

# Studium smykově namáhaných elastohydrodynamických mazacích filmů za tranzientních podmínek

**Josef Frýza**

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

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

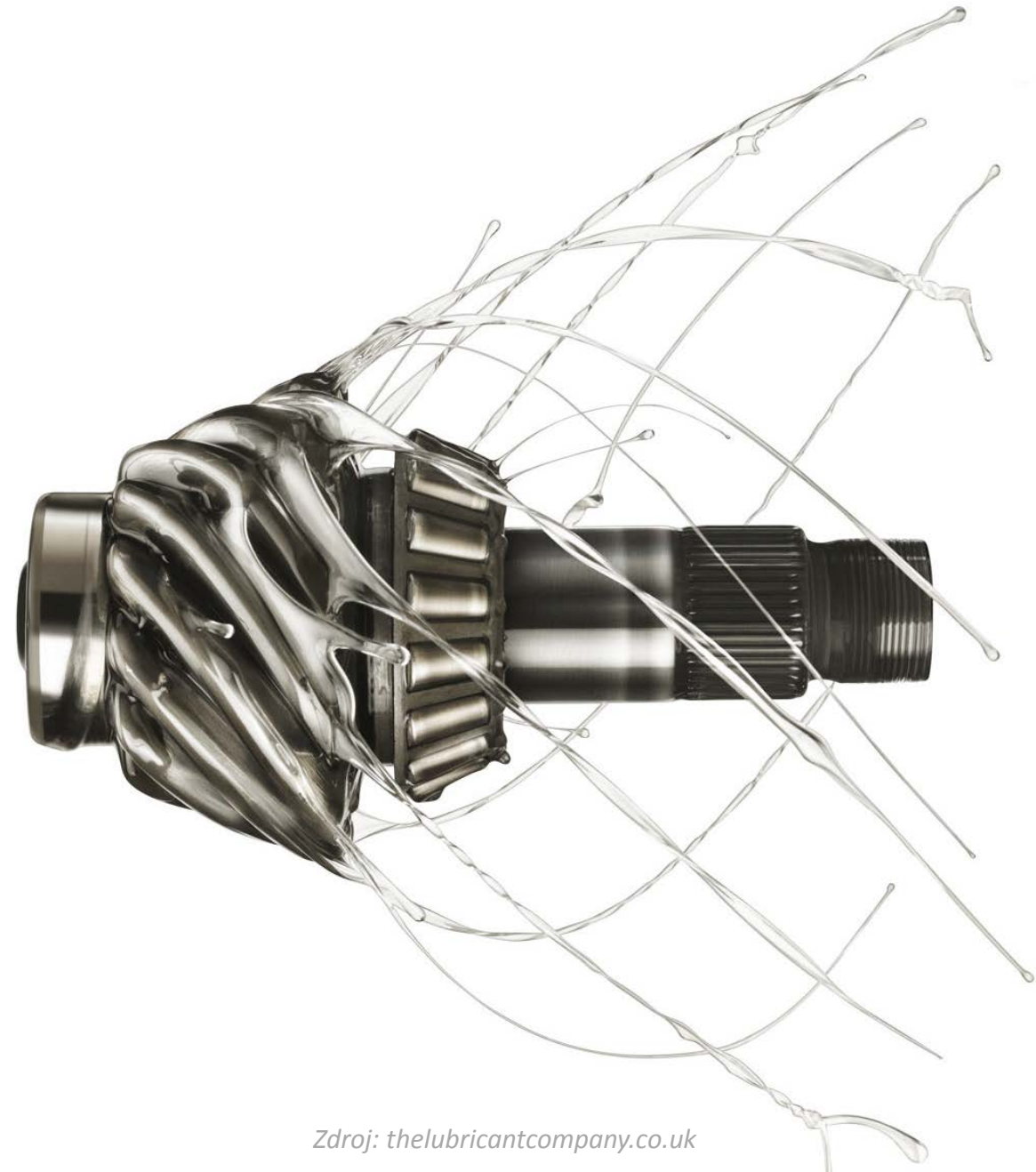
VUT v Brně

Seminář Ústavu konstruování, FSI VUT v Brně  
25. 11. 2015



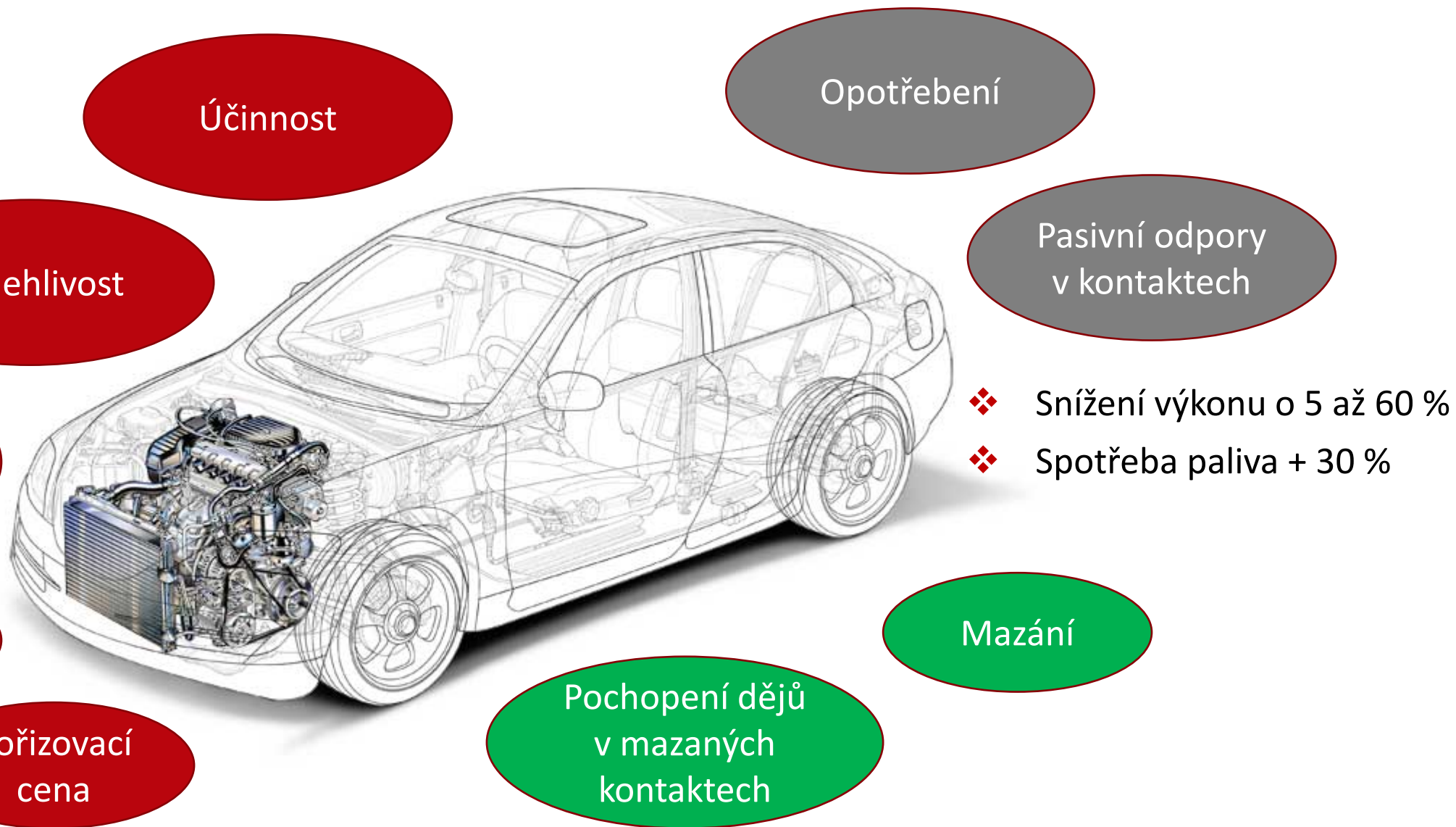
