

Elastohydrodynamické mazání za podmínek hladovění

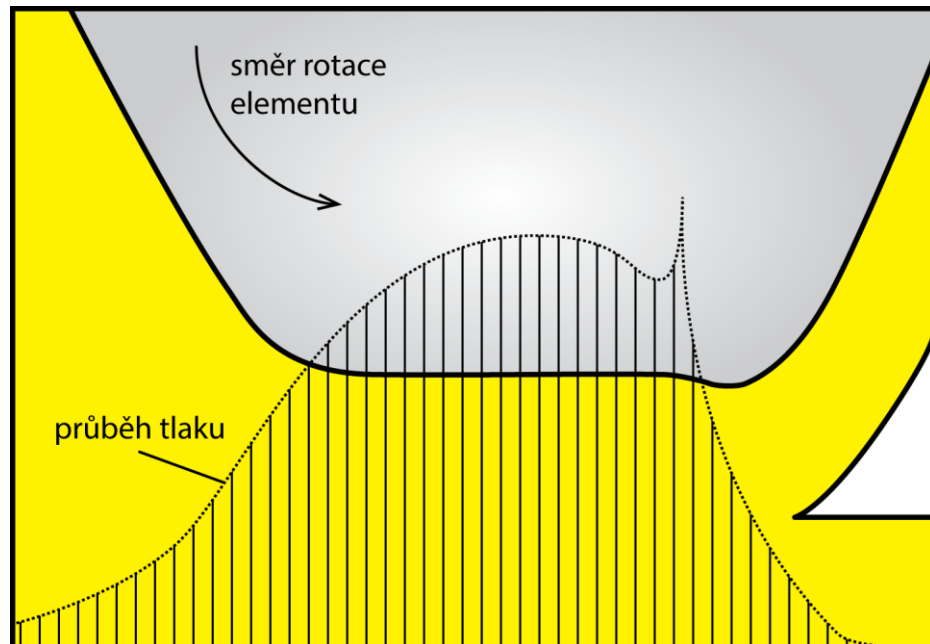
Ing. David Košťál
Prof. Ivan Křupka

Ústav konstruování
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

Obhajoba disertační práce
3. 12. 2015

Úvod – EHD režim mazání

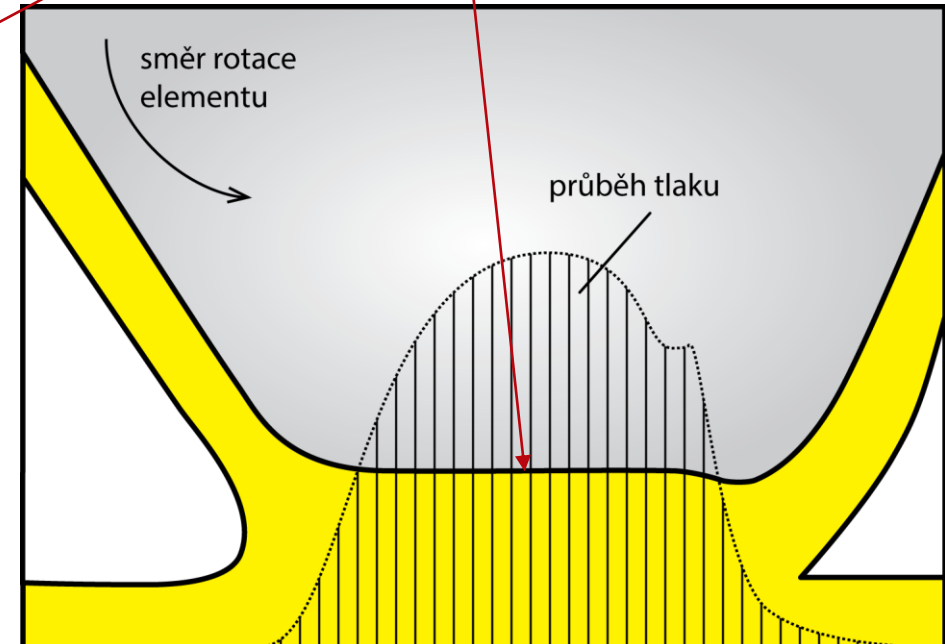
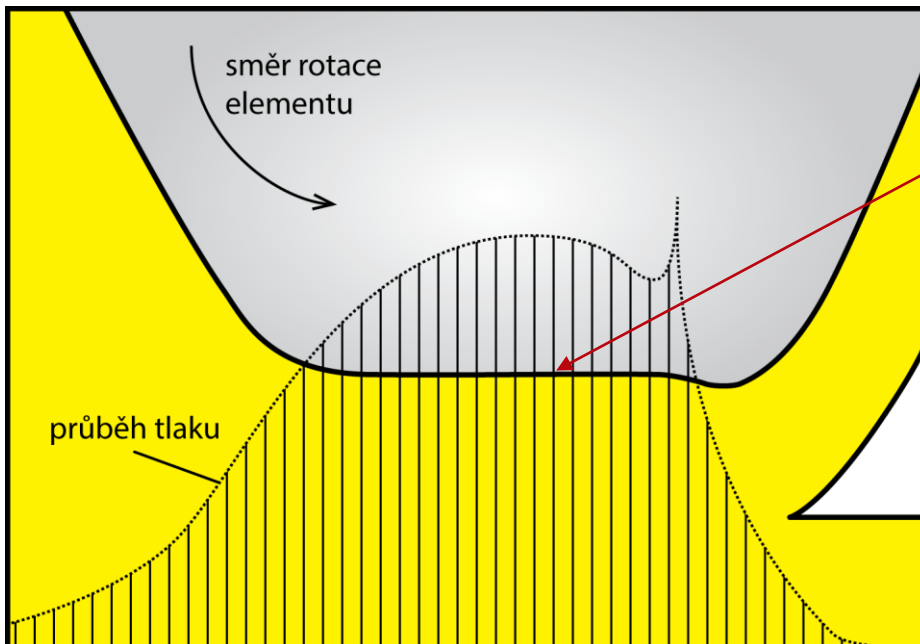
- Nekonformní povrchy a vysoké zatížení
- Dočasný nárůst viskozity
- Mazivo je zachyceno mezi povrchy
- Úplné oddělení povrchů



Úvod – Hladovění

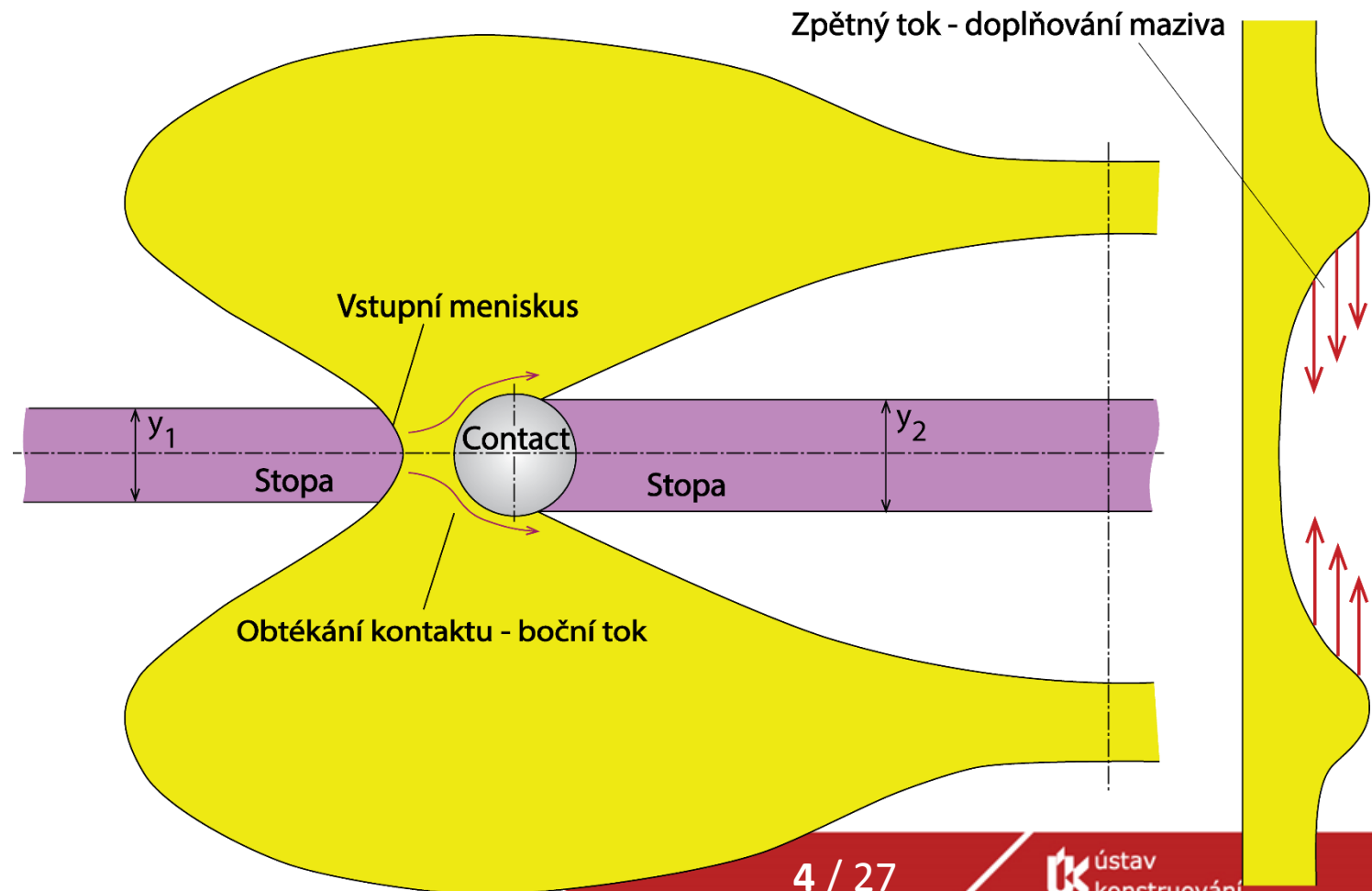
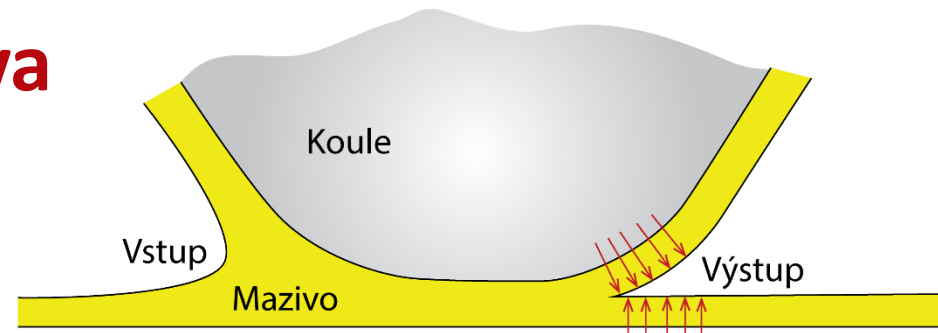
- Vstupní meniskus se přibližuje ke kontaktní oblasti
- Snížení vzdálenosti pro nárůst tlaku
- Výsledkem je menší tloušťka maziva

