

Studium smykově namáhaných elastohydrodynamických mazacích filmů za tranzientních podmínek

Josef Frýza

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

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

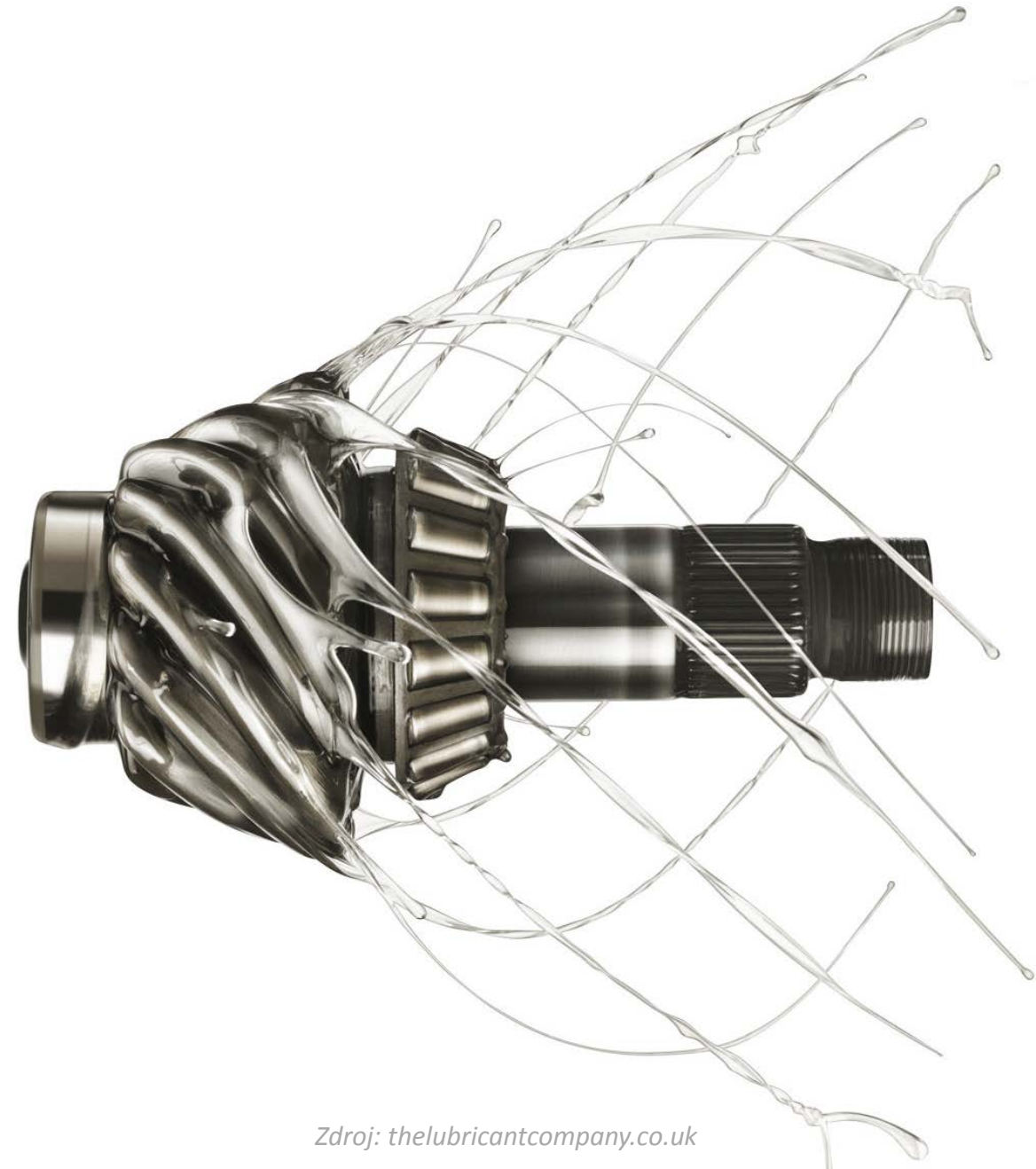
VUT v Brně

Prezentace ke státní doktorské zkoušce
30. 11. 2015



Obsah prezentace

- ❖ Úvod do problematiky
- ❖ Shrnutí současného stavu poznání
- ❖ Analýza a zhodnocení poznatků
- ❖ Vymezení cílů dizertační práce
- ❖ Současný stav řešení dizertační práce
- ❖ Závěr



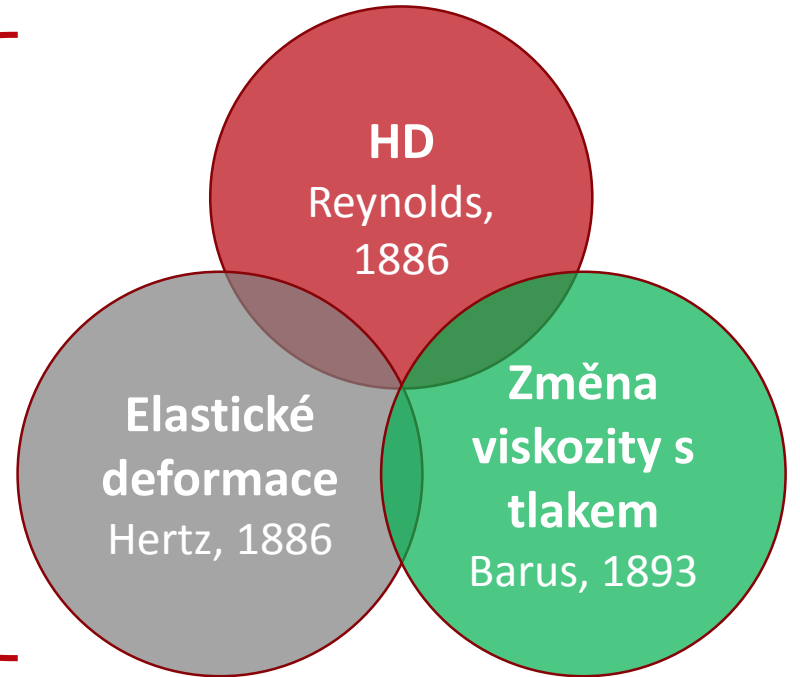
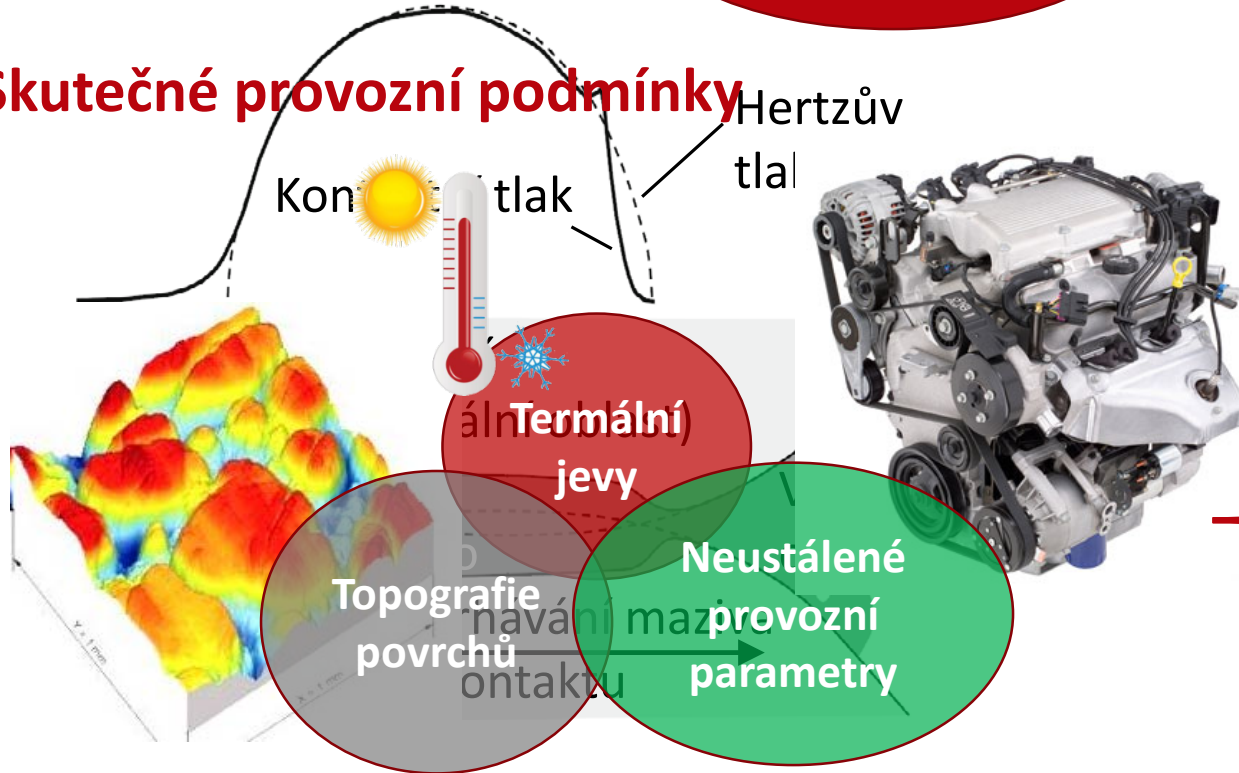
Zdroj: thelubricantcompany.co.uk