# Obsah prezentace

- ❖ 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](http://thelubricantcompany.co.uk)

# Motivace

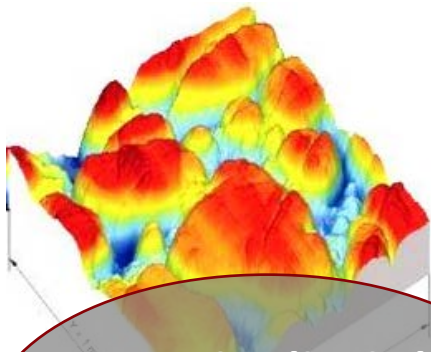


# Úvod do problematiky

## Elastohydrodynamické mazání (EHL)

**EHL**  
„Grubin, 1949“  
Ertel, 1945

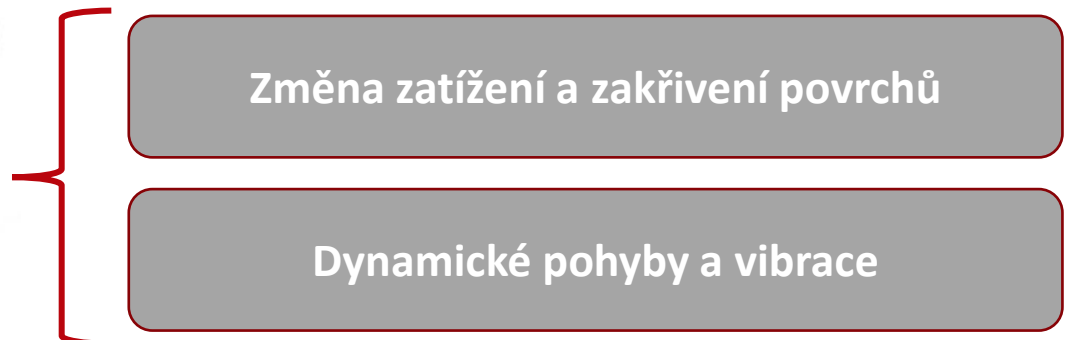
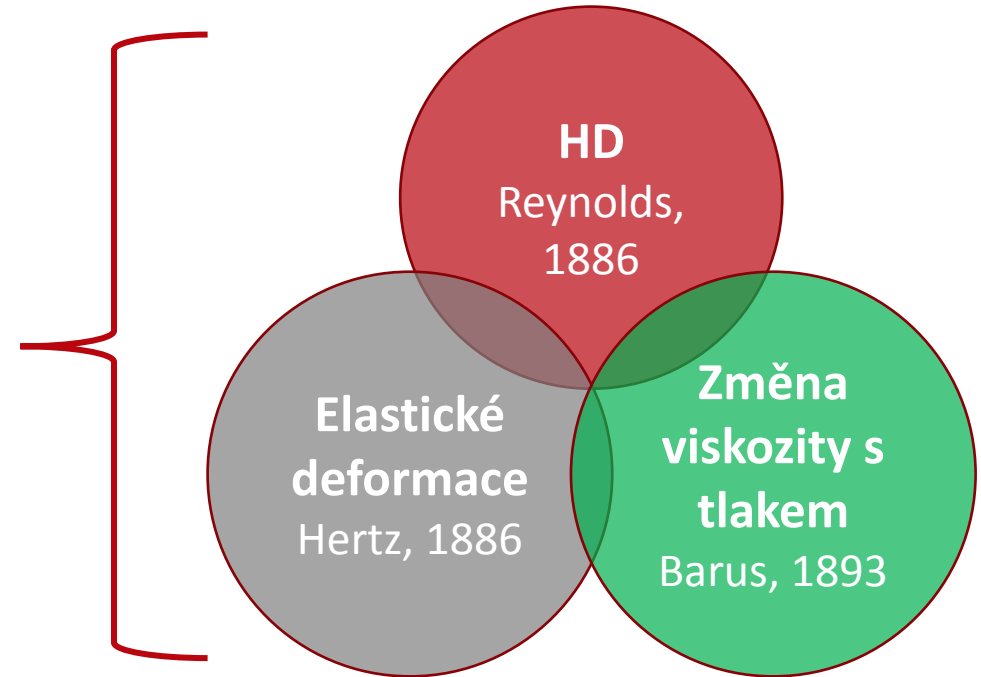
## Skutečné provozní podmínky