$$R = \frac{h_c}{h_{cff}} \in \langle 0; 1 \rangle$$



Úvod – Pohyb maziva

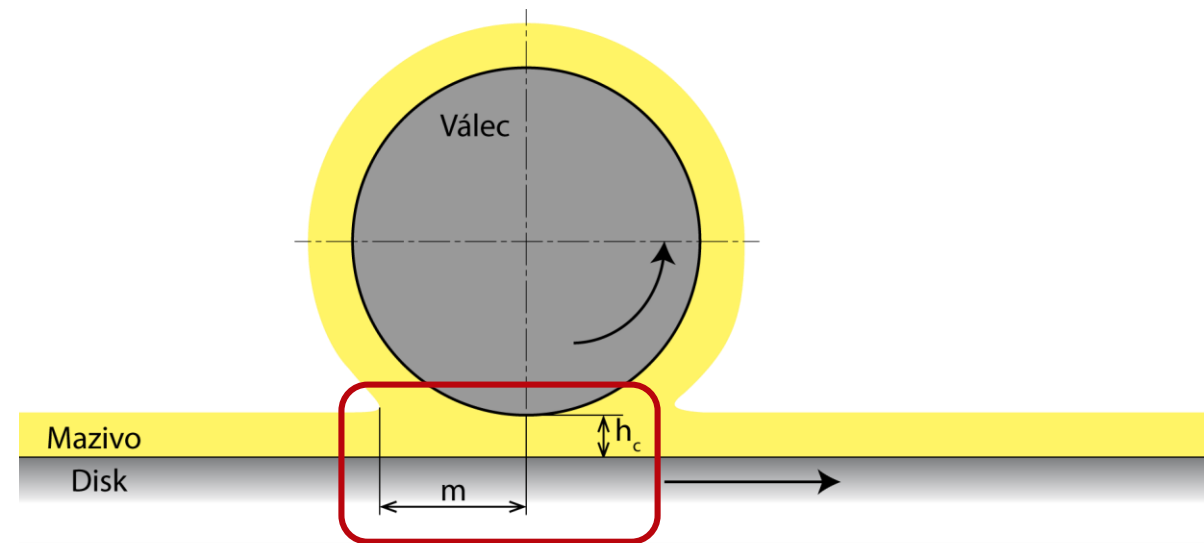
- Vytlačování maziva před kontaktem do stran
- Doplnění maziva zpět do valivé dráhy za kontaktem



Současný stav poznání - hladovění

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."



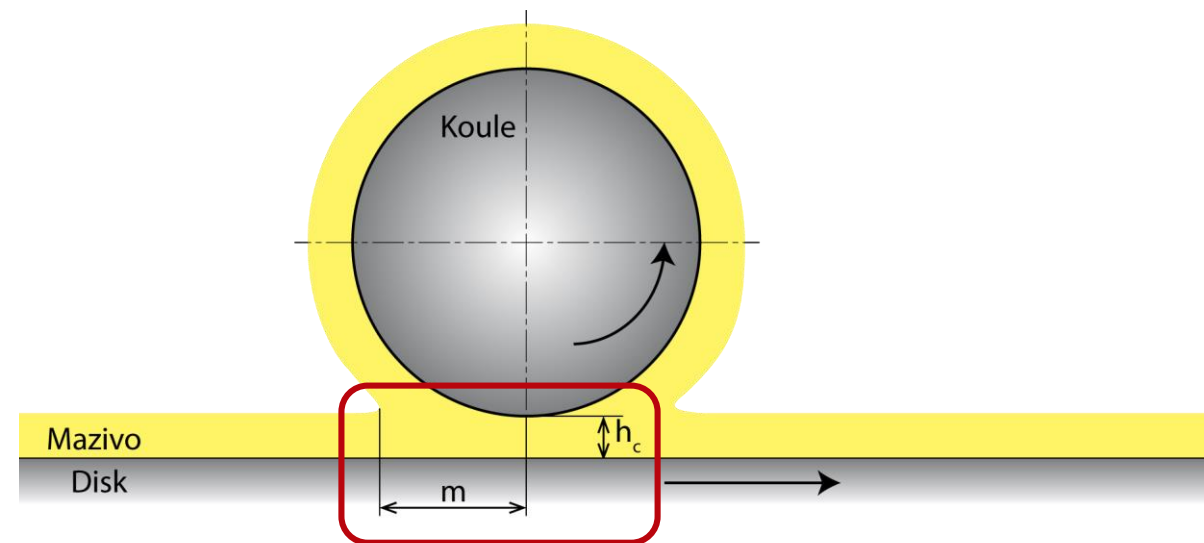
Současný stav poznání - hladovění

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."



Současný stav poznání

1971

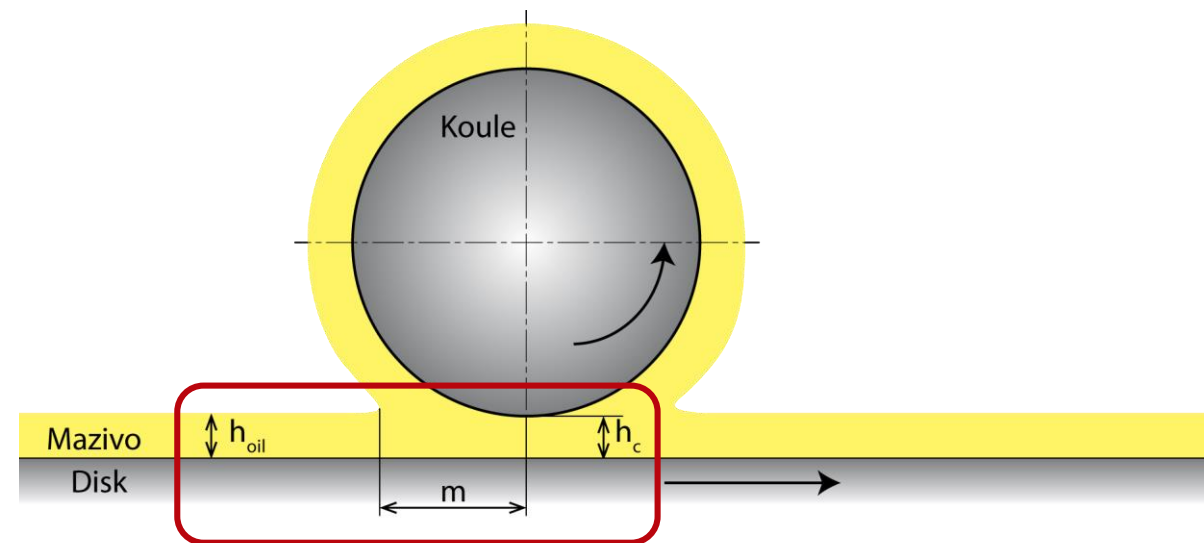
Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."

1998

Chevalier, F., Lubrecht, A. A., Cann, P. M. E., Colin, F., and Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."



Současný stav poznání

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

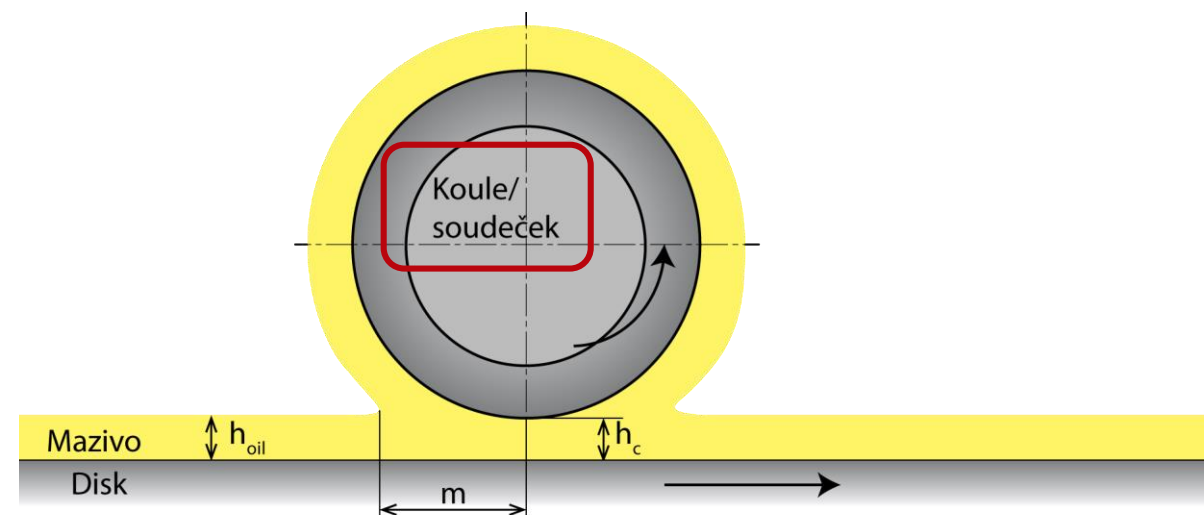
Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."

1998

Chevalier, F., Lubrecht, A. A., Cann, P. M. E., Colin, F., and Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."

2004

Damiens, B., Venner, C. H., Cann, P. M., and Lubrecht, A. A. (2004), "Starved Lubrication of Elliptical EHD Contacts."



Současný stav poznání

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."

1998

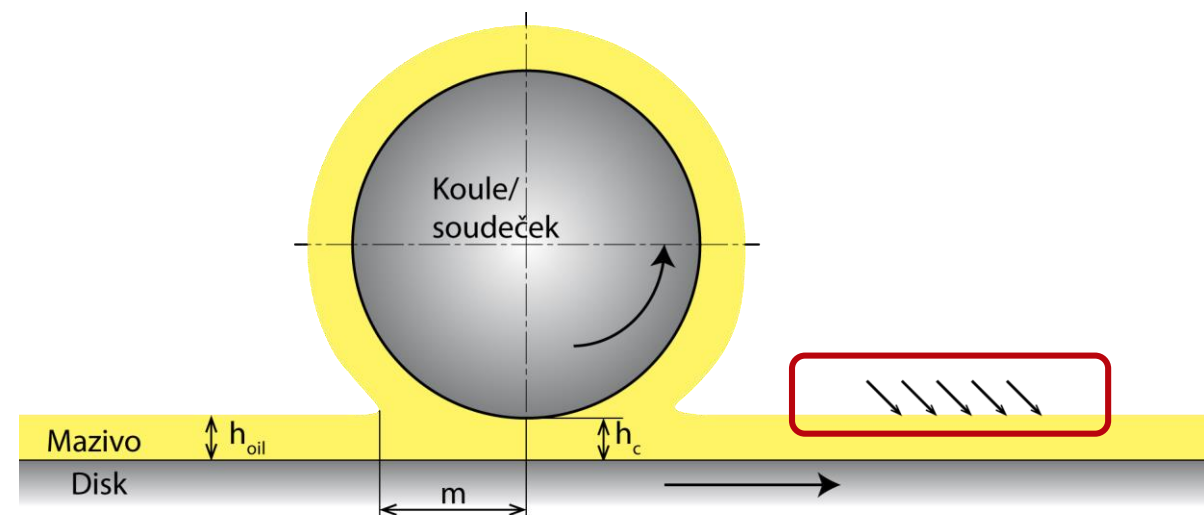
Chevalier, F., Lubrecht, A. A., Cann, P. M. E., Colin, F., and Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."