Úvod do problematiky

Elastohydrodynamické mazání (EHL)

EHL
„Grubin, 1949“
Ertel, 1945

Skutečné provozní podmínky



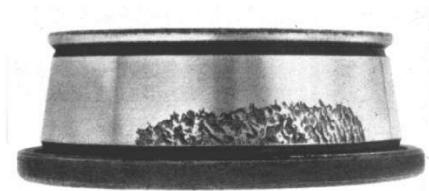
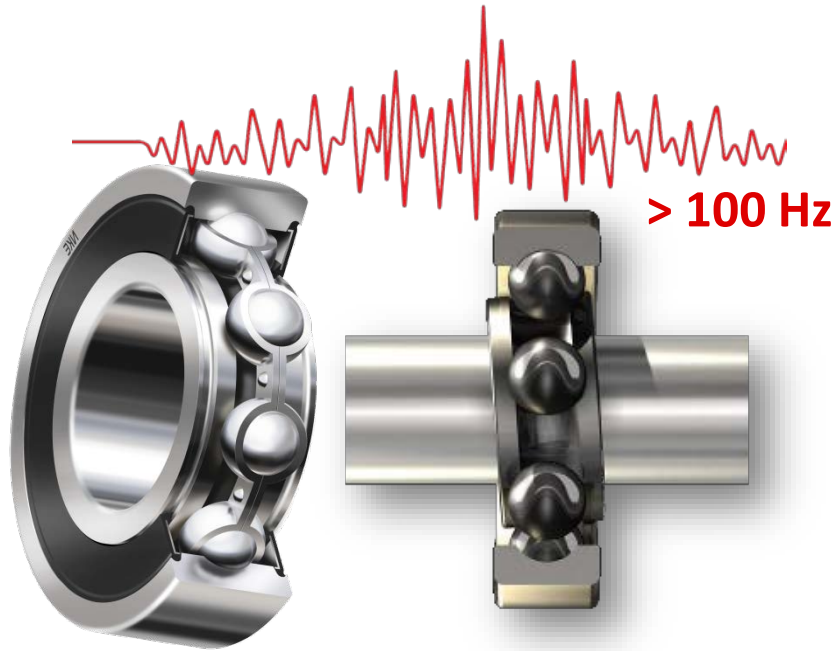
Změna zatížení a zakřivení povrchů

Dynamické pohyby

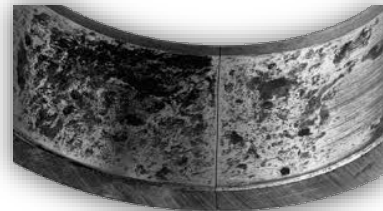
Vibrace

Úvod do problematiky - motivace

Vibrace ve strojních prvcích



Fatigue



Fretting corrosion



False brinelling



Zdroj: machinery.co.uk

Úvod do problematiky

Výzkum filmů nestacionárních EHL kontaktů

1960

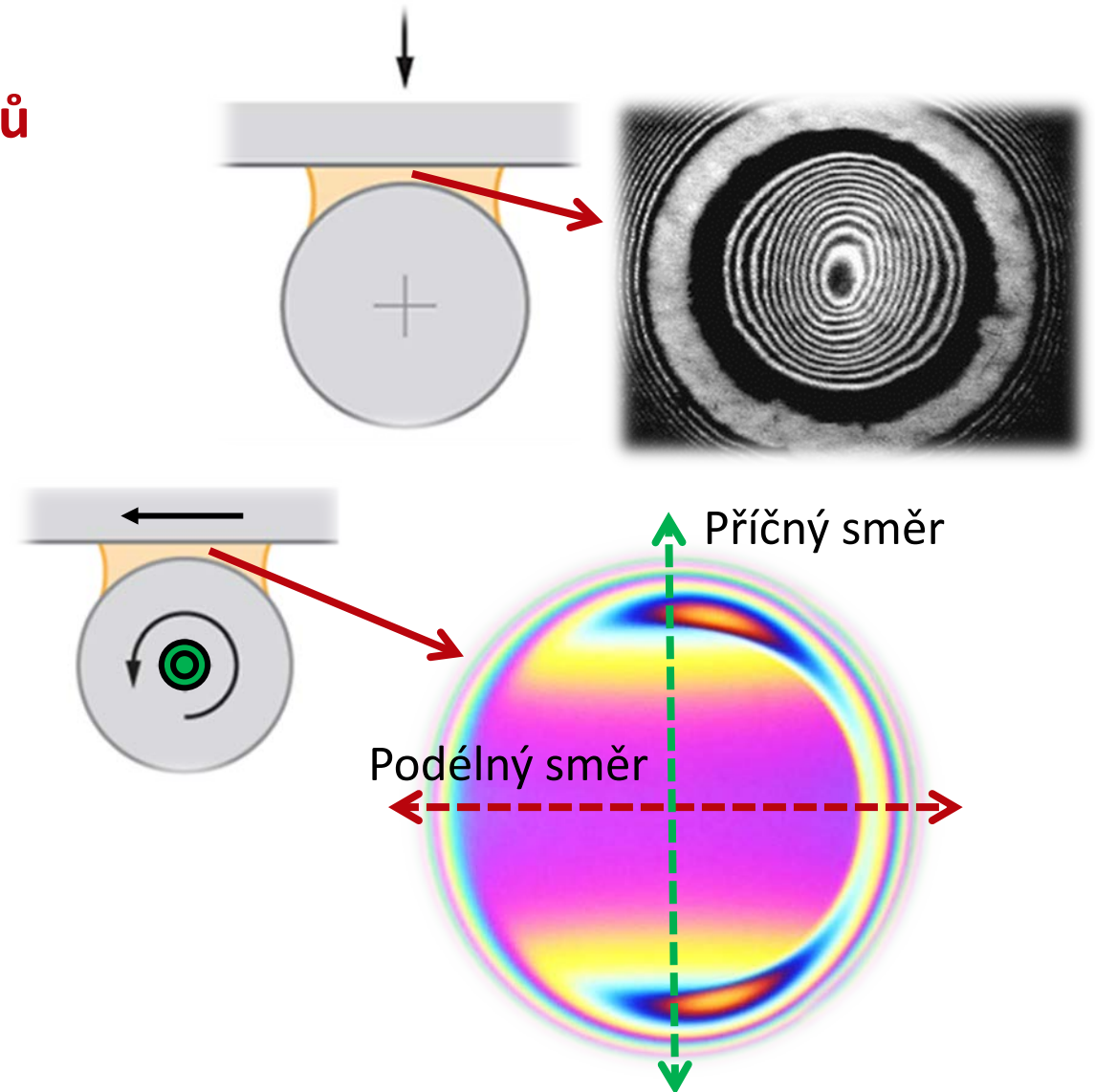
- ❖ Experimenty na **dynamické zatěžování**
- ❖ Elektrické a optické metody
- ❖ Nedostatečně přesné výsledky experimentálních studií