Pseudonáhodná  
topografie  
povrchů



Neustálené  
provozní  
parametry



# Úvod do problematiky

## Výzkum filmů nestacionárních EHL kontaktů

1960

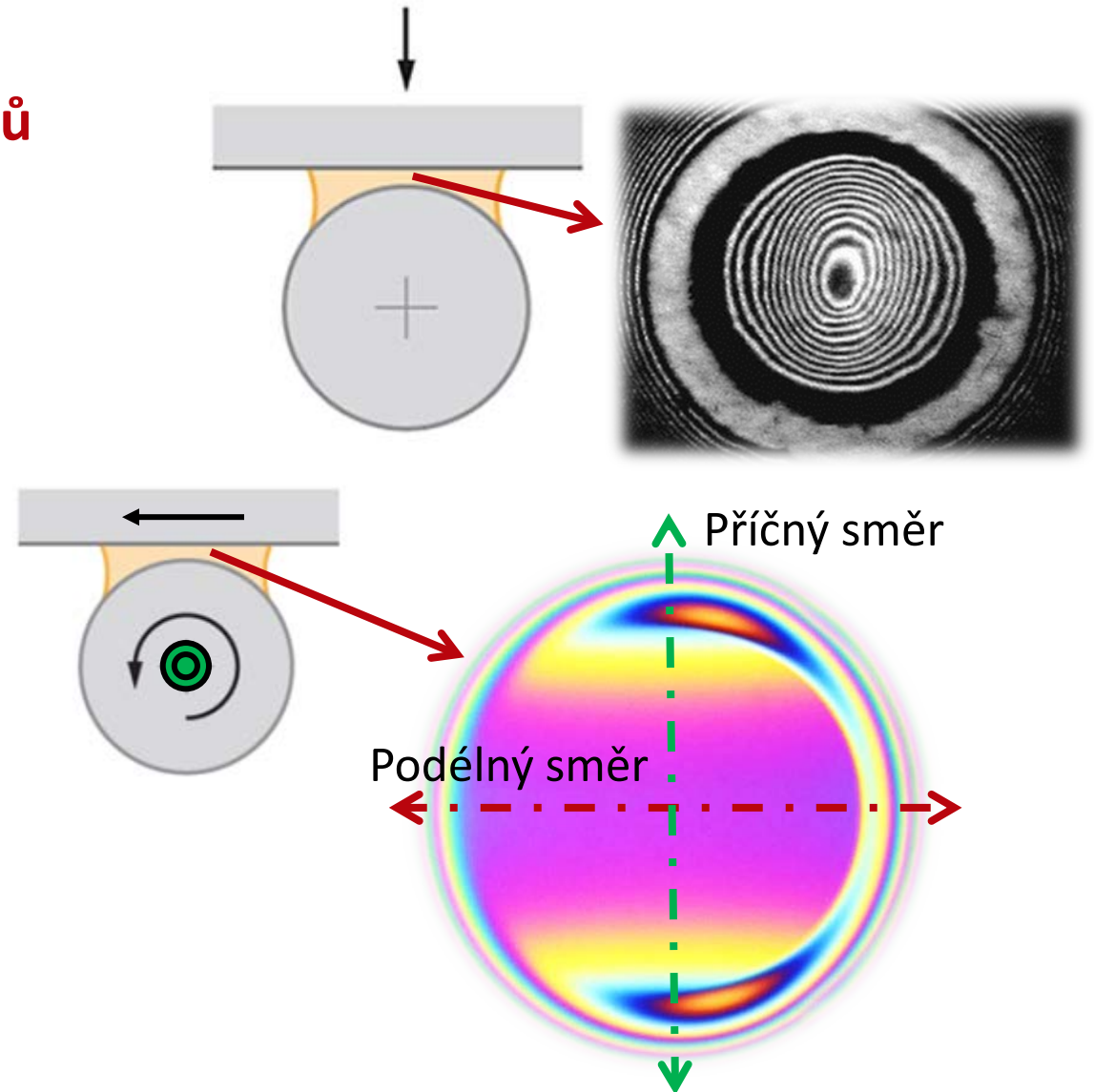
- ❖ Experimenty na **dynamické zatěžování**
- ❖ Elektrické a optické metody
- ❖ Nedostatečně přesné výsledky experimentálních studií

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

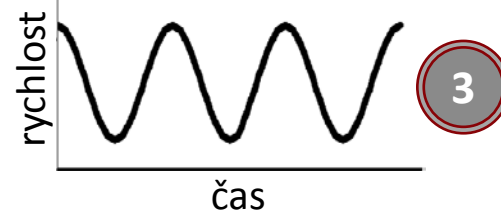
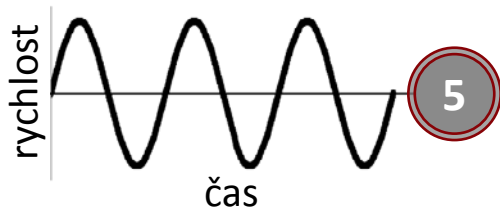
#### Reciproční pohyb

11

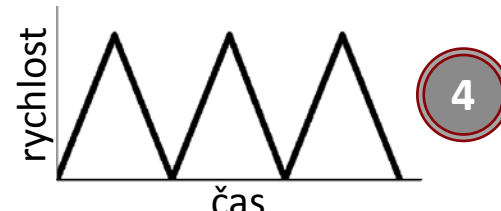
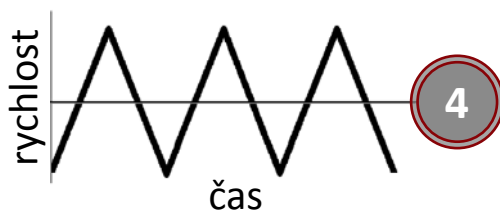
#### Jednosměrný pohyb

11

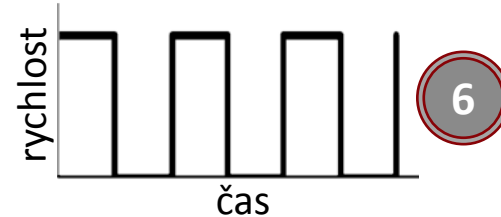
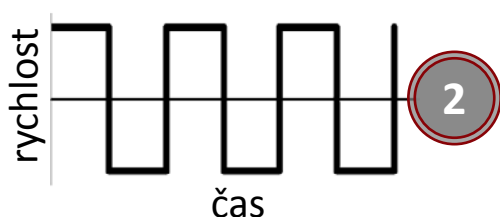
Harmonický průběh