2004

Damiens, B., Venner, C. H., Cann, P. M., and Lubrecht, A. A. (2004), "Starved Lubrication of Elliptical EHD Contacts."

2008

Gershuni, L., Larson, M. G., and Lugt, P. M. (2008), "Replenishment in Rolling Bearings."



Současný stav poznání

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."

1998

Chevalier, F., Lubrecht, A. A., Cann, P. M. E., Colin, F., and Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."

2004

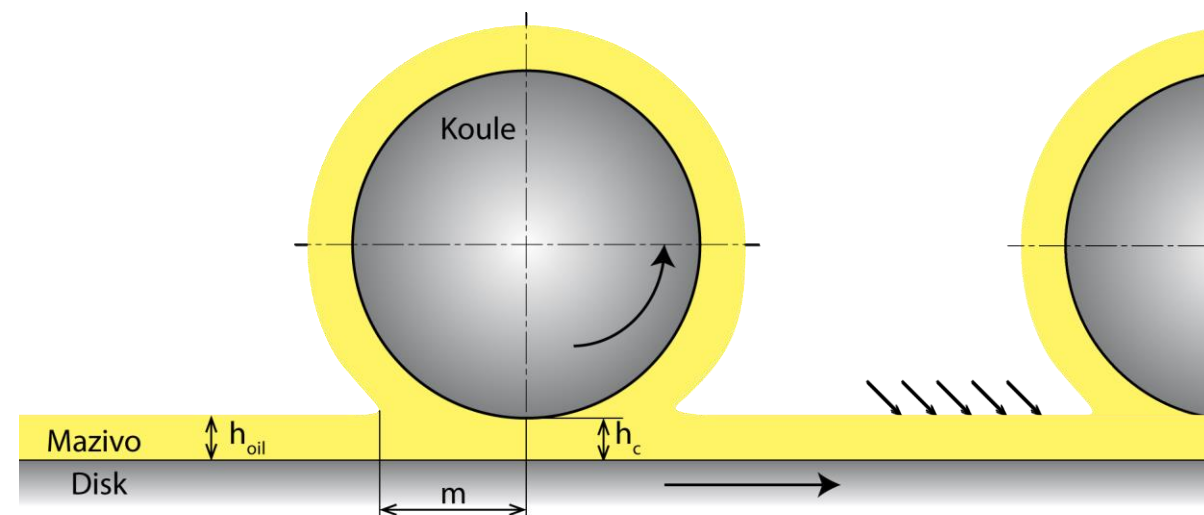
Damiens, B., Venner, C. H., Cann, P. M., and Lubrecht, A. A. (2004), "Starved Lubrication of Elliptical EHD Contacts."

2008

Gershuni, L., Larson, M. G., and Lugt, P. M. (2008), "Replenishment in Rolling Bearings."

2009

van Zoelen, M. T., Venner, C. H., and Lugt, P. M. (2009), "Prediction of Film Thickness Decay in Starved ElastoHydrodynamically Lubricated Contacts Using a Thin-Film Layer Model."



Současný stav poznání

1971

Wolveridge, P. E., Baglin, K. P., and Archard, J. F. (1971), "The Starved Lubrication of Cylinders in Line Contact."

1977

Hamrock, B. J., and Dowson, D. (1977), "Isothermal Elastohydrodynamic Lubrication of Point Contacts, Part IV, Starvation Results."

1998

Chevalier, F., Lubrecht, A. A., Cann, P. M. E., Colin, F., and Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."

2004

Damiens, B., Venner, C. H., Cann, P. M., and Lubrecht, A. A. (2004), "Starved Lubrication of Elliptical EHD Contacts."

2008

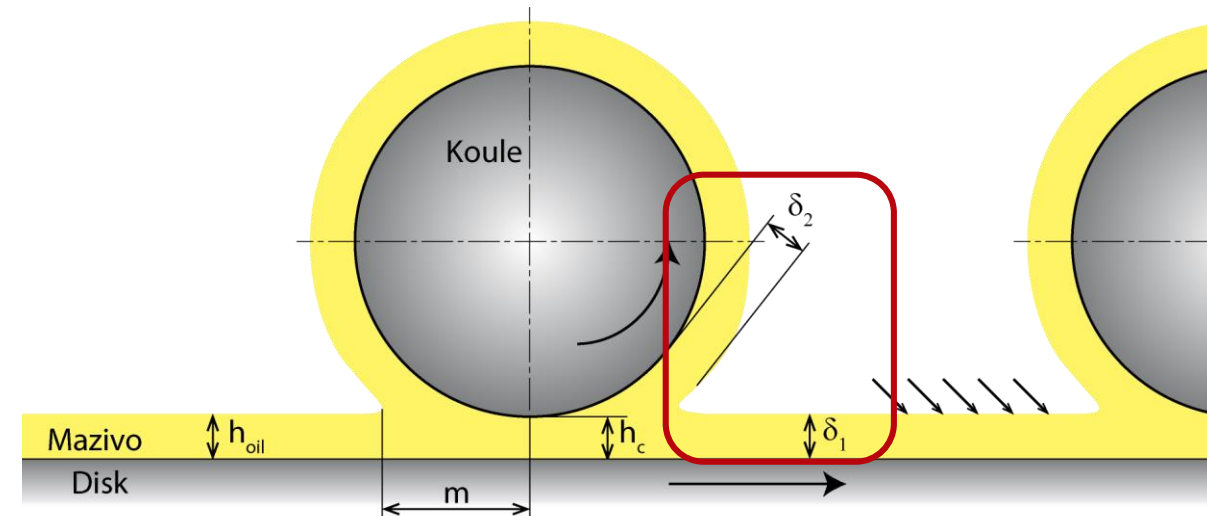
Gershuni, L., Larson, M. G., and Lugt, P. M. (2008), "Replenishment in Rolling Bearings."

2009

van Zoelen, M. T., Venner, C. H., and Lugt, P. M. (2009), "Prediction of Film Thickness Decay in Starved ElastoHydrodynamically Lubricated Contacts Using a Thin-Film Layer Model."

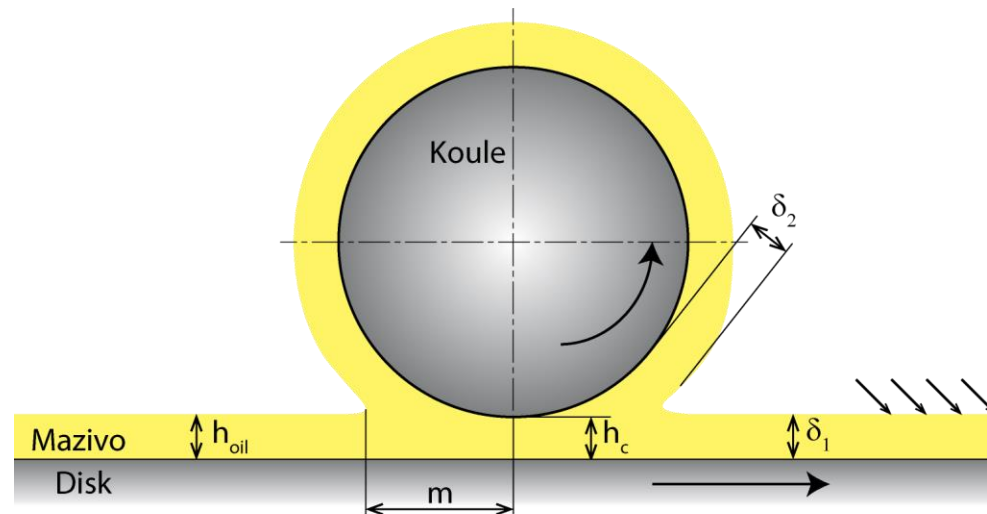
2012

Bruyere, V., Fillot, N., Morales-Espejel, G. E., Vergne, P. (2012) Journal of Tribology. „A two-phase flow approach for the outlet of lubricated line contacts.“