1990

- ❖ Experimenty na **nestacionární pohyby v podélném směru kontaktu**
- ❖ Metoda optické interferometrie

2012

- ❖ Experimenty na **nestacionární pohyby v příčném směru kontaktu (vibrace)**

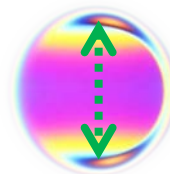


Shrnutí současného stavu poznání

Studie popisující chování EHL filmů za nestacionárních podmínek



Pohyby v podélném směru kontaktu



Pohyby v příčném směru kontaktu

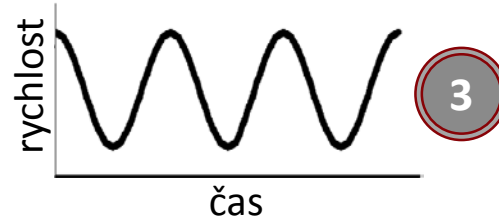
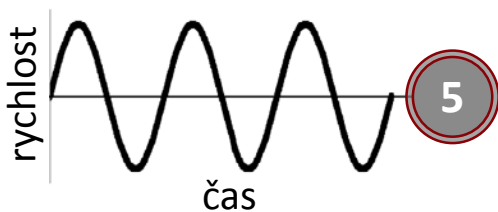
Reciproční pohyb

11

Jednosměrný pohyb

11

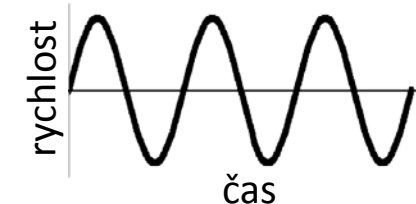
Harmonický průběh



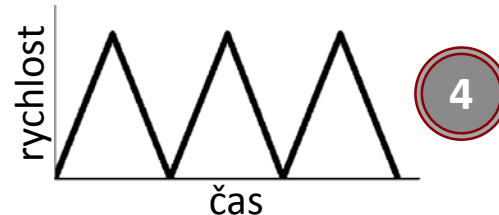
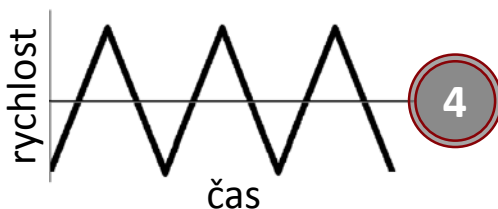
Harmonický průběh

1+1

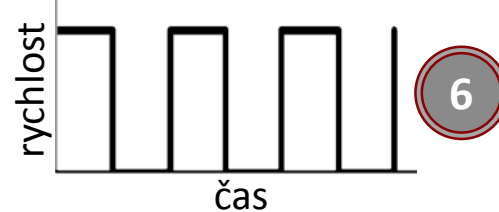
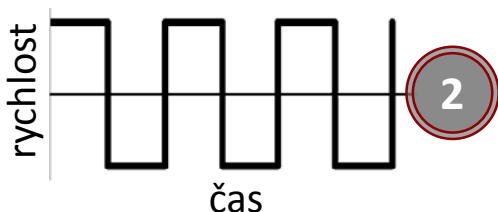
Reciproční pohyb



Konstantní zrychlení



Konstantní rychlost



Shrnutí současného stavu poznání

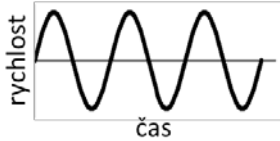
Pohyby v podélném směru kontaktu

1995



NISHIKAWA, H. and M. KANETA. Behavior of EHL films in reciprocating motion. (26 citací dle WoK)

- Cyklická změna tloušťky a uvěznění filmu na úvratích.
- Chování filmu výrazně závislé na velikosti zdvihu a frekvenci pohybu.

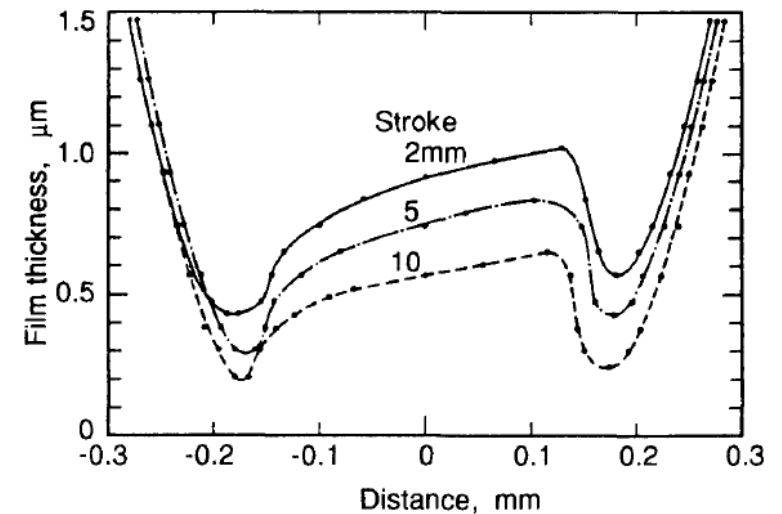
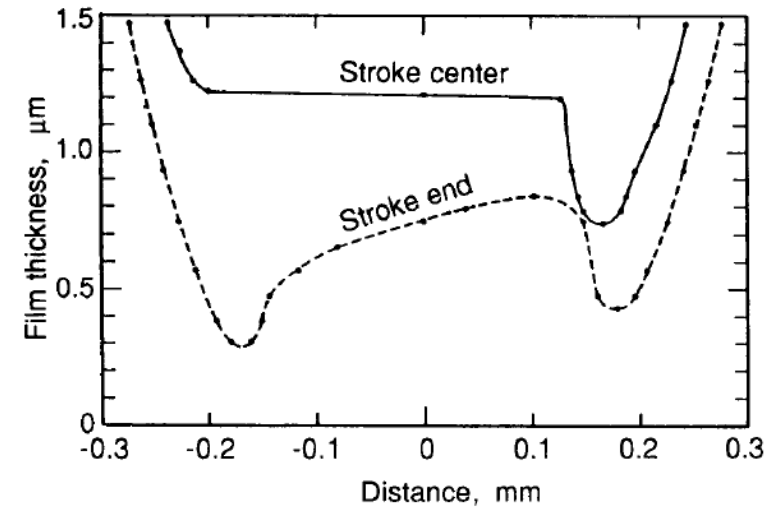
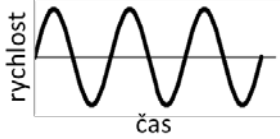


1999



NISHIKAWA, H. and M. KANETA. Experimental study on micro-elastohydrodynamic lubrication. (28 citací dle WoK)

- Kombinace malých zdvihů s nerovnostmi.
- Nedostatečná obnova vrstvy maziva – kolaps mazacího filmu.