Konstantní zrychlení



Konstantní rychlost

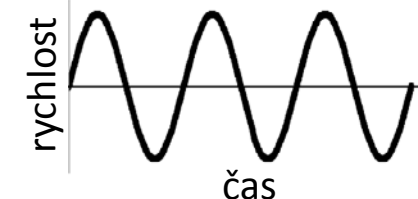


### Pohyby v příčném směru kontaktu

1+1

#### Reciproční pohyb

Harmonický průběh



# Shrnutí současného stavu poznání

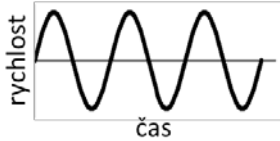
## Pohyby v podélném směru kontaktu

1995



**NISHIKAWA, H. and M. KANETA.** Behavior of EHL films in reciprocating motion.

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

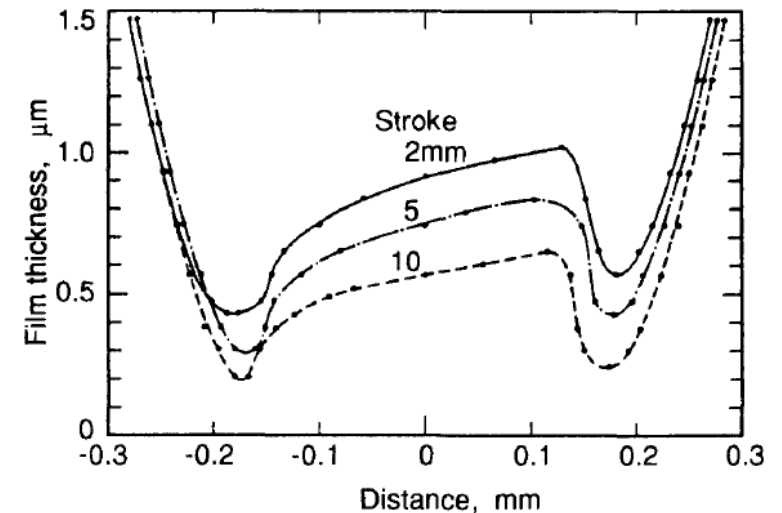
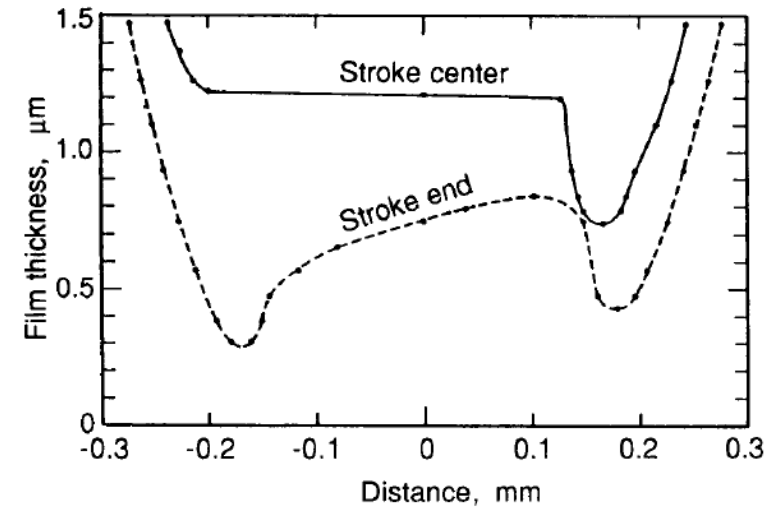
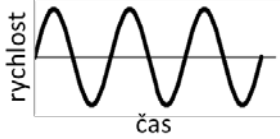


1999



**NISHIKAWA, H. and M. KANETA.** Experimental study on micro-elastohydrodynamic lubrication.

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



# Shrnutí současného stavu poznání

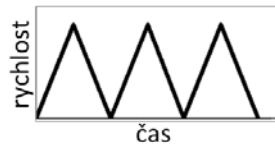
## Pohyby v podélném směru kontaktu

1998



**SUGIMURA, J. and H. A. SPIKES.** EHD film thickness in non-steady state contacts.

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

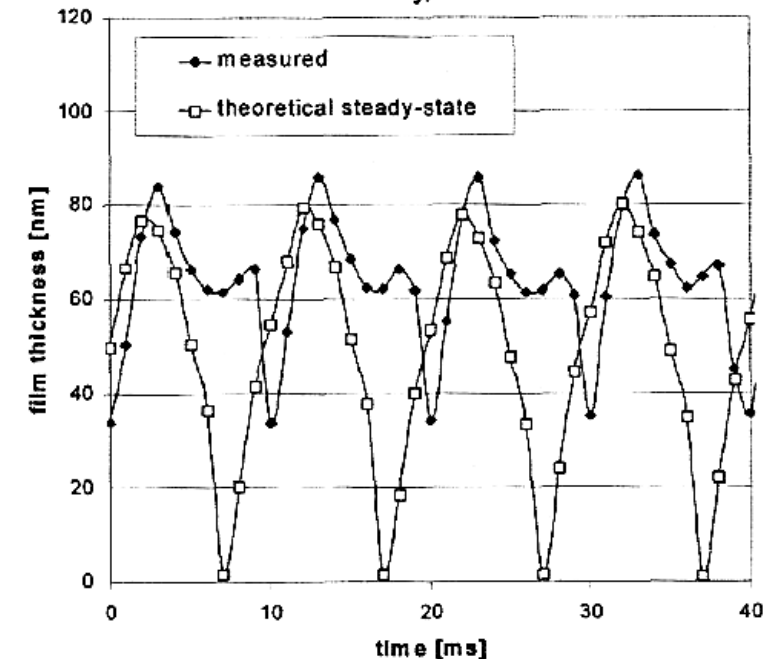
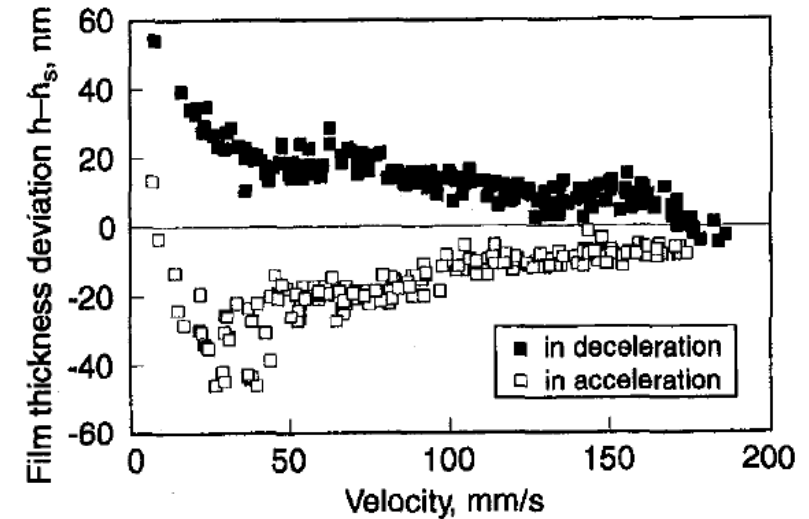
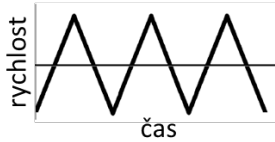


2002



**GLOVNEA, R. P. and H. A. SPIKES.** Behavior of EHD films during reversal of entrainment in cyclically accelerated/decelerated motion.

- Hystereze odezvy centrální tloušťky filmu na provozní podmínky.
- Tloušťka filmu dána podmínkami na vstupu kontaktu.



# Shrnutí současného stavu poznání

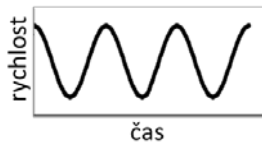
## Pohyby v podélném směru kontaktu

2004



**GLOVNEA, R. P. and H. A. SPIKES.** The influence of lubricant properties on EHD film thickness in variable speed conditions.

- Vliv tlakově-viskózní koeficientu na míru projevů tranzientních jevů.

