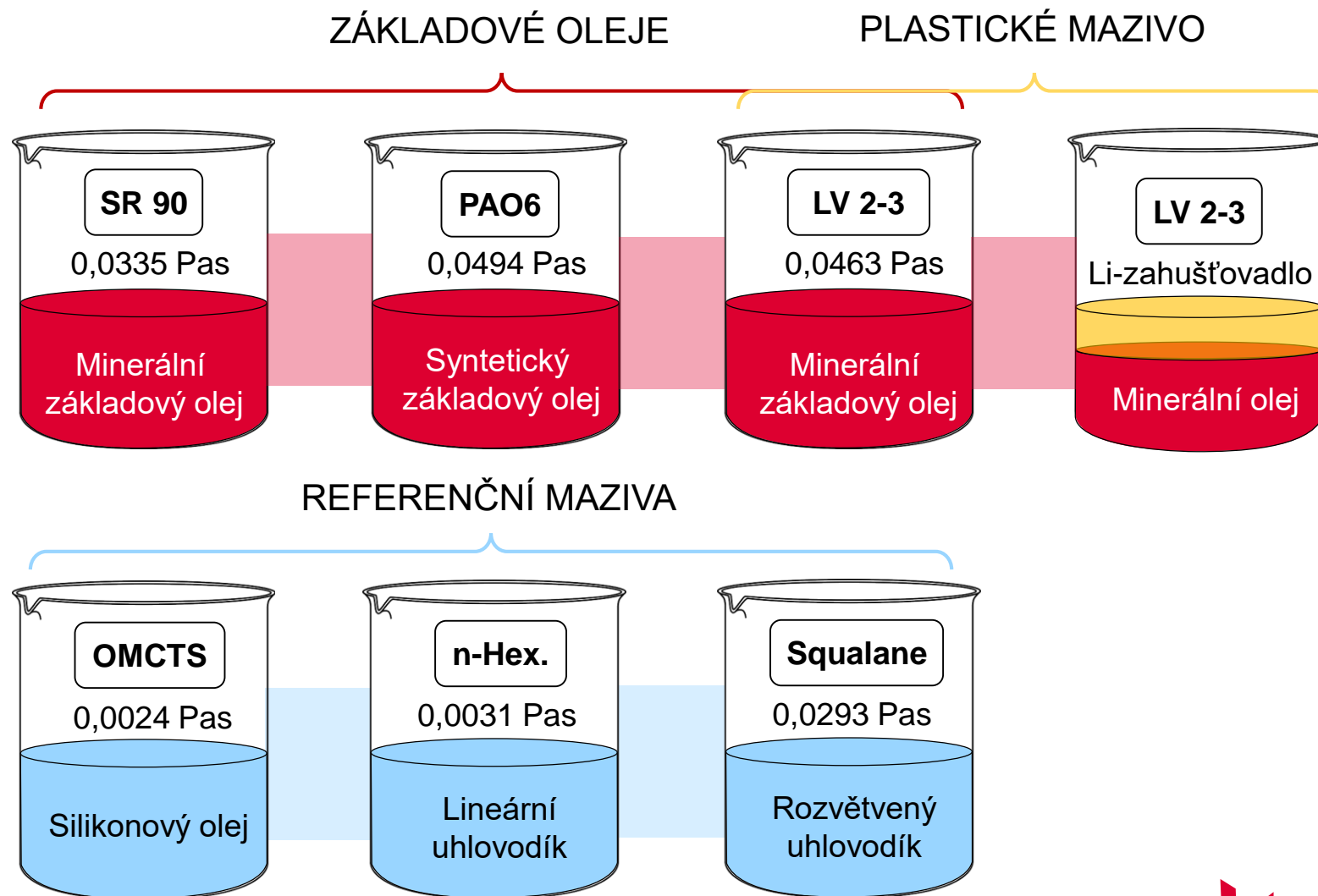
$$A_{EHL} + A_{BL} = 1$$



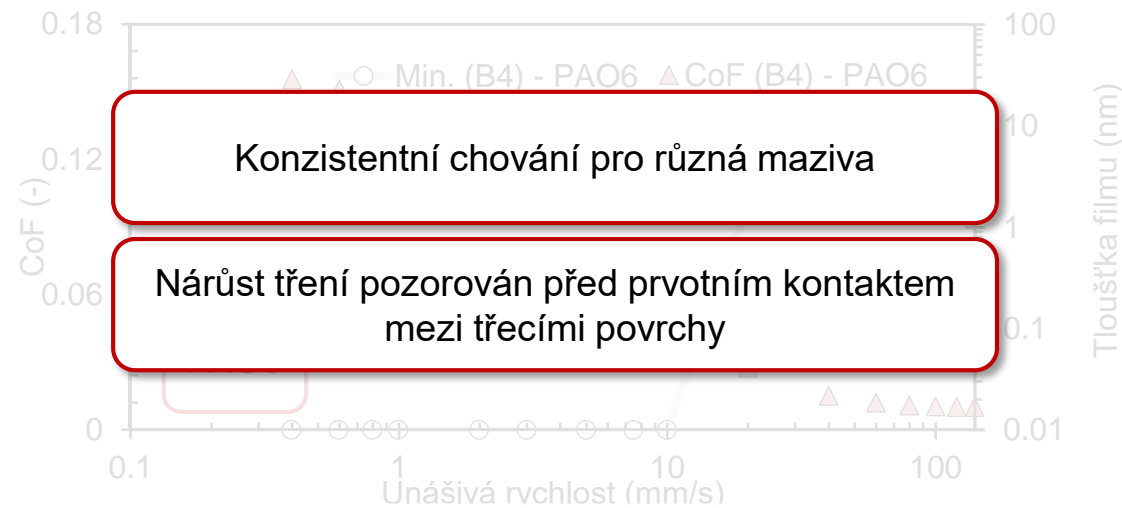
SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Použitá maziva

- 3x základový olej
- 3x referenční maziva
- 1x plastické mazivo



SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ



SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

PUBLIKACE (VYDANÉ)

ZAPLETAL, T.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. The effect of surface grooves on transition to mixed lubrication. *Tribology International*, **2017**, roč. 114, č. 1, s. 409-417. ISSN: 0301-679X. (IF 3,246)

ZAPLETAL, T.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. The effect of surface roughness on friction and film thickness in transition from EHL to mixed lubrication. *Tribology International*, **2018**, roč. 128, č. 1, s. 356-364. ISSN: 1879-2464. (IF 3,246)

PUBLIKACE (PŘIPRAVOVANÉ)

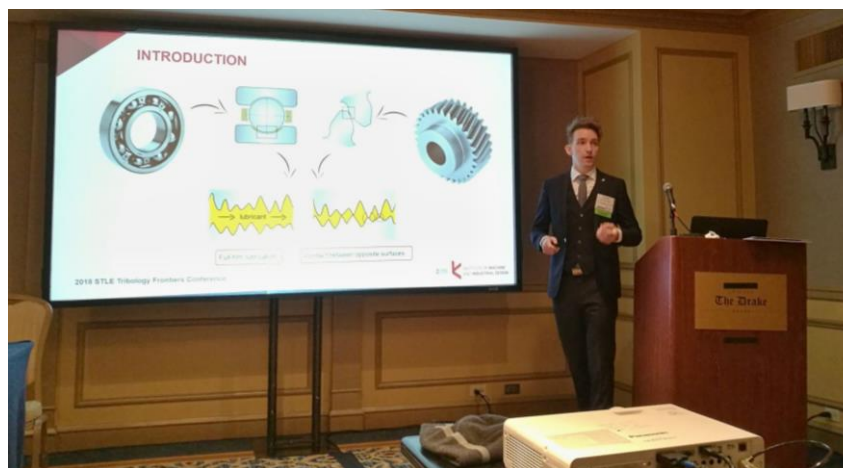
ZAPLETAL, T.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. On the transition from thickener to base oil dominant behaviour in friction and film thickness for Li-soap grease. (Připraveno k odeslání)

ZAPLETAL, T.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Film Thickness and Friction in Terms of Transition from Elastohydrodynamic to Boundary Lubrication. (Revize školitele)

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Prezentace získaných výsledků

- 21st International Colloquium Tribology - Industrial and Automotive Lubrication; Esslingen, *Německo*, 2018
- International Bearing Conference; Kaiserslautern, *Německo*, 2018
- STLE Tribology Frontiers Conference, Chicago, *Illinois (USA)*, 2018



- ECOTRIB European Conference on Tribology, Vídeň, 2019
- 46th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Lyon, 2019

ZÁVĚR

Shrnutí

- Vymezení se vůči předchozím studiím s cílem zaplnit slepé místo v oblasti přechodu do smíšeného mazání
- Prezentována metodika, která povede k dosažení definovaného cíle
- Provedení pilotní studie i experimentů s dalšími mazivy

Hlavní doposud získané poznatky

K nárůstu tření dochází dříve, než je pozorován prvotní kontakt mezi třecími povrchy

Kvalitativně konzistentní chování pro různé základové oleje i referenční kapaliny

Děkuji Vám za pozornost

Tomáš Zapletal, Ing.



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