Shrnutí současného stavu poznání

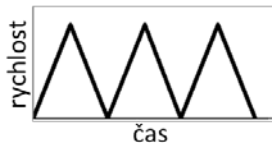
Pohyby v podélném směru kontaktu

1998



SUGIMURA, J. and H. A. SPIKES. EHD film thickness in non-steady state contacts. (19 citací dle WoK)

- Významný vliv zrychlení na odchylky tloušťky filmu.
- Odchylky rostou se zrychlením a klesají s rychlostí valení.

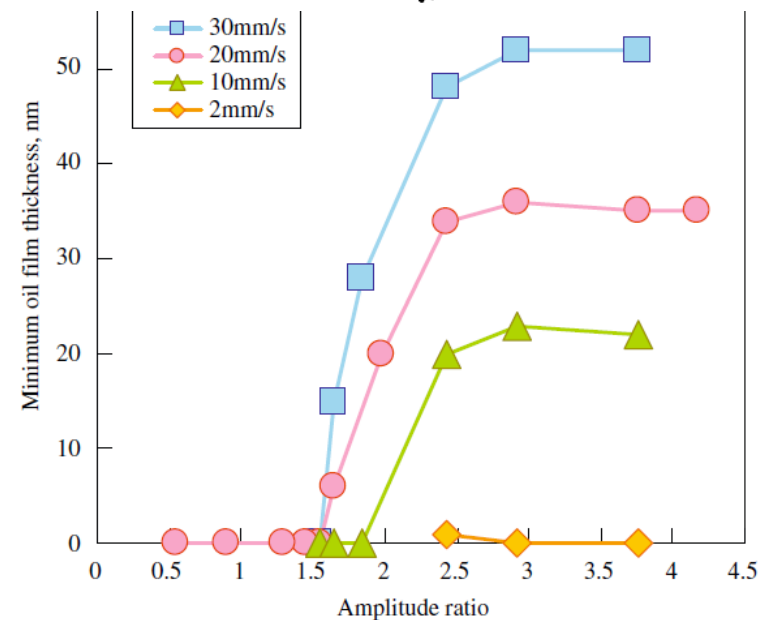
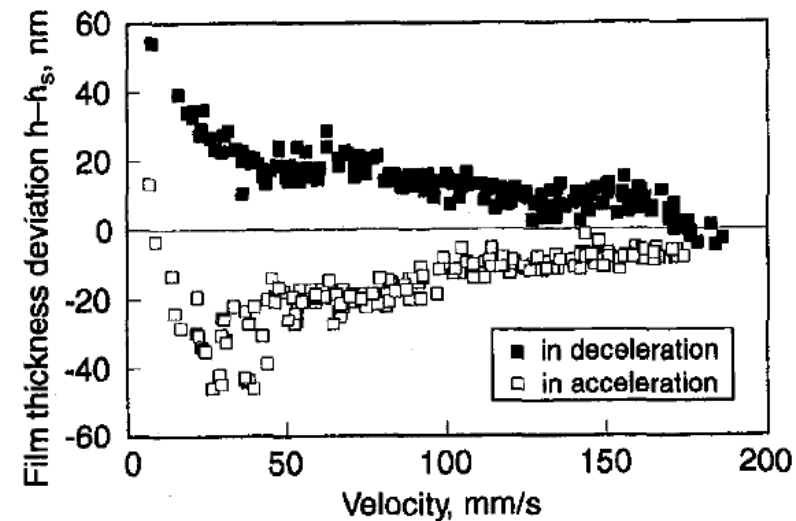
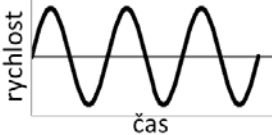


2010



MARUYAMA, T. and T. SAITOH. Oil film behavior under minute vibrating conditions in EHL point contacts. (2 citace dle WoK)

- Existence kritické hodnoty tzv. „amplitudového poměru“.



Shrnutí současného stavu poznání

Pohyby v příčném směru kontaktu

2012

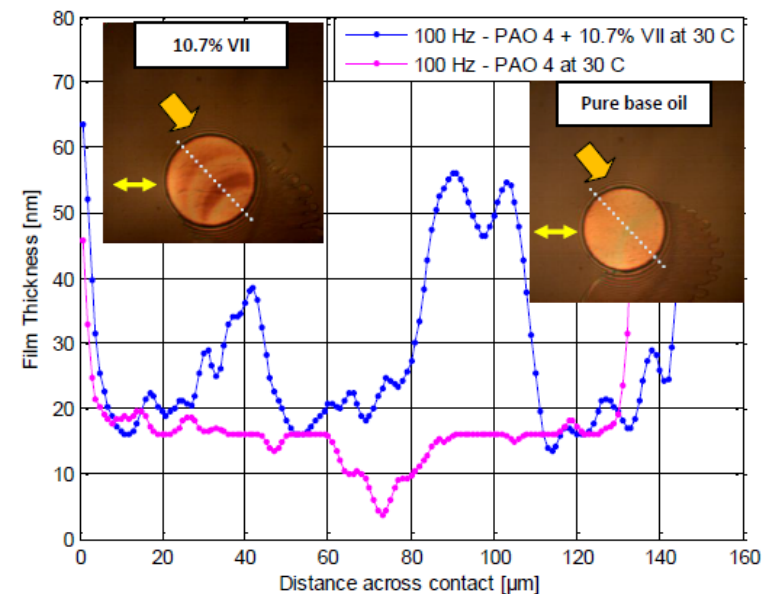
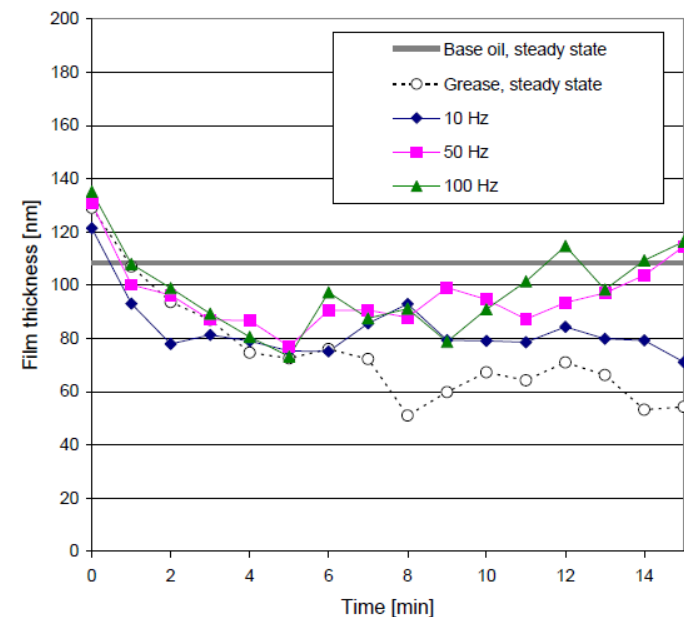
❖ **NAGATA, Y., K. KALOGIANNIS and R. GLOVNEA.** Track replenishment by lateral vibrations in grease-lubricated EHD contacts. (2 citace dle WoK)

- Mechanismus zásobování kontaktu mazivem.
- Významná redukce hladovění kontaktu.