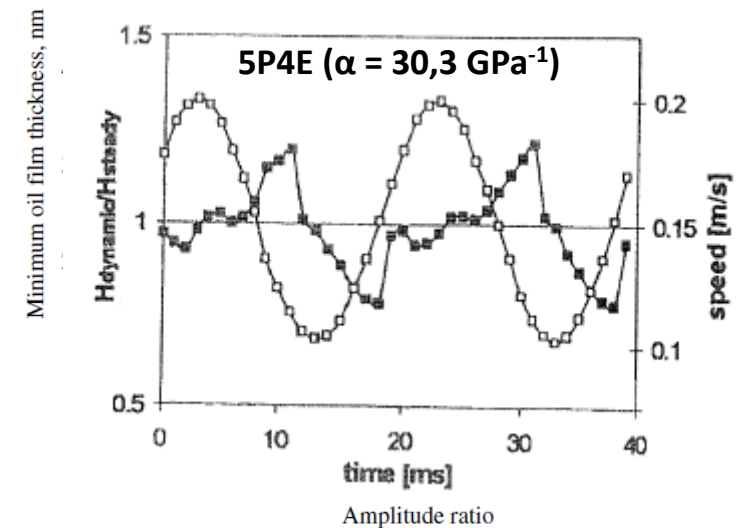
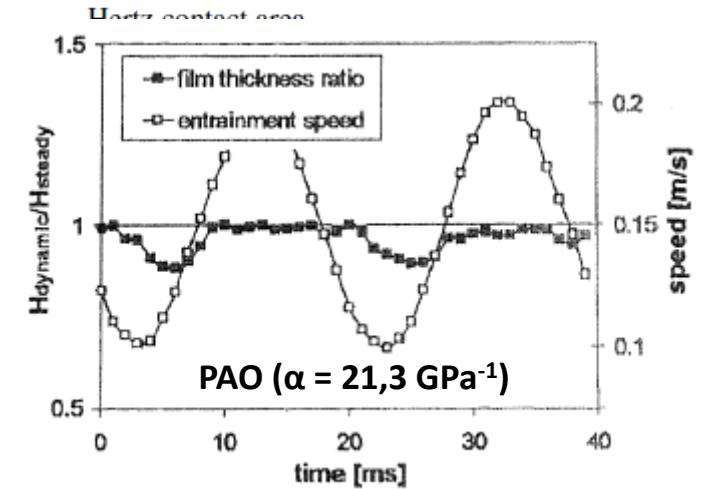
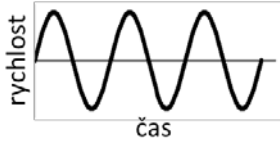


2010



**MARUYAMA, T. and T. SAITOH.** Oil film behavior under minute vibrating conditions in EHL point contacts.

- Existence kritické hodnoty tzv. „amplitudového poměru“.



# Shrnutí současného stavu poznání

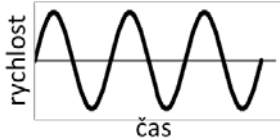
## Pohyby v příčném směru kontaktu

2012



**NAGATA, Y., K. KALOGIANNIS and R. GLOVNEA.** Track replenishment by lateral vibrations in grease-lubricated EHD contacts.

- Mechanismus zásobování kontaktu mazivem.

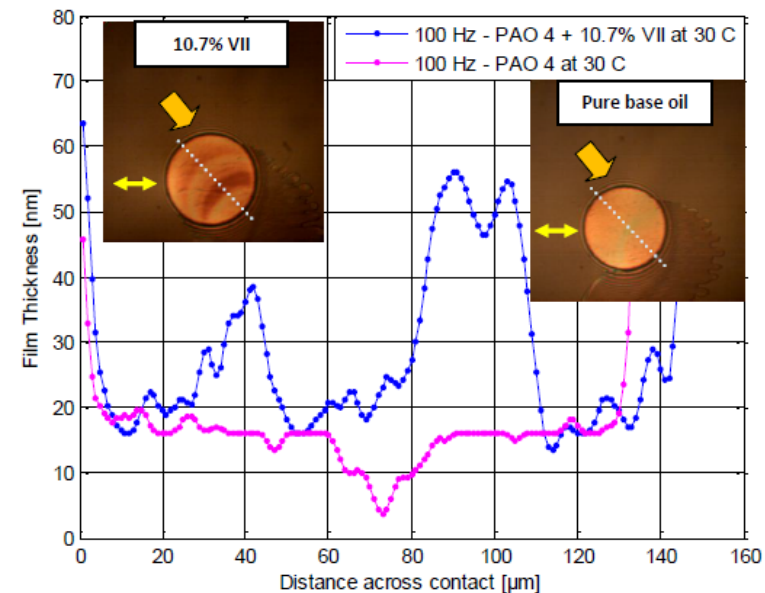
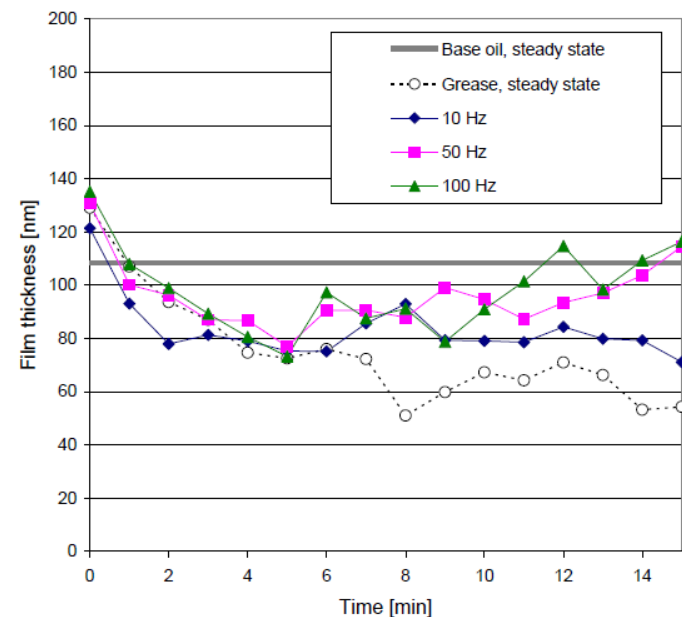
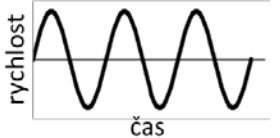


2013



**K. KALOGIANNIS.** Behaviour of elastohydrodynamic films subjected to oscillatory motion.

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



# Analýza a zhodnocení poznatků

## Pohyby v podélném směru kontaktu

❖ Kritické parametry přechodových jevů:

Amplituda a frekvence (zrychlení)

Amplitudový poměr

Piezoviskozita a nenevtonské chování maziv

Predikční modely

## Pohyby v příčném směru kontaktu

❖ Zkoumán vliv parametrů:

Amplituda a frekvence

Amplitudový poměr

Piezoviskozita a nenevtonské chování maziv

Predikční modely

# Vymezení cílů 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.

## Dílčí etapy řešení práce

- ❖ Modifikace měřící aparatury.
- ❖ Ověření aplikovatelného rozsahu parametrů a přesnosti jejich řízení.
- ❖ Série experimentů – stanovení dopadu parametrů na tloušťku a chování filmu.
- ❖ Analýza a zobecnění výsledků.