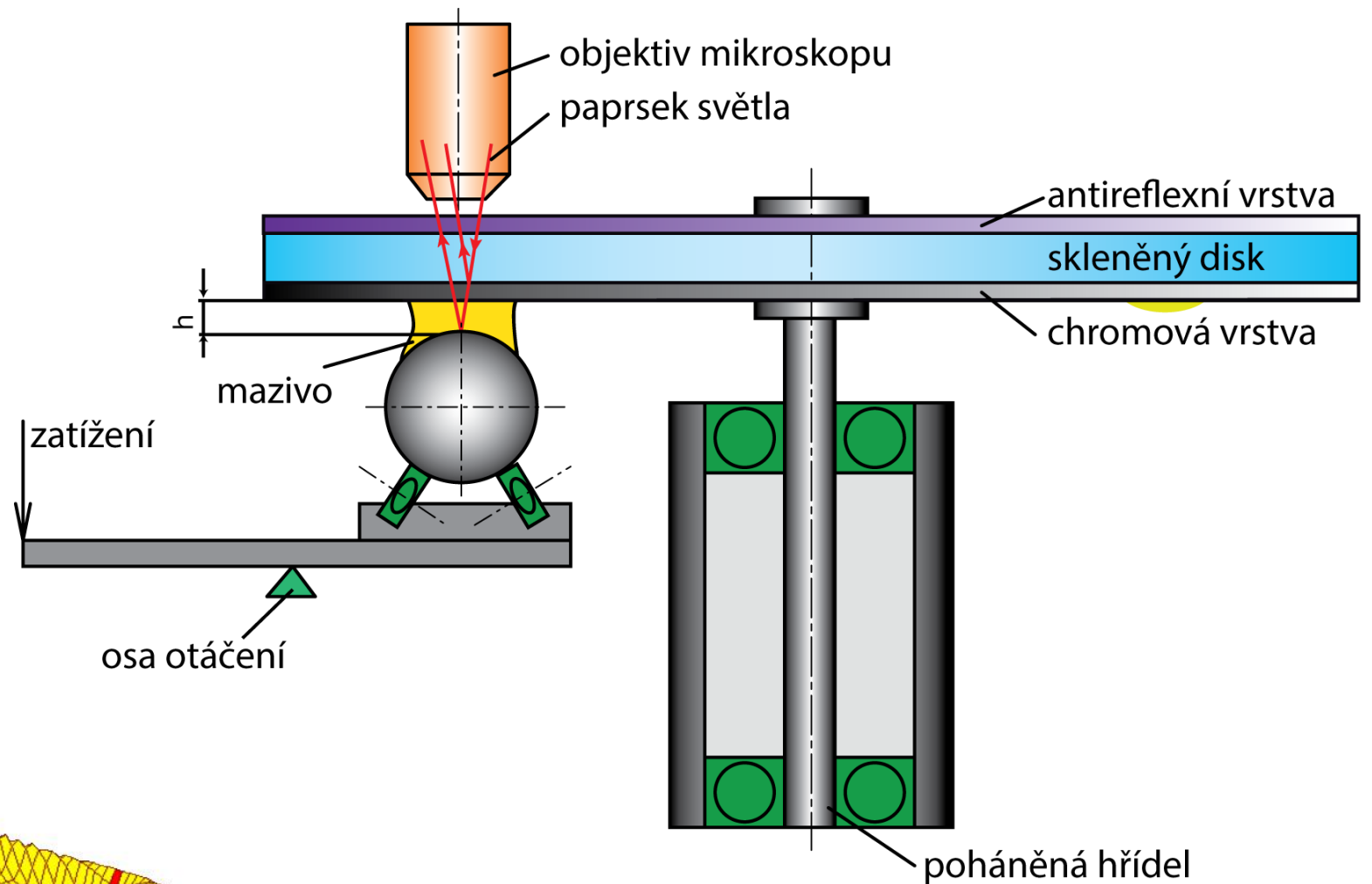
Cíl práce

Studium vlivu tloušťky vrstvy maziva na vstupu kontaktu na tloušťku a distribuci mazacího filmu.

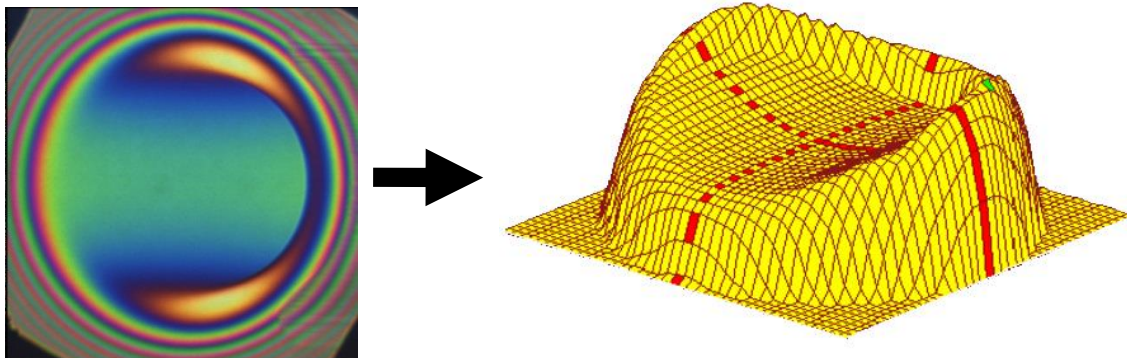


Metody

Aparatura:
Ball on disc



Metoda měření tloušťky filmu:
Optická (kolorimetrická) interferometrie

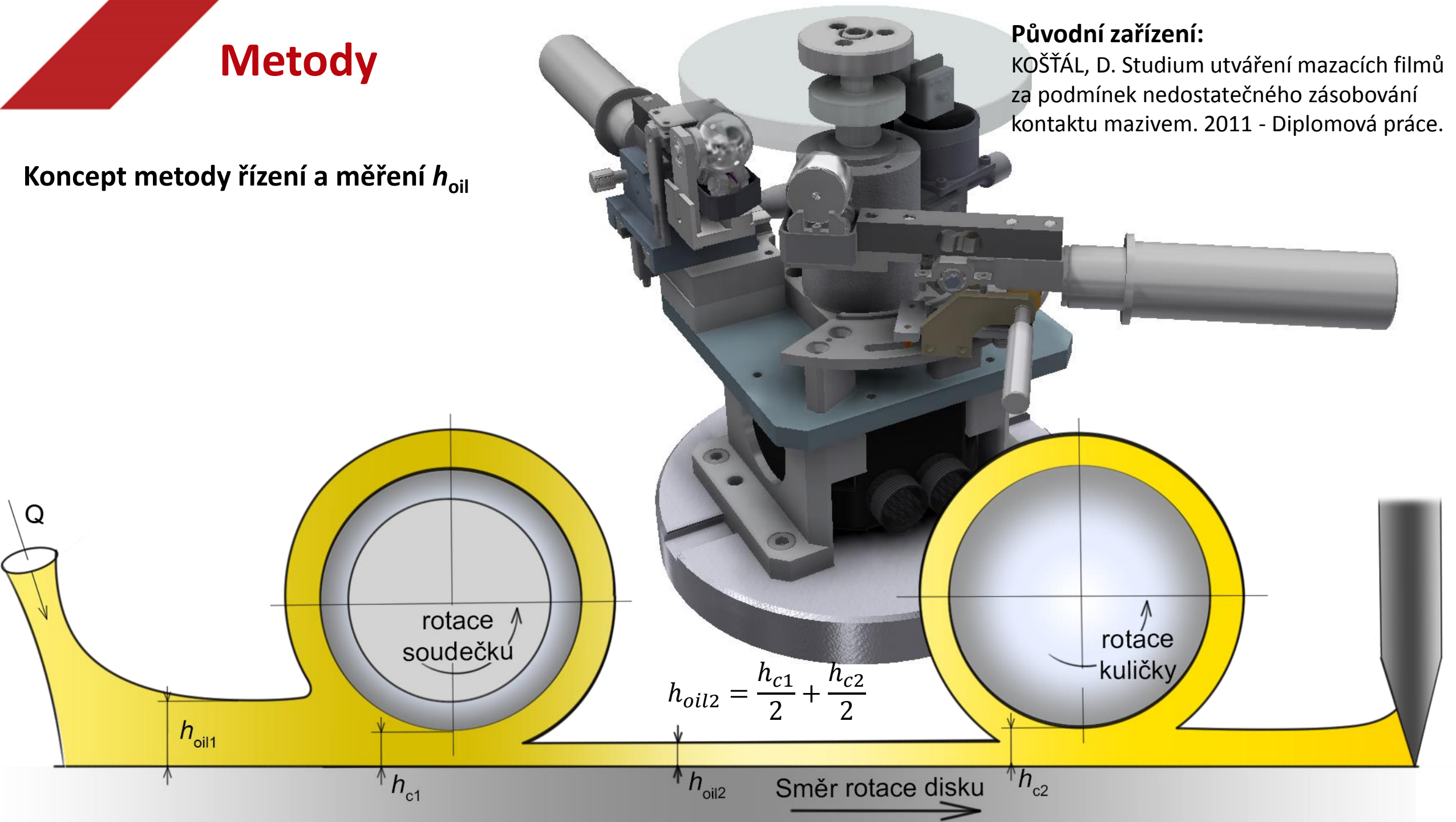


Metody

Koncept metody řízení a měření h_{oil}

Původní zařízení:

KOŠTÁL, D. Studium utváření mazacích filmů za podmínek nedostatečného zásobování kontaktu mazivem. 2011 - Diplomová práce.

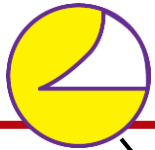


Výsledky

Poměr dělení maziva:

Kontrola předpokladu dělení na dvě polovičky.

$$h_{oil2} = \frac{h_{c1}}{2} + \frac{h_{c2}}{2}$$



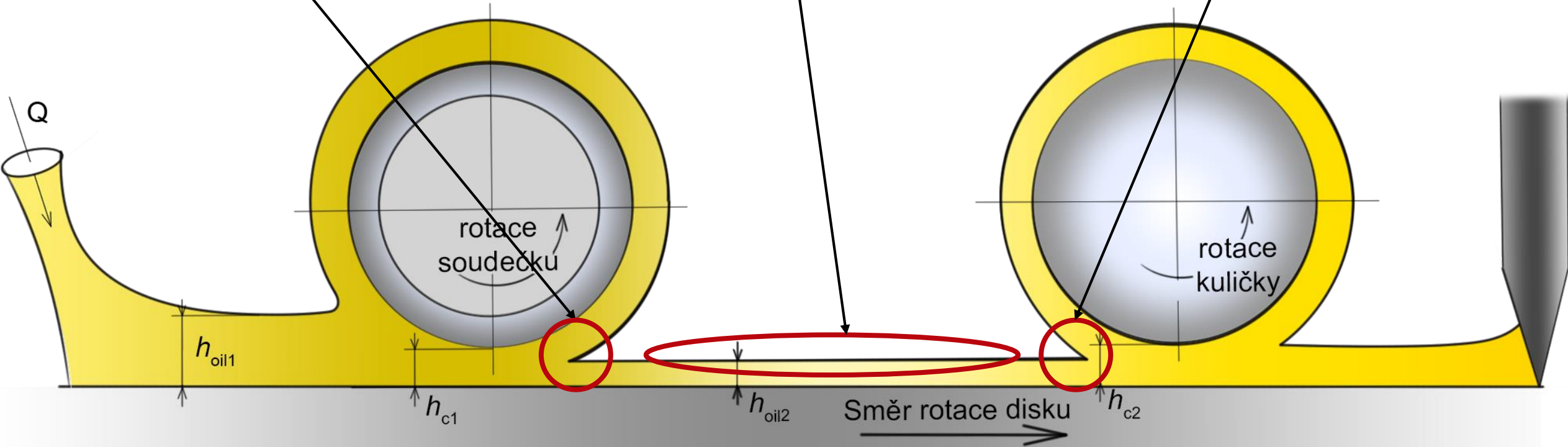
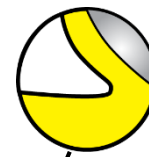
Doplňování maziva

Zjištění času do změny profilu stopy.