2013

❖ **K. KALOGIANNIS.** Behaviour of elastohydrodynamic films subjected to oscillatory motion. (disertační práce)

- Redukce hladovění kontaktu závisí na amplitudovém poměru.
- Příspěvky maziv mohou podporovat fluktuace filmu při vyšších frekvencích a smykovém namáhání.



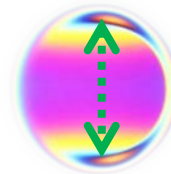
Analýza a zhodnocení poznatků



Pohyby v podélném směru kontaktu

❖ Podstatné parametry:

- Amplituda a frekvence (zrychlení)
- Amplitudový poměr
- Skluz
- Piezoviskozita a nenevtonské chování maziv



Pohyby v příčném směru kontaktu

❖ Zkoumán vliv parametrů:

- Amplituda a frekvence
- Amplitudový poměr
- Skluz
- Piezoviskozita a nenevtonské chování maziv

Vymezení cíle dizertační práce

Cíl práce

- ❖ Experimentálně stanovit vliv provozních parametrů nestacionárního příčného pohybu na chování mazacího filmu v bodovém EHD kontaktu.
- ❖ Parametry zahrnují zrychlení a frekvenci pohybů, poměr velikosti zdvihu a velikosti kontaktu a poměr skluzové a valivé rychlosti.

Vědecká otázka a pracovní hypotézy

Vědecká otázka

- ❖ „*Jaký je vliv jednotlivých parametrů nestacionárního příčného smykového pohybu na chování a tloušťku mazacího filmu elastohydrodynamického bodového kontaktu?*“

Pracovní hypotézy



- ❖ „*Mazivo je unášeno kontaktem vektorem střední rychlosti povrchů nezávisle na vektoru skluzové rychlosti.*“



- ❖ „*Existují kritické hodnoty frekvence a amplitudového poměru příčného pohybu, při jejichž překročení dochází k výraznému ovlivnění rozložení tloušťky mazacího filmu v kontaktu.*“



- ❖ „*Projevy piezoviskozity a nenevtonského chování maziv jsou pro kontakty vystavené příčným vibracím totožné jako pro kontakty bez vibrací pokud jsou kontakty rovnocenné z pohledu zatížení a smykového namáhání mazacího filmu.*“

Dílčí etapy řešení práce

MM

- ❖ Modifikace měřicí aparatury.
- ❖ Ověření dosažitelných parametrů aparatury.
- ❖ Metodologický přístup řešení práce.

TE

- ❖ Teoretická analýza
 - kinematika kontaktu
 - distribuce maziva kontaktem

EX

- ❖ Experimentální studie
 - distribuce mazacího filmu
 - tloušťka mazacího filmu

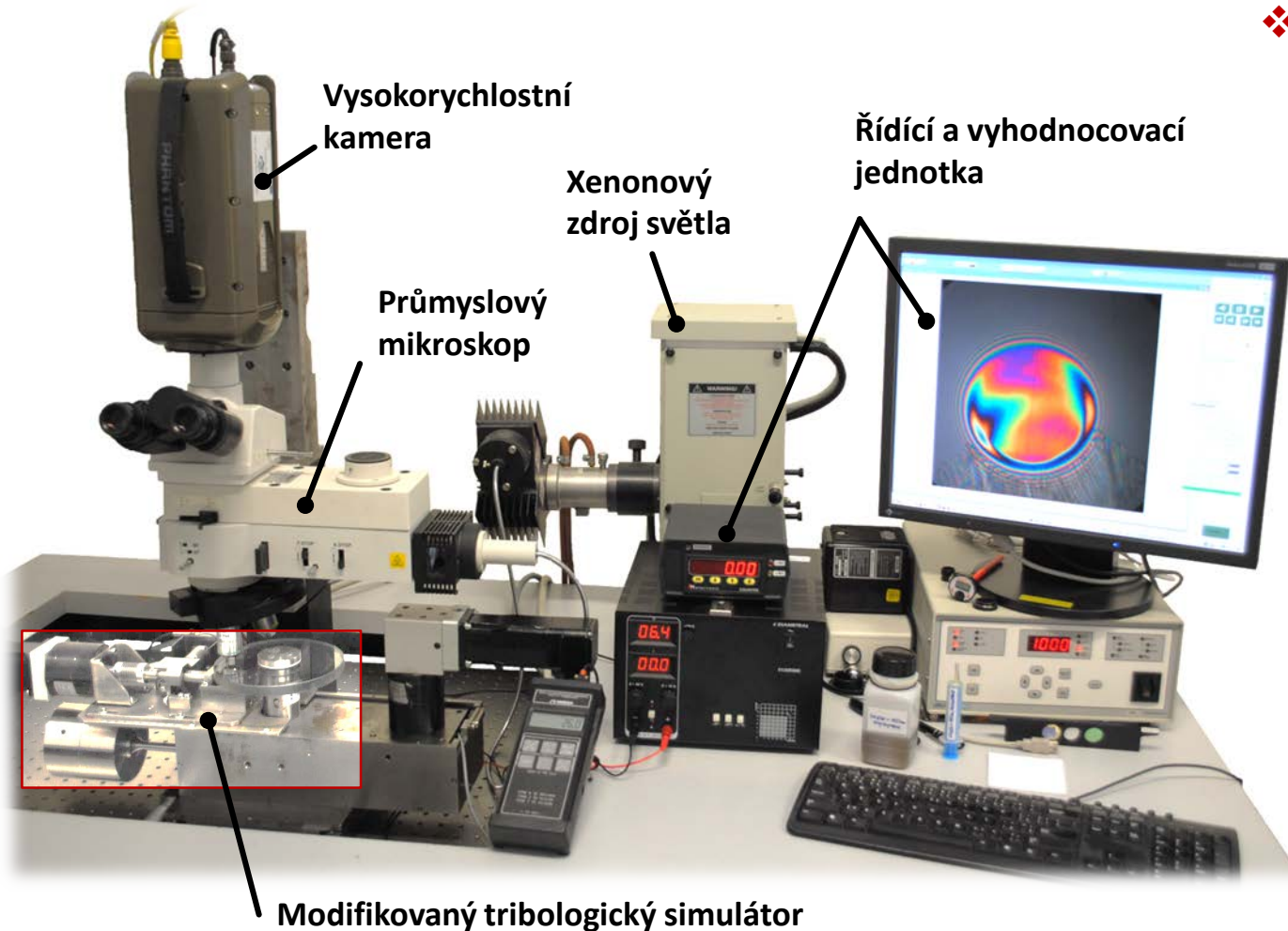
RE

- ❖ Analýza, interpretace a zobecnění výsledků.



Materiál a metody

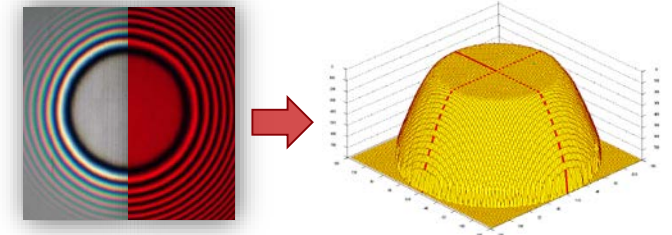
Měřicí aparatura



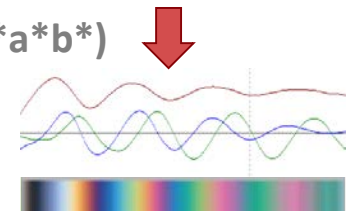
Měřicí metoda

- ❖ Metoda kolorimetrické interferometrie tenkých filmů (TFCI).
- Měřitelný rozsah $1 \div 800 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$.