# 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 limitní hodnoty frekvence a amplitudového poměru příčného pohybu, při jejichž překročení dochází k výraznému ovlivnění rozložení tloušťky mazacího filmu v kontaktu.“



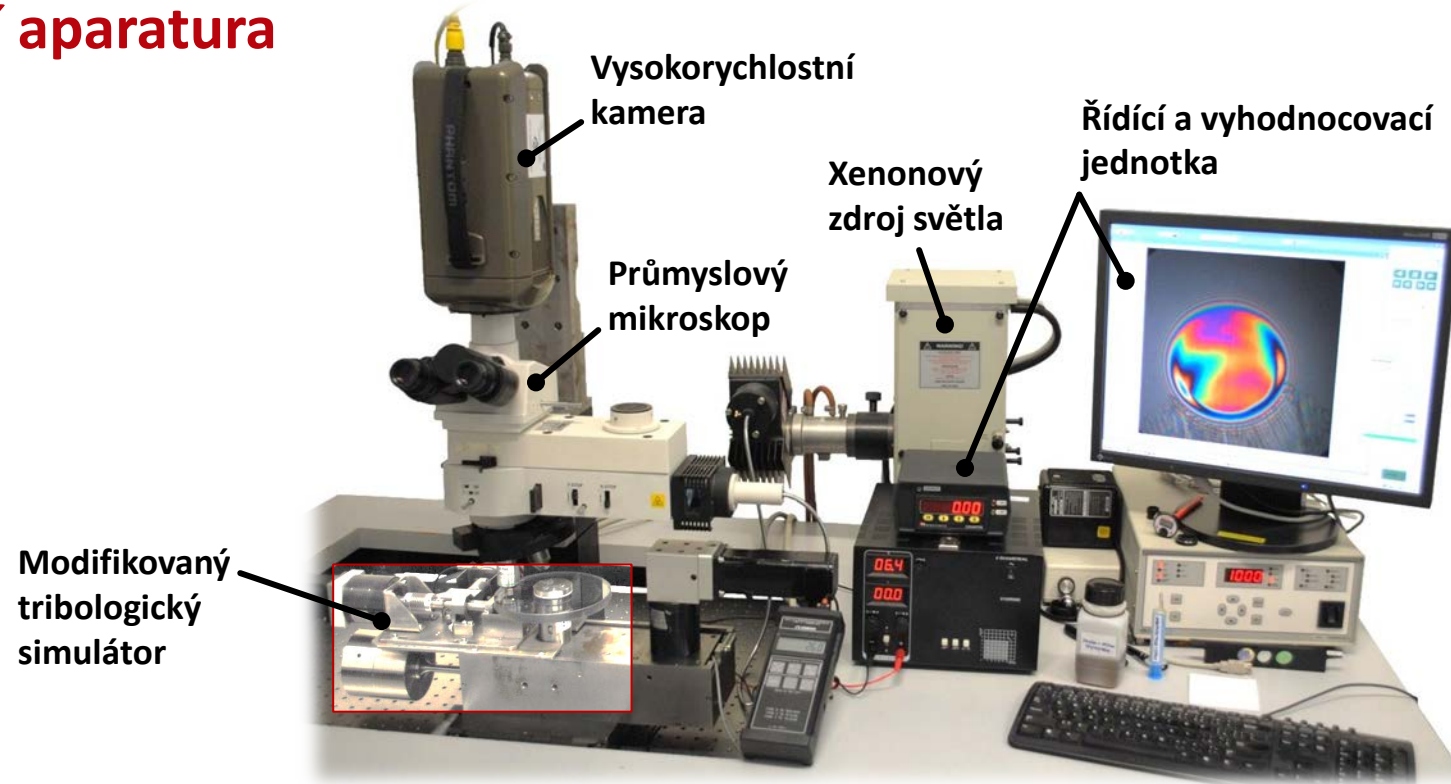
- ❖ „Projevy piezoviskozity a nenevtonského chování maziv jsou pro kontakty vystavené příčným vibracím totožné jako pro kontakty bez vibrací pokud jsou kontakty rovnocenné z pohledu zatížení a smykového namáhání mazacího filmu.“

# Materiál a metody

## Měřicí metoda

- ❖ Metoda kolorimetrické interferometrie tenkých filmů (TFCI).
  - Měřitelný rozsah tloušťek filmů  $1 \div 800$  nm s rozlišitelností  $\pm 1$  nm.

## Měřicí aparatura

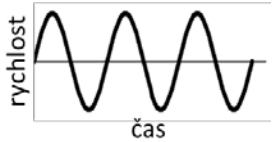


# Materiál a metody

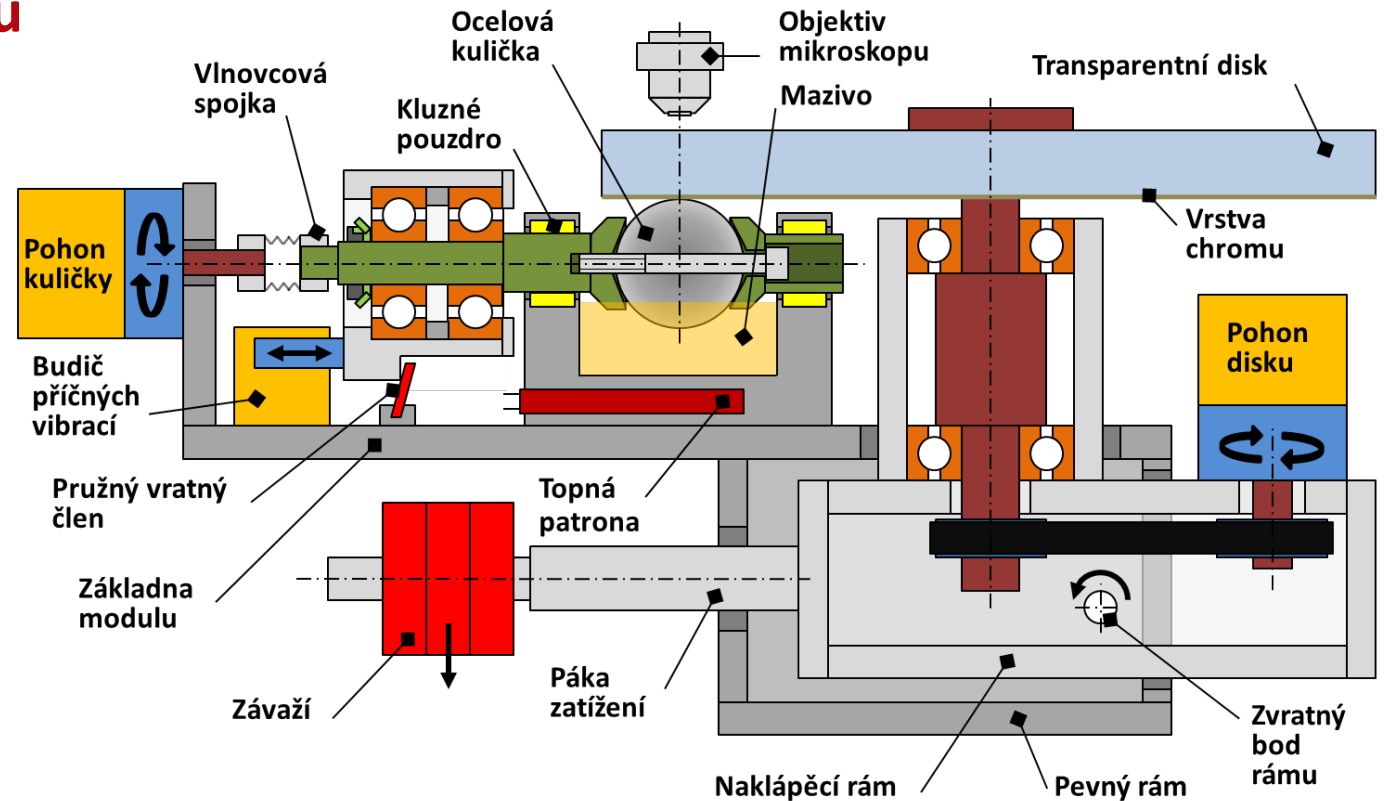
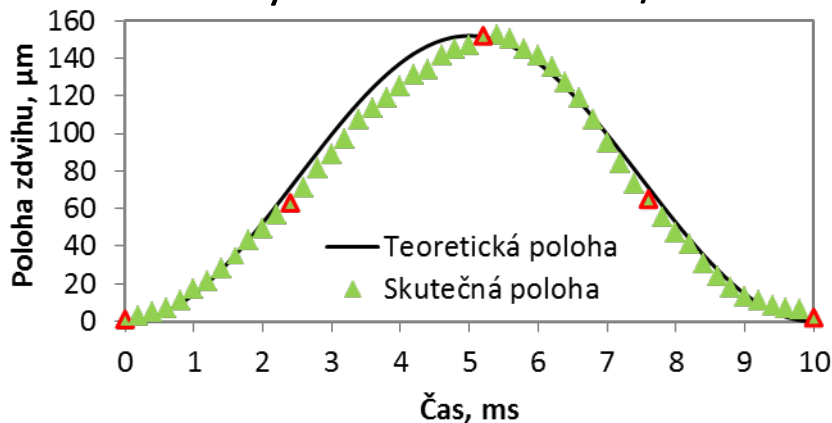
## Dosažitelné parametry simulátoru