Závislost tloušťky na vstupu na úroveň hladovění

Experiment s přesně definovanou hodnotou h_{oil}

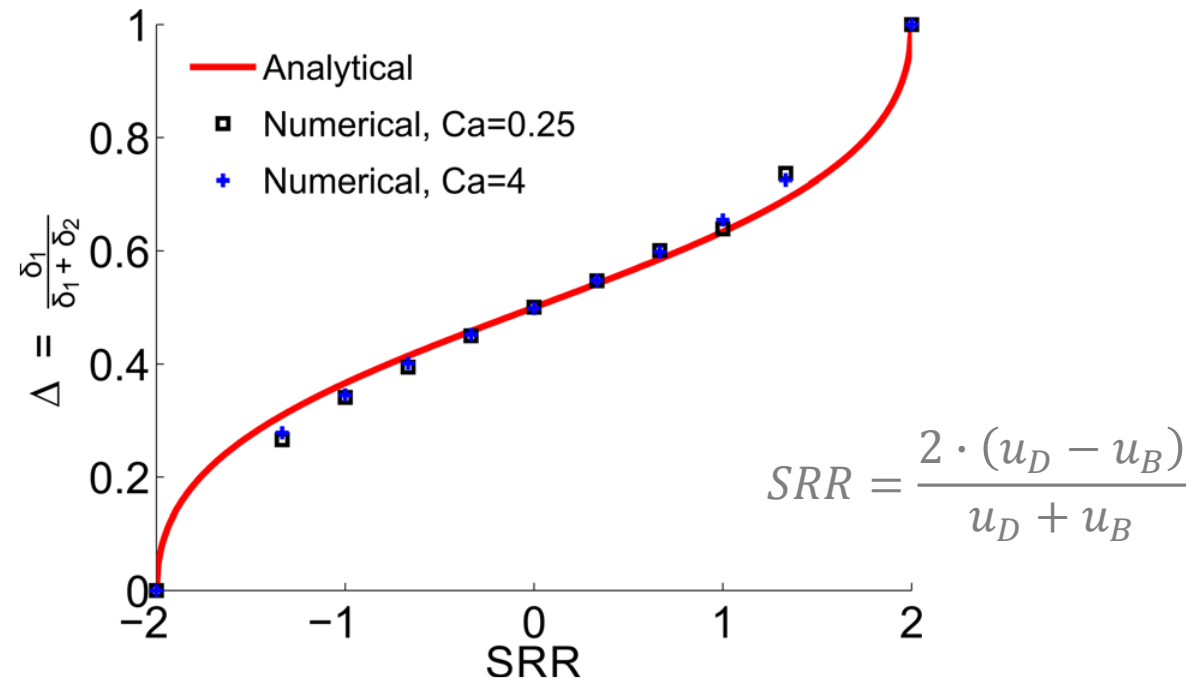
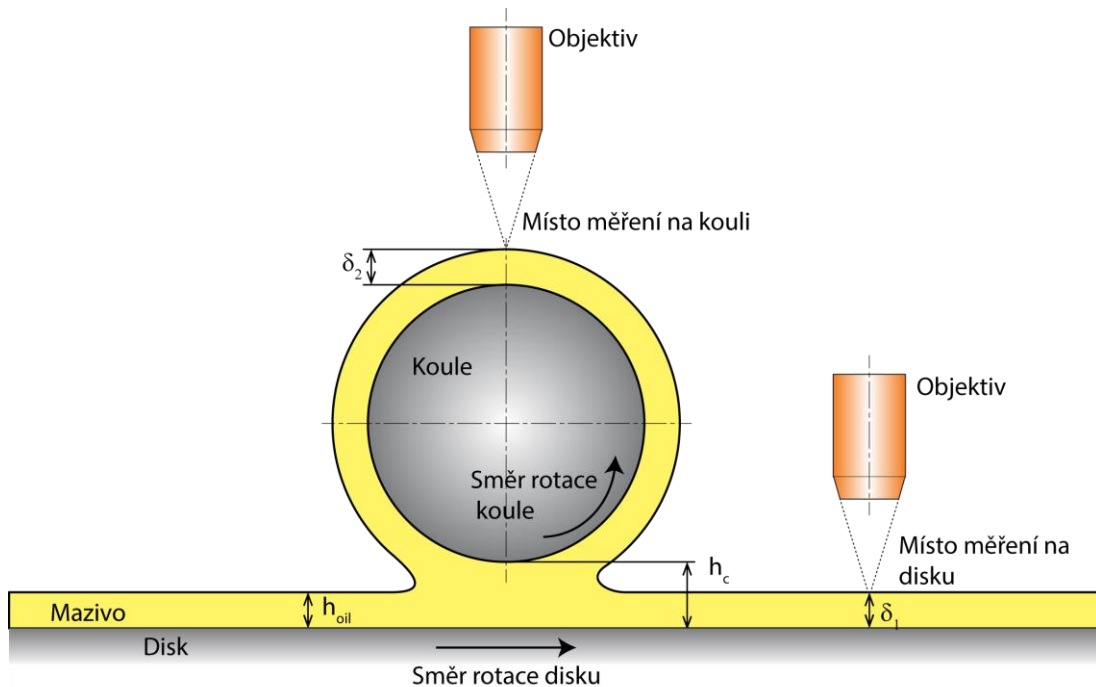




Výsledky – poměr dělení maziva

Informace z literatury:

- Poměr dělení při čistém valení – 50/50
- Poměr dělení při skluzu – větší část kapaliny zůstává na rychlejším povrchu (pouze teoreticky)



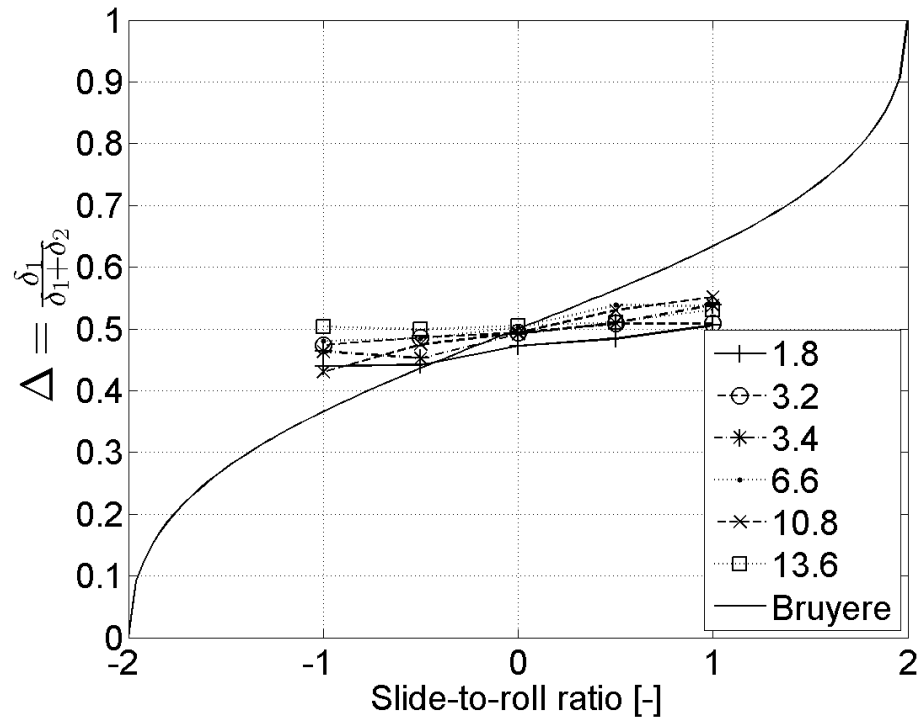
Bruyere, V., Fillot, N., Morales-Espejel, G. E., Vergne, P. (2012) Journal of Tribology. „A two-phase flow approach for the outlet of lubricated line contacts.“



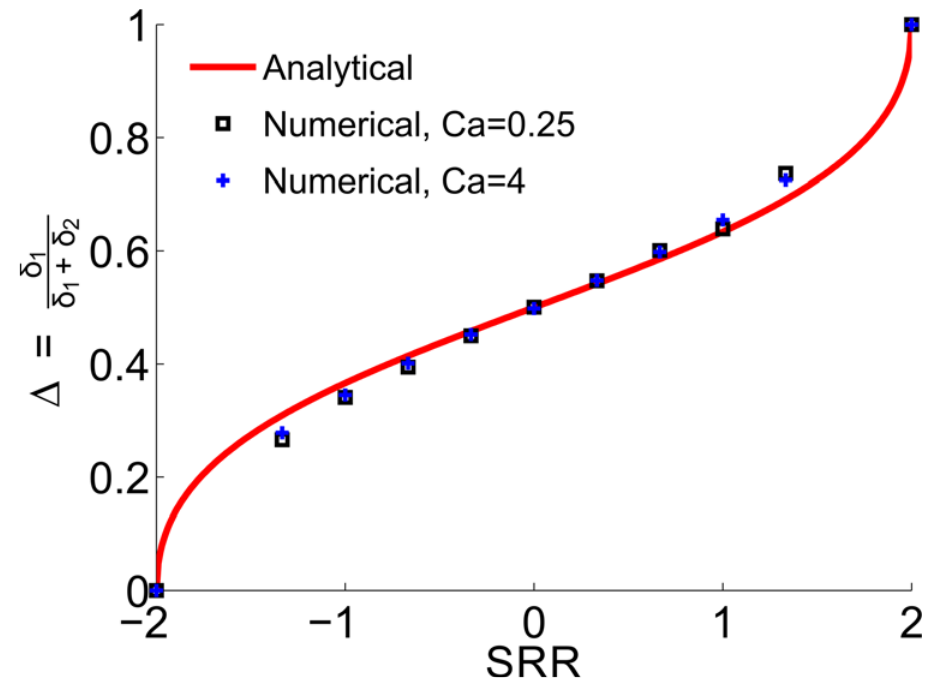
Výsledky – poměr dělení maziva

Vlastní výsledky:

- Porovnání s uvedenou teorií



Koštál, D., Nečas, D., Šperka, P., Svoboda, P., Křupka, I., Hartl, M. (2015) Tribology Letters. **Lubricant Rupture Ratio at Elastohydrodynamically Lubricated Contact Outlet.**

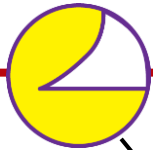


Bruyere, V., Fillot, N., Morales-Espejel, G. E., Vergne, P. (2012) Journal of Tribology. „A two-phase flow approach for the outlet of lubricated line contacts.“

Výsledky

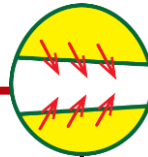
Poměr dělení maziva:

Kontrola předpokladu dělení na dvě polovičky.



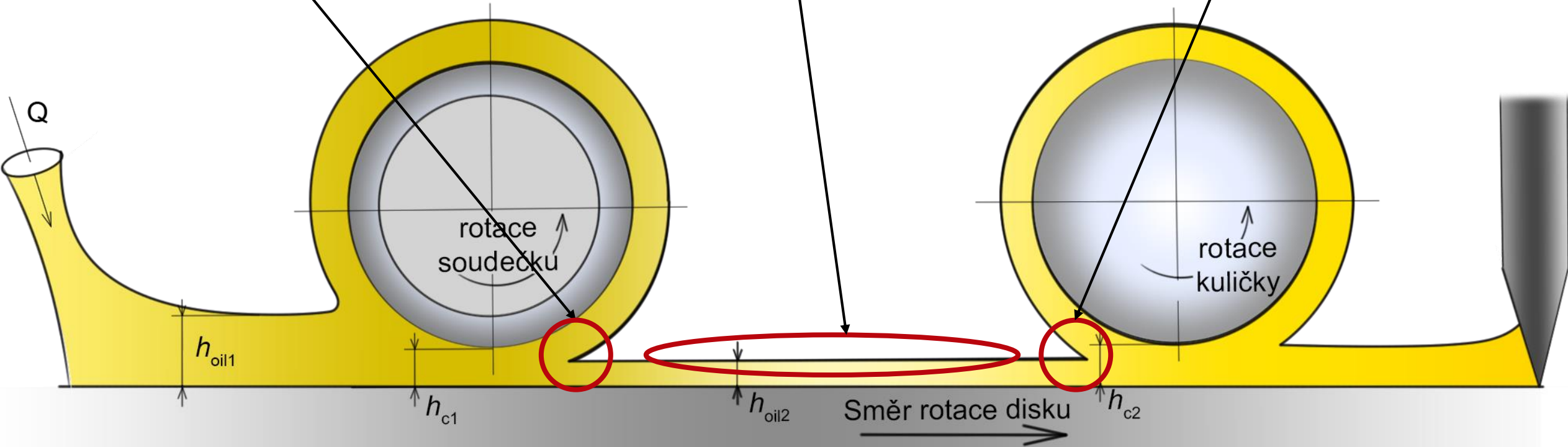
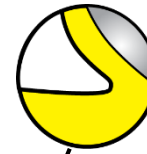
Doplňování maziva

Zjištění času do změny profilu stopy.