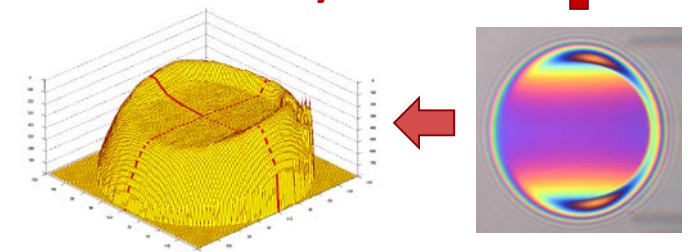
Kalibrace



Referenční model (CIE L*a*b*)



Identifikace tloušťky

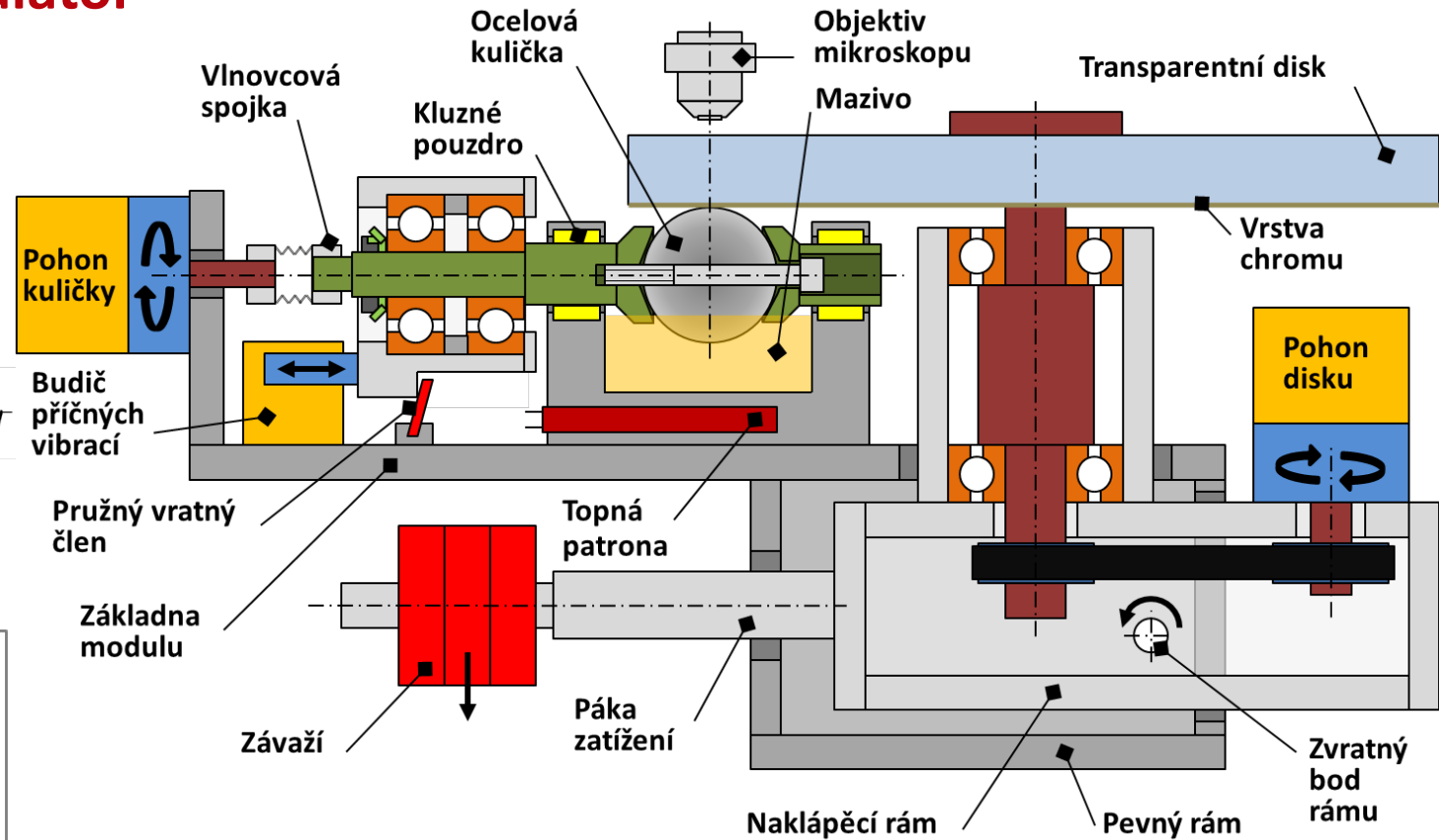
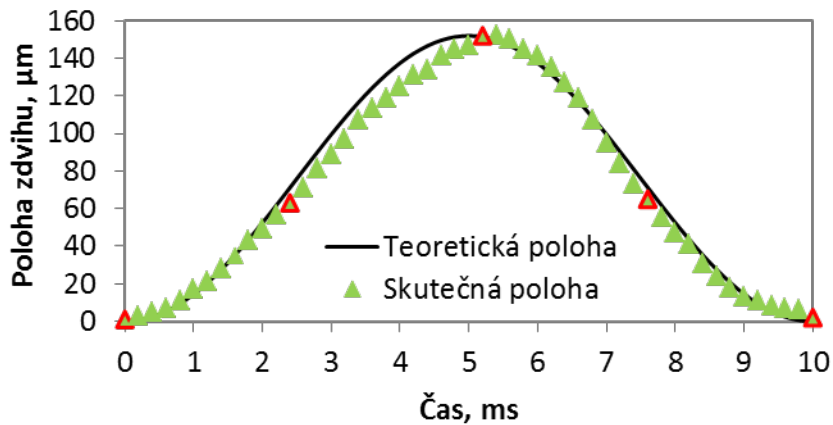
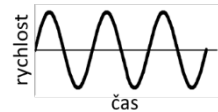


Materiál a metody

Modifikovaný tribologický simulátor

❖ Dosažitelné parametry:

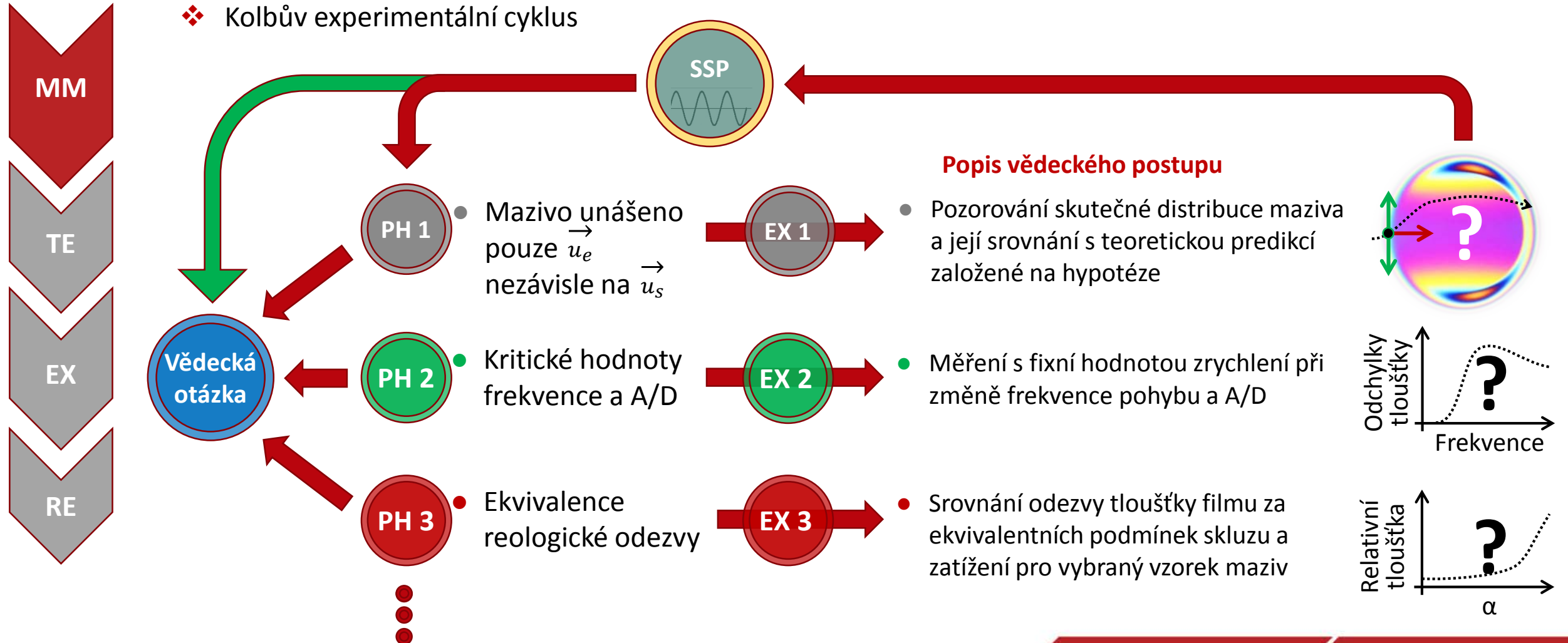
- Frekvence $0 \div 300 \text{ Hz} \pm 1 \%$
- Zdvih $20 \mu\text{m} \div 1 \text{ mm} \pm 2 \mu\text{m}$
- Zrychlení $0 \div 500 \text{ m/s}^2$



Materiál a metody

Metodologický přístup řešení

❖ Kolbův experimentální cyklus

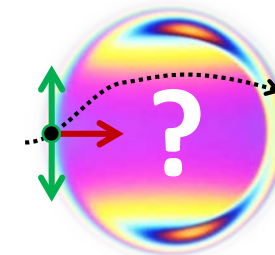


Popis vědeckého postupu

- PH 1** • Mazivo unášeno pouze \vec{u}_e nezávisle na \vec{u}_s → **EX 1** • Pozorování skutečné distribuce maziva a její srovnání s teoretickou predikcí založené na hypotéze
- PH 2** • Kritické hodnoty frekvence a A/D → **EX 2** • Měření s fixní hodnotou zrychlení při změně frekvence pohybu a A/D
- PH 3** • Ekvivalence reologické odezvy → **EX 3** • Srovnání odezvy tloušťky filmu za ekvivalentních podmínek skluzu a zatížení pro vybraný vzorek maziv

Distribuce maziva při příčných vibracích

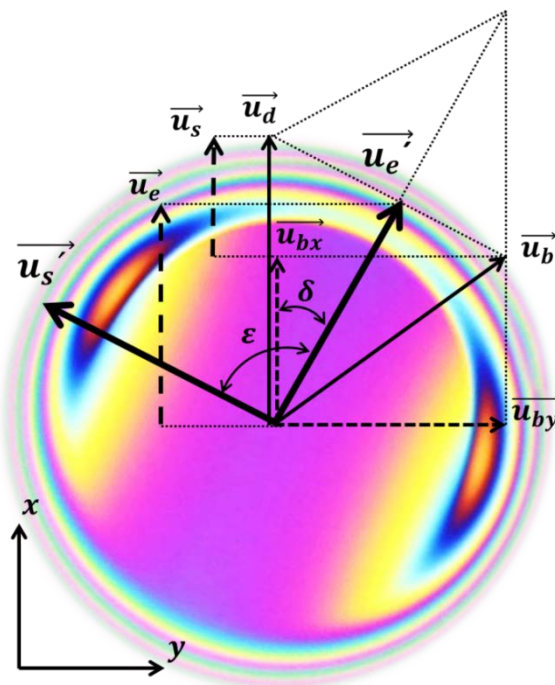
EX 1



Teoretická analýza distribuce maziva

- ❖ Předpoklad – distribuce není ovlivněna vektorem skluzové rychlosti.

Určení okamžitých vektorů rychlostí a poměru skluz/valení



$$u_e' = \left| \frac{u_{by}}{2} \right| \sqrt{1 + \left(\frac{2u_e}{u_{by}} \right)^2}, u_{by} = 0 \Rightarrow u_e' = u_e$$

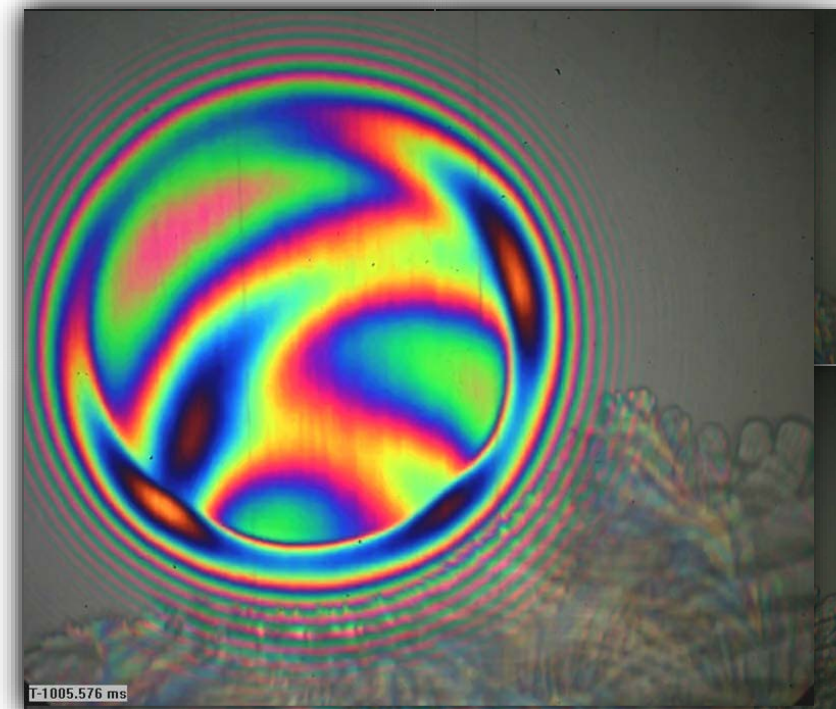
$$u_s' = |u_{by}| \sqrt{1 + \left(\frac{u_s}{u_{by}} \right)^2}, u_{by} = 0 \Rightarrow u_s' = u_s$$

$$\delta = \left| \tan^{-1} \left(\frac{u_{by}}{2u_e} \right) \right|, u_e = 0 \Rightarrow \delta = 0$$

$$\varepsilon = 90 + \delta - \tan^{-1} \left(\frac{u_s}{|u_{by}|} \right), u_{by} = 0 \Rightarrow \varepsilon = 0$$

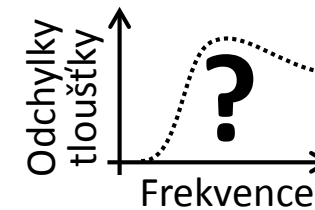
$$\Sigma' = \frac{u_s' \cos \varepsilon}{u_e'}$$