- Kontaktní tlak 0.89 GPa (ocel-sklo)  
1.55 GPa (ocel-safír)
- Rychlosti třecích povrchů 4 m/s

### ❖ Příčný harmonický pohyb



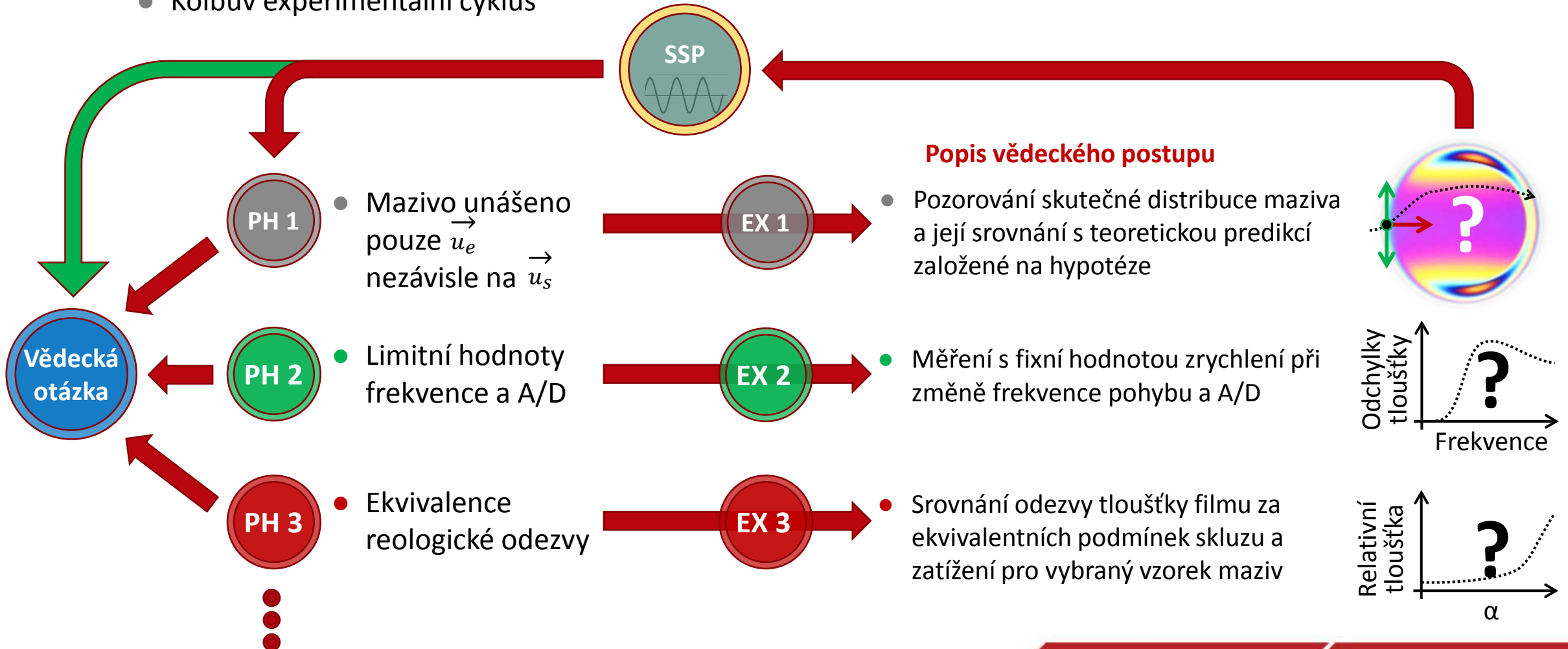
- Frekvence  $0 \div 300 \text{ Hz} \pm 1 \%$
- Zdvih  $20 \mu\text{m} \div 1 \text{ mm} \pm 2 \mu\text{m}$
- Zrychlení  $0 \div 400 \text{ m/s}^2$