Závislost tloušťky na vstupu na úroveň hladovění

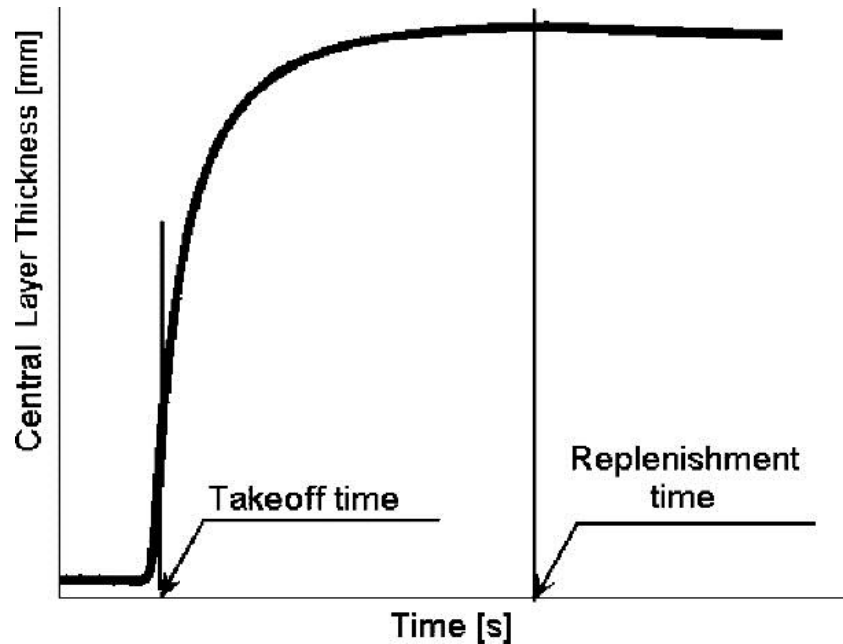
Experiment s přesně definovanou hodnotou h_{oil}



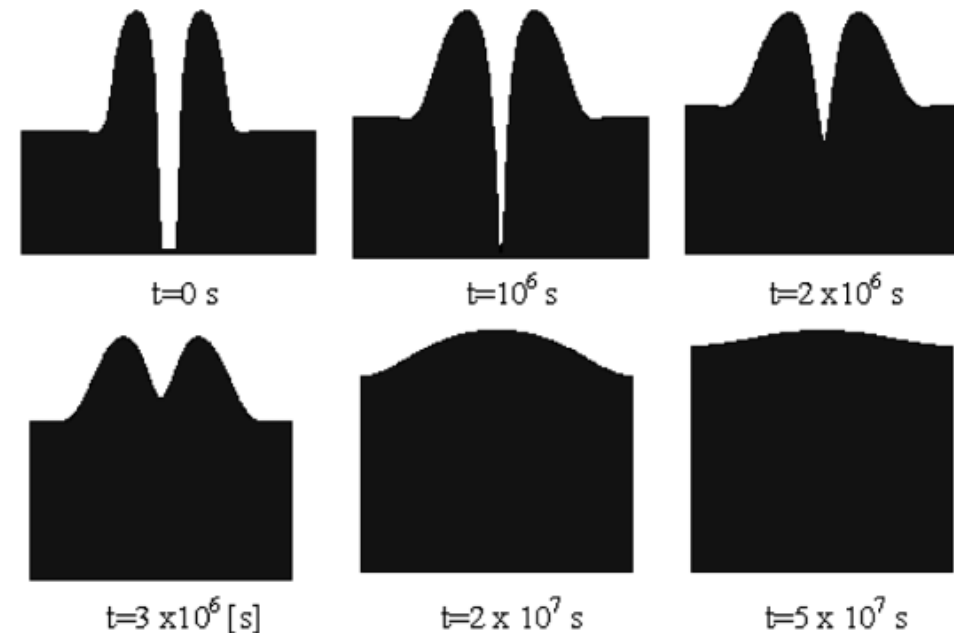


Výsledky – doplňování maziva

Informace z literatury:



Tloušťka filmu ve stopě za kontaktem jako funkce času.



Profil stopy za kontaktem pro různé časy po opuštění kontaktu.

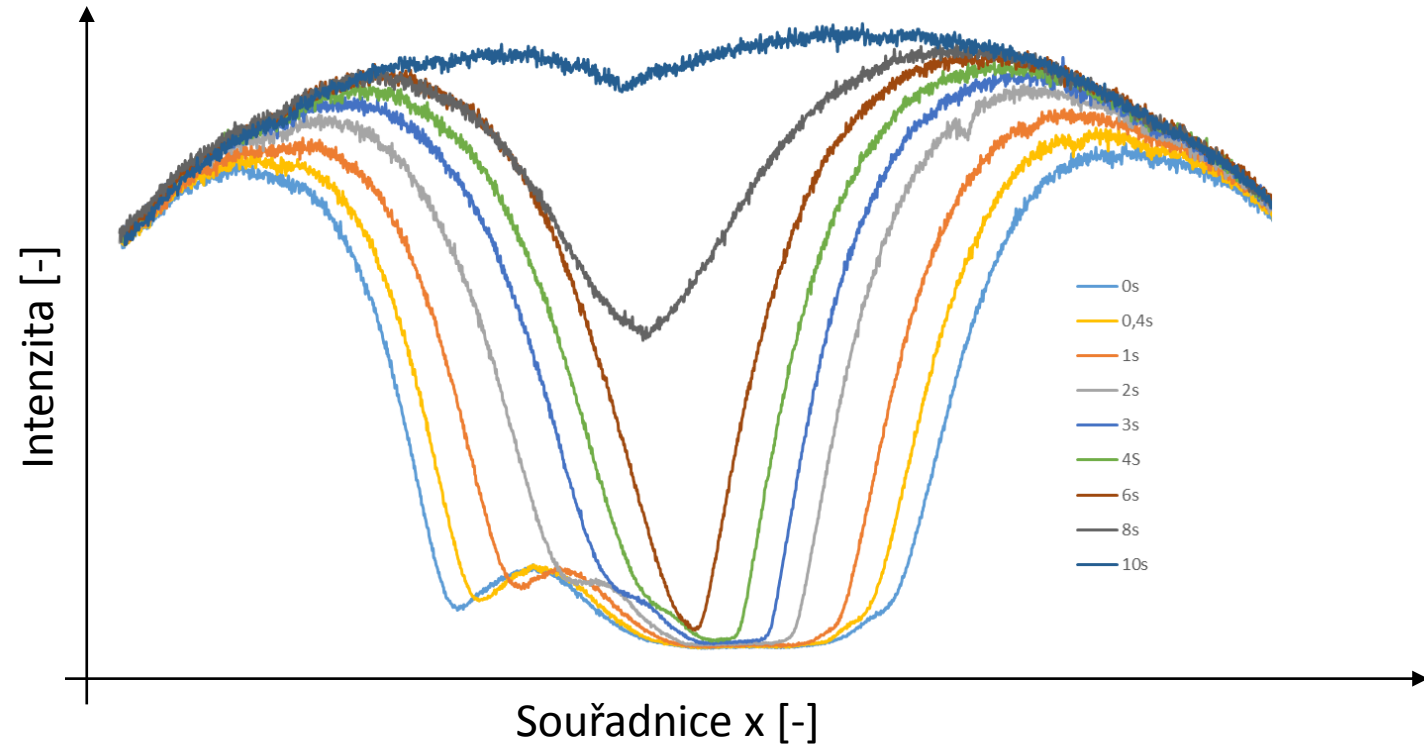
GERSHUNI, L., M. G. LARSON a P. M. LUGT Tribology Transactions. Replenishment in Rolling Bearings. 2008.



Výsledky – doplňování maziva

Výsledky:

- Vzhledem k šířce kontaktu jsou prodlevy mezi měřeními do 1 sekundy brány jako neovlivňující.
- Významný nárůst centrální tloušťky filmu ve stopě po dané podmínky nastává v době mezi 6-8 sekundou po vytvoření kontaktu.



←→ Šířka 1. kontaktu
↔ Šířka 2. kontaktu

Výsledky

Poměr dělení maziva:

Kontrola předpokladu dělení na dvě polovičky.

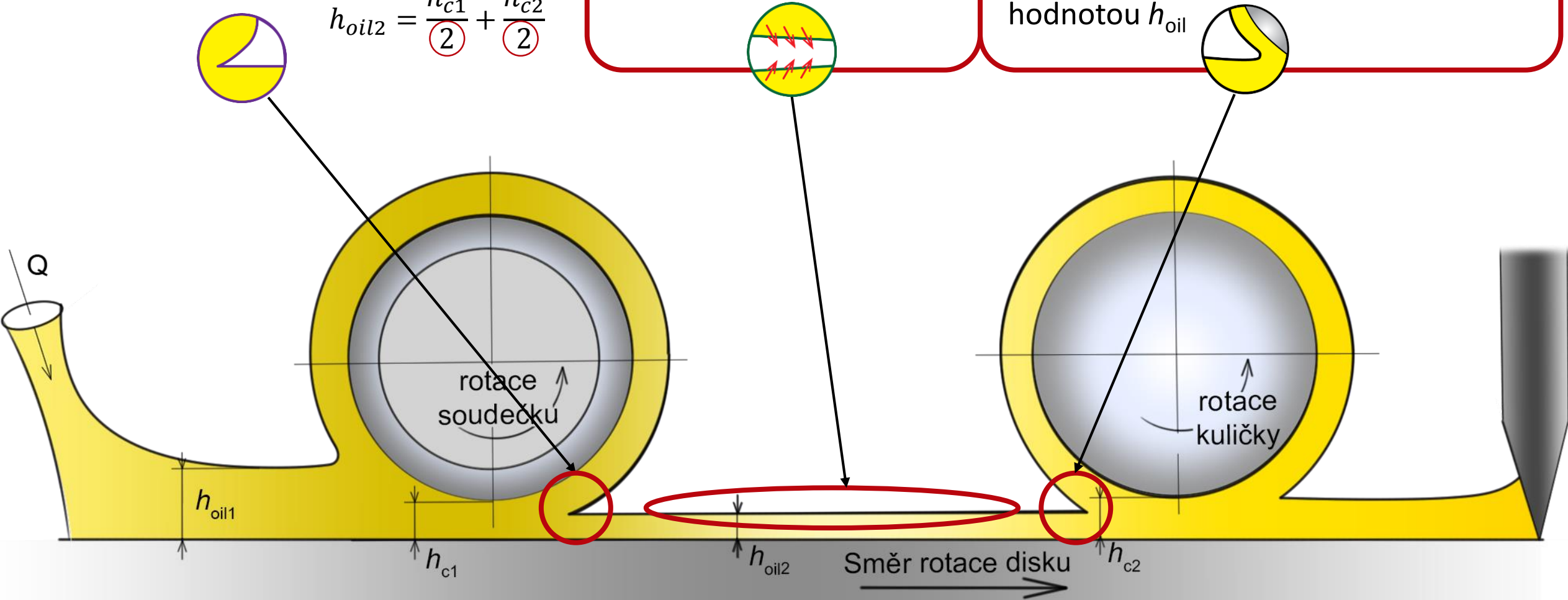
$$h_{oil2} = \frac{h_{c1}}{2} + \frac{h_{c2}}{2}$$

Doplňování maziva

Zjištění času do změny profilu stopy.