Skotání při příčných vibracích

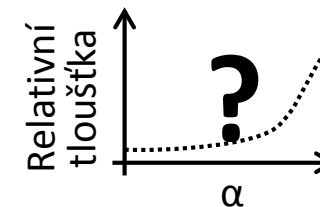


Chování tloušťky filmu při příčných vibracích

EX 2



EX 3



Podmínky experimentu

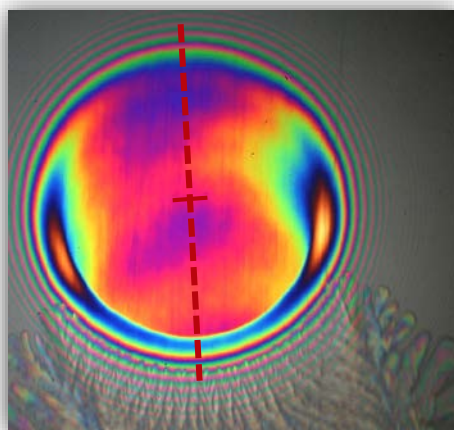
❖ Kontaktní tlak 0.7 GPa; rychlost valení 0.1 m/s

100 Hz (30 m/s²)

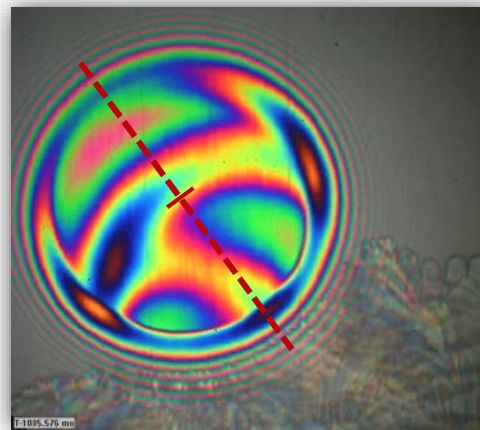
$$-0.11 < \Sigma' < 0$$

300 Hz (357 m/s²)

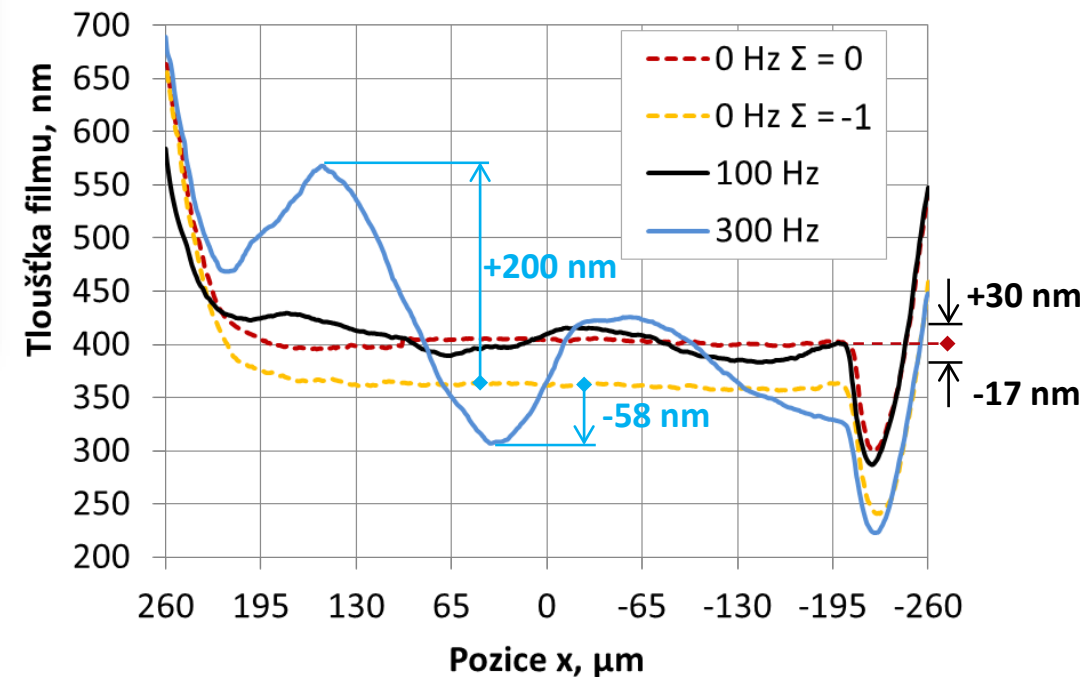
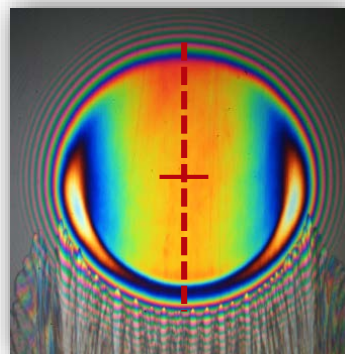
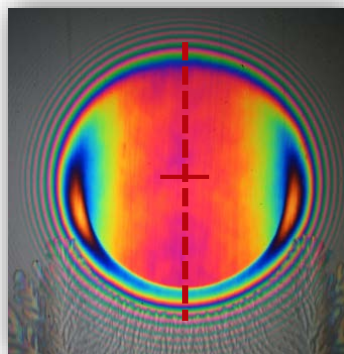
$$-0.95 < \Sigma' < 0$$



0 Hz $\Sigma = 0$



0 Hz $\Sigma = -1$



MM

TE

EX

RE

Současný stav řešení dizertační práce



- Shrnutí současného stavu poznání.
- Cíl práce a metodologický přístup.
- Modifikace měřicí aparatury.
- Teoretická analýza distribuce maziva v kontaktu.
- Vliv provozních parametrů příčných vibrací na chování mazacího filmu.
 - Dílčí měření a experimenty pro posouzení hypotéz.
 - Analýza, interpretace a zobecnění výsledků.

Závěr

Rok 2016

- ❖ Studie vlivu frekvence a amplitudového poměru.
 - Konference NordTrib 2016 (Finsko).
 - Publikace výsledků - článek v impaktovaném časopise (Tribology International, IF = 2,124).
- ❖ Studie vlivu skluzu a reologie maziv.

Rok 2017

- Publikace výsledků.
- ❖ Sepsání disertační práce.

Články v konferenčních sbornících

- FRÝZA, J.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. *Roughness Effects in Impact EHL of Elliptical Contacts*. Tokyo: Japanese Society of Tribologists, 2015. s. 971-972.
- FRÝZA, J.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Behaviour of EHL Films under Lateral Vibrations. In *Book of Proceedings of 56th International Conference of Machine Design Departments*. First. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2015. s. 349-352. ISBN: 978-80-552-1377- 4.
- FRÝZA, J.; OMASTA, M. The Experimental Determination of the Grease Amount to Effective Wear Reduction in the Wheel-Rail Contact. In *Book of Proceedings of the 55th International Conference of Machine Design Departments*. 2014. s. 117-122. ISBN: 978-80-01-05542- 7.
- OMASTA, M.; FRÝZA, J.; HARTL, M.; KŘUPKA, I. Study of Effects of Wheel Flange/ Rail Gauge Contact Lubrication. In *Proceedings of World Tribology Congress 2013*. 4. Turín: Politecnico di Torino (DIMEAS), 2013. s. 3007-3009. ISBN: 9781634393522.
- OMASTA, M.; FRÝZA, J.; HARTL, M.; KŘUPKA, I. An experimental approach to the study of rail wheel/ flange lubrication. In *Society of Tribologists & Lubrication Engineers Annual Meeting & Exhibition 2013 / Proceedings of a meeting held 5-9 May 2013, Detroit, Michigan, USA*. Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2013. s. 1-3. ISBN: 978-1-62993-289- 7.

Děkuji vám za pozornost

Josef Frýza

fryza@fme.vutbr.cz

<http://uk.fme.vutbr.cz/>