# Materiál a metody

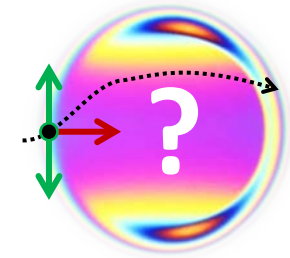
## Metodologický přístup řešení

- Kolbův experimentální cyklus



# Distribuce maziva při příčných vibracích

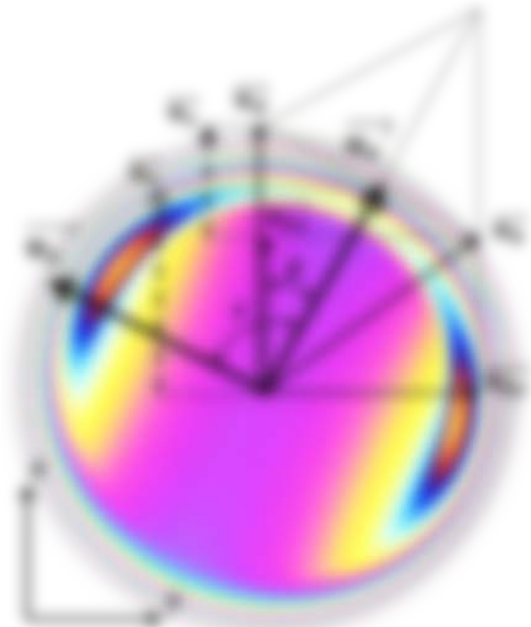
EX 1



## Teoretická analýza distribuce maziva

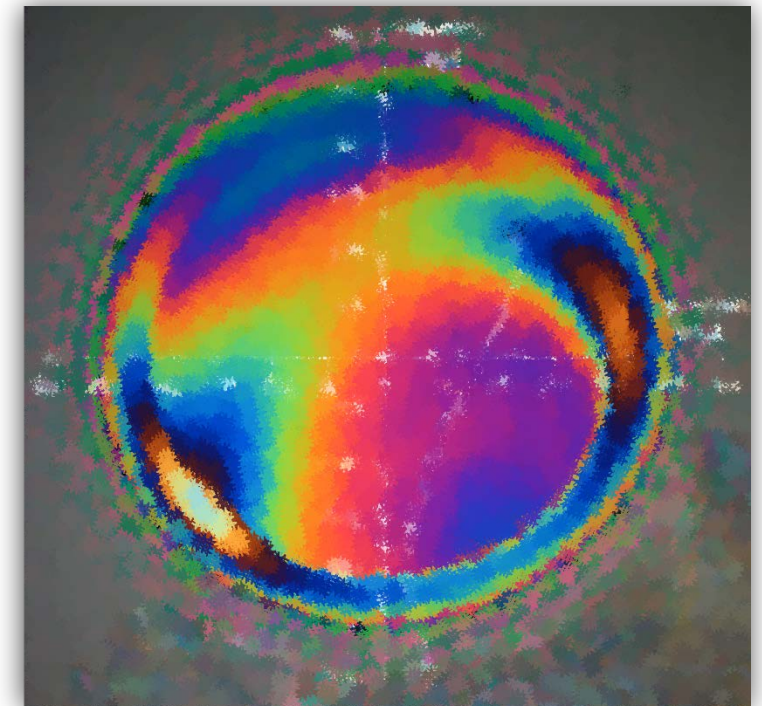
- ❖ Předpoklad – distribuce není ovlivněna vektorem skluzové rychlosti.

## Určení okamžitých vektorů rychlostí a poměru skluz/valení



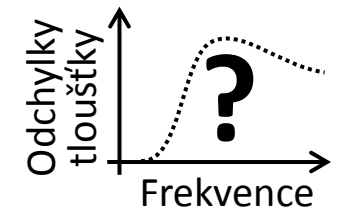
$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1 &= \sqrt{v_1^2} \cdot \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{v}_2 &= \sqrt{v_2^2} \cdot \mathbf{e}_2 \\ &\dots \\ \mathbf{v}_n &= \sqrt{v_n^2} \cdot \mathbf{e}_n \\ \mathbf{v} &= \sqrt{v^2} = (\sqrt{v_1^2} \cdot \mathbf{e}_1 + \dots + \sqrt{v_n^2} \cdot \mathbf{e}_n) / \sqrt{v^2} \end{aligned}$$

## Odhad průchodu maziva



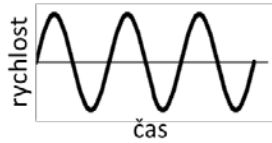
# Chování tloušťky filmu při příčných vibracích

EX 2



## Podmínky experimentu

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



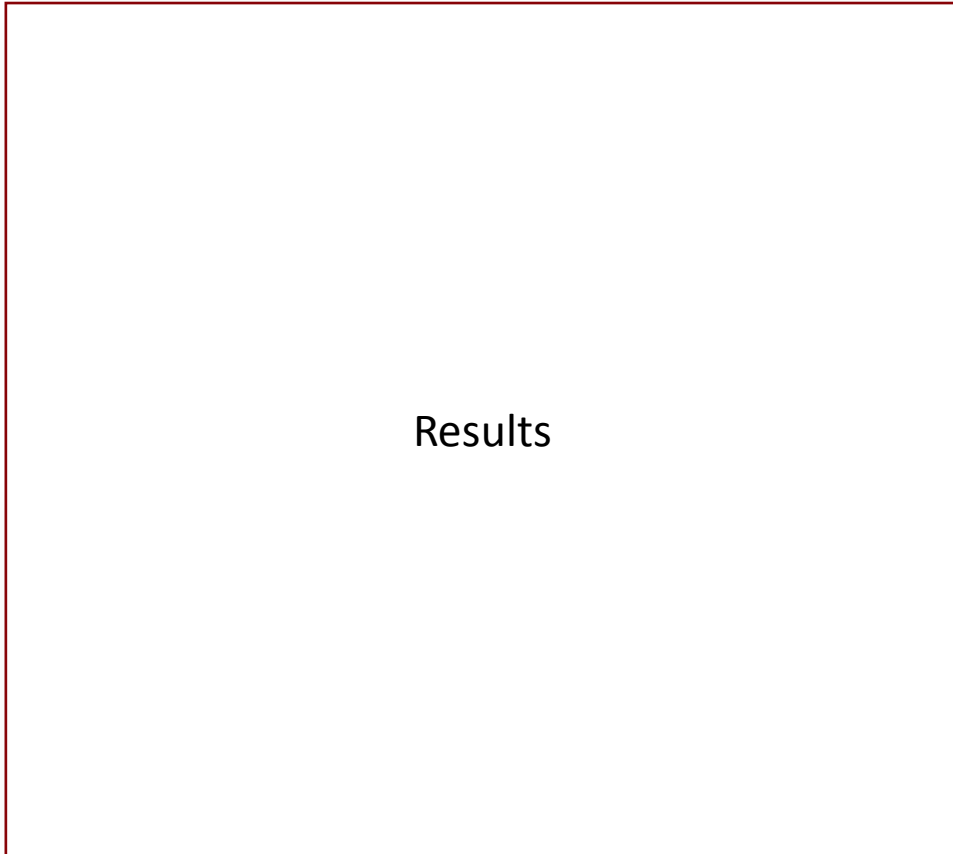
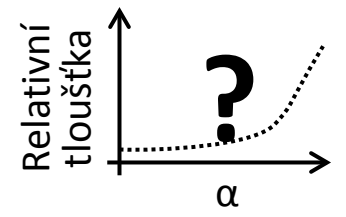
**100 Hz** (30 m/s<sup>2</sup>)

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

**300 Hz** (357 m/s<sup>2</sup>)

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

EX 3



# Současný stav řešení dizertační práce

- Shrnutí současného stavu poznání
- Cíl práce a metodologický přístup
- Modifikace měřící aparatury
- Teoretická analýza distribuce maziva v kontaktu
- Hlavní experimentální část
  - Dílčí měření a experimenty pro posouzení hypotéz
  - Analýza a interpretace výsledků

# Závěr

## Rok 2016

Březen

Červen

Září

- ❖ Studie vlivu frekvence (zrychlení) a amplitudového poměru pro  $A/D < 1$ 
  - Konference NordTrib 2016 (Finsko)
  - Publikace výsledků - impaktovaný článek (Tribology International, IF = 2,124)
- ❖ Studie vlivu skluzu a reologie maziv
  - Zaměření na vliv tlakově-viskózní koeficient a chemické složení 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](mailto:fryza@fme.vutbr.cz)

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