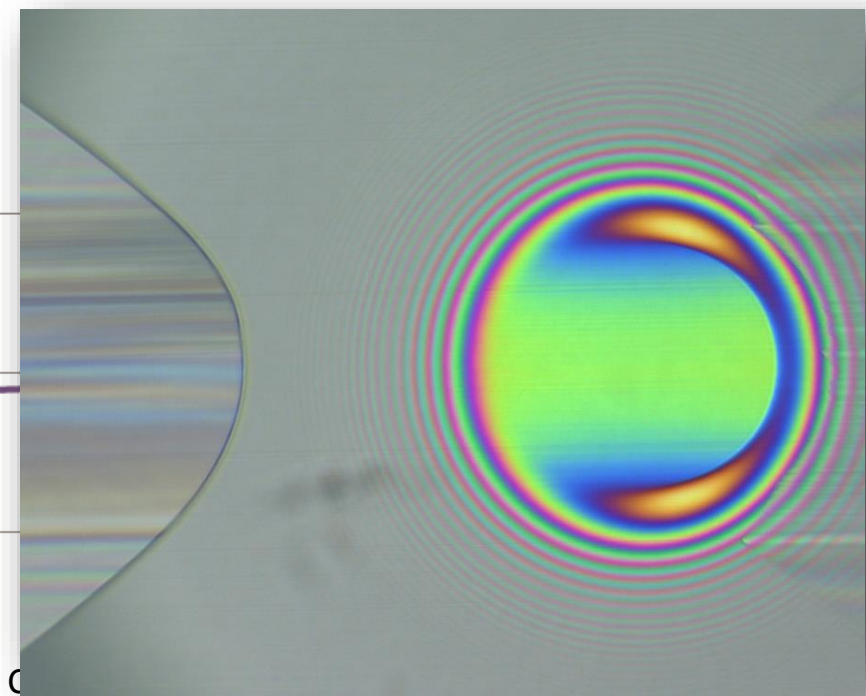
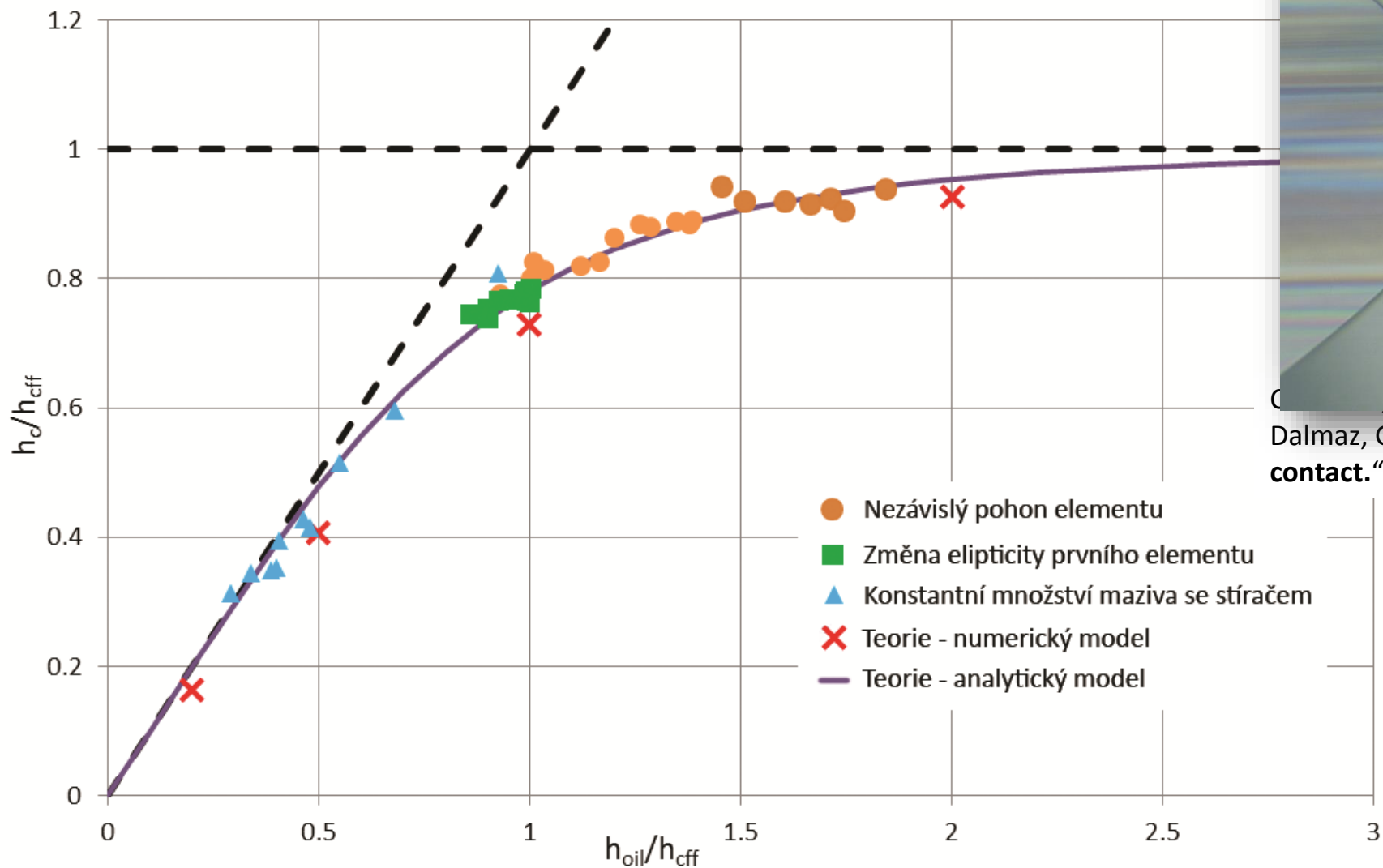
Závislost tloušťky na vstupu na úroveň hladovění

Experiment s přesně definovanou hodnotou h_{oil}





Výsledky

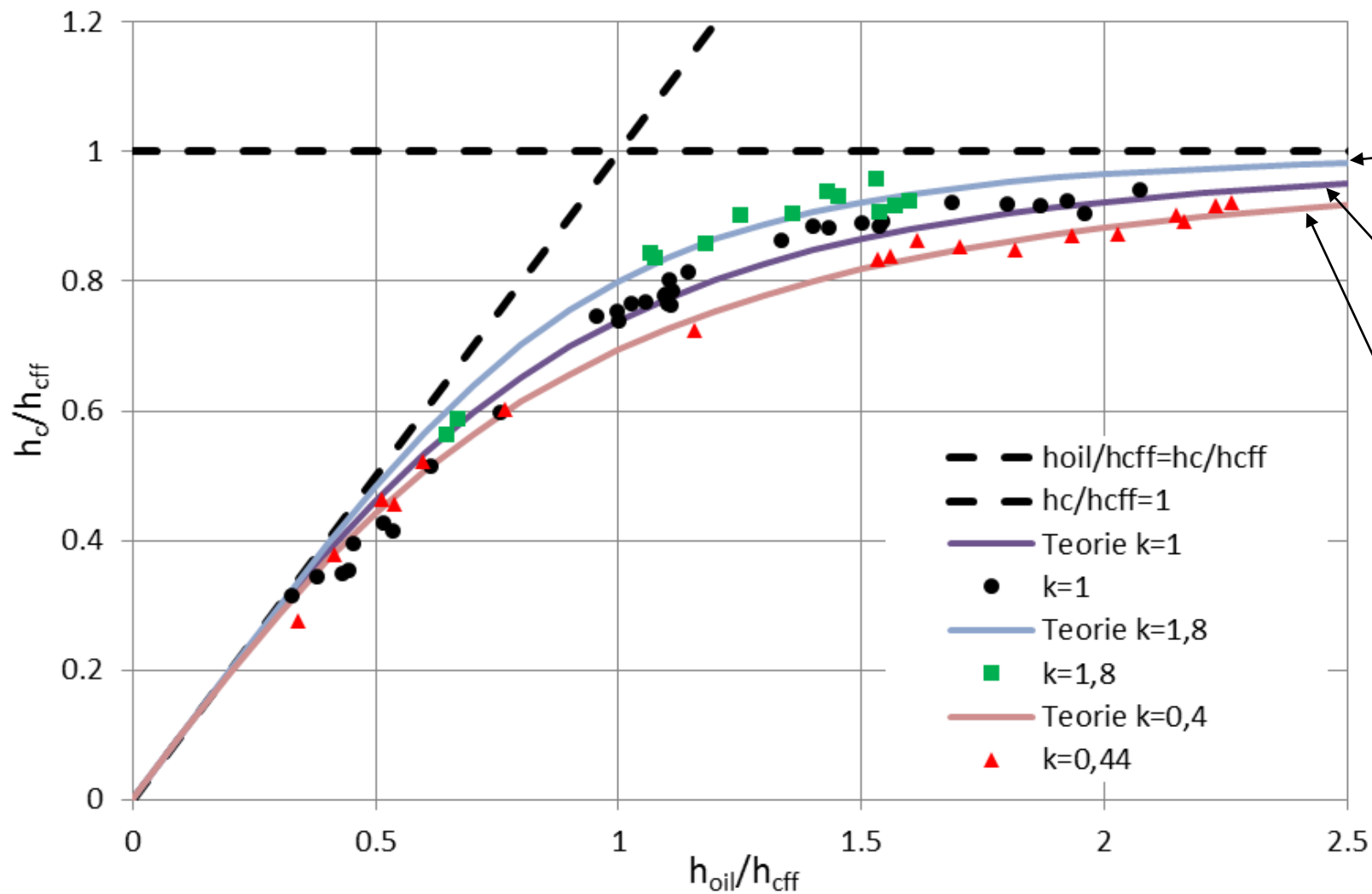


Dalmaz, G. (1998), "Film Thickness in Starved EHL Point contact."

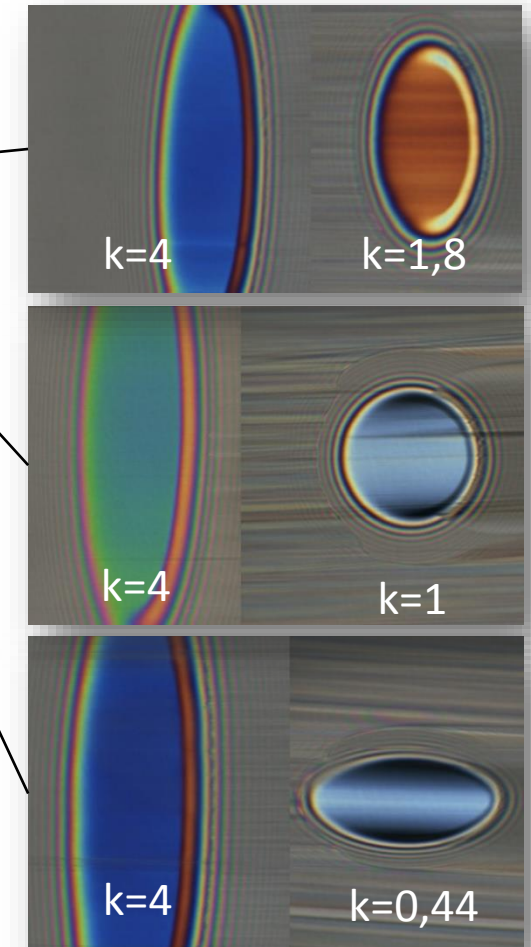
Směr valení



Výsledky – vliv elipticity



1. kontakt 2. kontakt



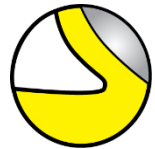
Závěr



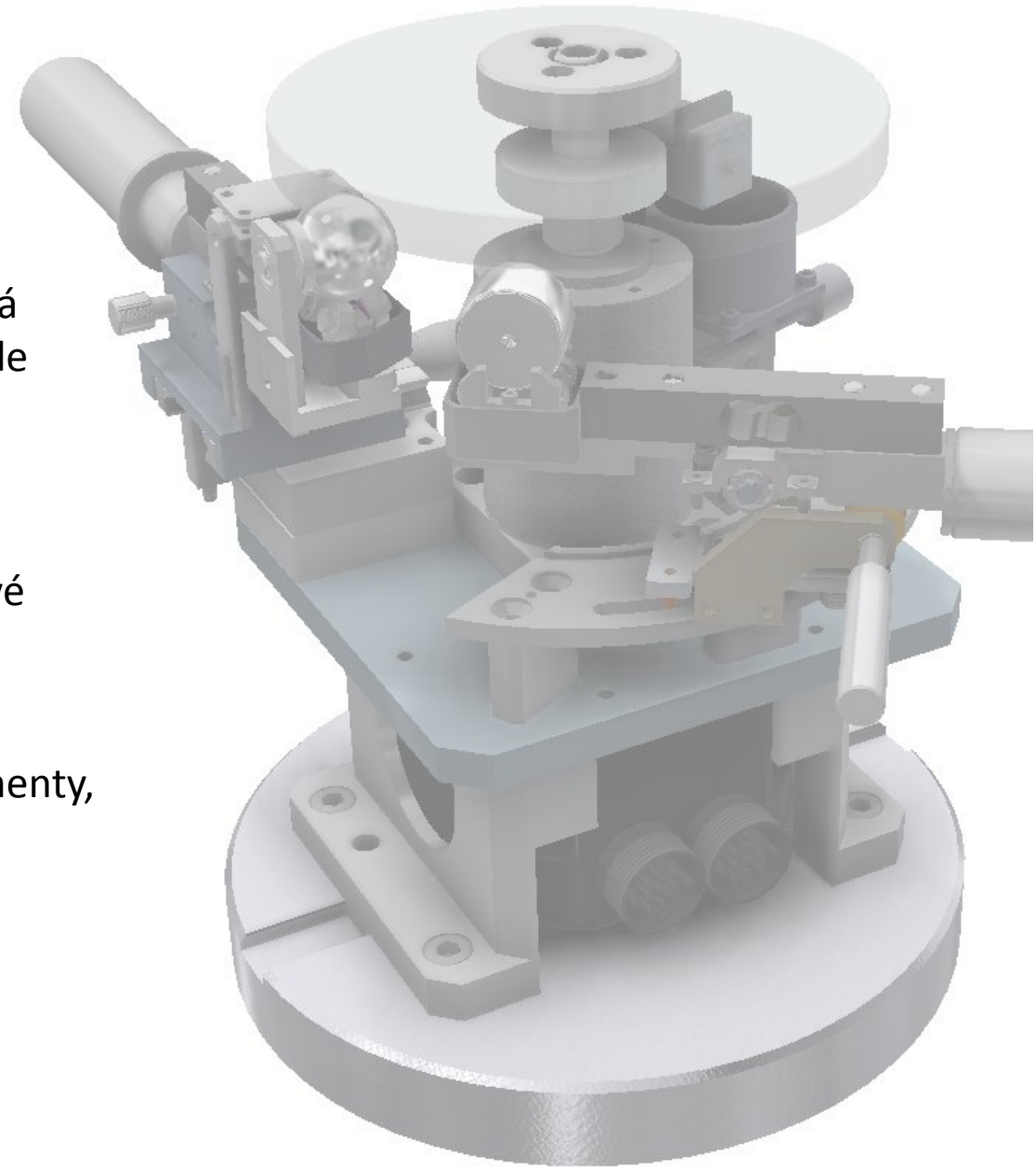
- Byl potvrzen trend dle teorie – při zavedení skluzu ulpívá větší množství maziva na rychlejším z povrchů. Vliv je ale slabší, než uvádí teorie.



- Bylo pozorováno teoreticky popsané nelineární chování procesu doplňování. Určujícím parametrem je povrchové napětí.



- Teoretický model (Chevalier 1998) byl potvrzen experimenty, včetně vlivu elipticity.



Výstupy vytvořené během studia

Publikace s IF (3):

- SVOBODA, P.; KOŠŤÁL, D.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Experimental study of starved EHL contacts based on thickness of oil layer in the contact inlet. Tribology International, 2013, roč. 67, č. 1, s. 140-145. ISSN: 0301- 679X. **(IF: 1.936)**
- KOŠŤÁL, D.; NEČAS, D.; ŠPERKA, P.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Lubricant Rupture Ratio at Elastohydrodynamically Lubricated Contact Outlet. Tribology Letters, 2015, DOI: 10.1007/s11249-015-0565-7 **(IF: 2.151)**
- DONG, Y., SVOBODA, P., VRBKA, M., KOSTAL, D., URBAN, F., CIZEK, J., ROUPCOVA, P., DONG, H., KRUPKA, I., HARTL, M., Towards near-permanent CoCrMo prosthesis surface by combining micro-texturing and low temperature plasma carburising, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Volume 55, 2015, Pages 215-227, ISSN 1751-6161, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.10.023>. **(IF: 3.417)**

Recenzované (4):

- SVOBODA, P.; KOŠŤÁL, D.; POPELKA, M.; KŘUPKA, I. The experimental study of transition between fully flooded and starved regime in EHL contact. Engineering Mechanics, 2013, roč. 20, č. 1, s. 13-25. ISSN: 1802- 1484. (Recenzované periodikum)
- KOŠŤÁL, D.; ŠPERKA, P.; HARTL, M. Controlling and measuring starvation severity in EHL contacts. Engineering Mechanics, 2014, roč. 2014 (21), č. 5, s. 321-328. ISSN: 1805- 4633. (Recenzované periodikum)
- SVOBODA, P.; KOŠŤÁL, D.; KUŇÁK, J.; KŘUPKA, I. Study of grease behaviour in a starved Elastohydrodynamically lubricated contact. MM Science Journal, 2014, roč. 2014, č. June, s. 464-469. ISSN: 1803- 1269. (Recenzované periodikum)
- KOŠŤÁL, D.; ŠPERKA, P.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I.; Experimental observation of elastohydrodynamically lubricated contacts replenishment. MM Science, 2015, DOI: 10.17973/MMSJ.2015_10_201525. (Recenzované periodikum)

Výstupy vytvořené během studia

Konference - sborníky (7):

- SVOBODA, P.; KOŠŤÁL, D.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. EXPERIMENTAL STUDY OF LUBRICATION FILM FORMATION IN MULTIPLE CONTACTS DEVICE UNDER STARVED CONDITIONS. In *Proceedings of the ASME/ STLE 2012 International Joint Tribology Conference*. Denver, CO; USA: ASME
- KOŠŤÁL, D.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I. Lubrication film starvation on two element device. In *53rd ICMD*. Brno: Brno University of Technology, 2012.
- KOŠŤÁL, D.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Surface Roughness Effects in Starved EHL Contacts. In *Proceedings of World Tribology Congress 2013*. Turín
- KOŠŤÁL, D.; ŠPERKA, P.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Influence of rolling elements distance on starvation. *STLE, Proceedings of a meeting held 5-9 May 2013, Detroit, Michigan, USA*.
- KOŠŤÁL, D.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Including the method of lubricant film thickness measurement with the use of the monochromatic interferometry to the education of tribology. In *55th ICMD*. 2014.
- KOŠŤÁL, D.; ŠPERKA, P.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. Mechanismy mazání valivých ložisek. Konference Mazání v moderním průmyslovém podniku 2015. s 30-32.
- SVOBODA, P.; KOŠŤÁL, D.; KŘUPKA, I. Study of Scale Effect in a Starved Elastohydrodynamically Lubricated Contact. In *ENGINEERING MECHANICS 2015, 21st International Conference Engineering Mechanics 2015. Engineering mechanics 2014*. 1. Svratka: Institute of Theoretical and Applied Mechanics, 2015.

Užitné vzory (3):

- KOŠŤÁL, D.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I.; Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ: *Tribological contact simulator*. 25667, užitný vzor. (2013)
- ŠPERKA, P.; SVOBODA, P.; VRBKA, M.; KOŠŤÁL, D.; Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ: *Tribologický simulátor valivého ložiska*. 25805, užitný vzor. (2013)
- KOŠŤÁL, D.; CAGAŠ, R.; Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně: *Lapovací aparatura pro dokončování povrchu soudečků*. 114360, užitný vzor. (2015)

Funkční vzorky (8)

- (viz práce...)



Děkuji vám za pozornost

David Košťál

kostal@fme.vutbr.cz

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