

# Studium tenkých mazacích filmů spektroskopickou reflektometrií

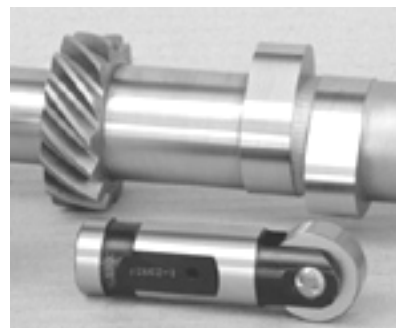
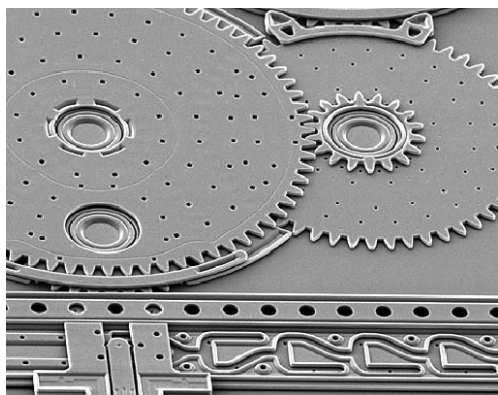
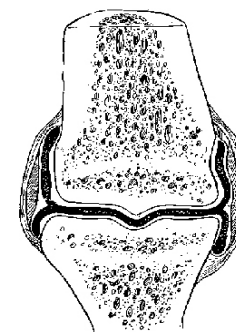
Pojednání ke státní doktorské zkoušce.

Ing. Vladimír Čudek  
Ústav konstruování  
Fakulta strojního inženýrství  
Vysoké učení technické v Brně

## Obsah

- Úvod do problematiky.
- Shrnutí současného stavu poznání.
- Definice cílů disertační práce.
- Současný stav řešení disertační práce.
- Závěr

Vlivem nedostatečného nebo špatného mazání dochází často ke zvýšenému opotřebení a ztrátám vlivem tření.

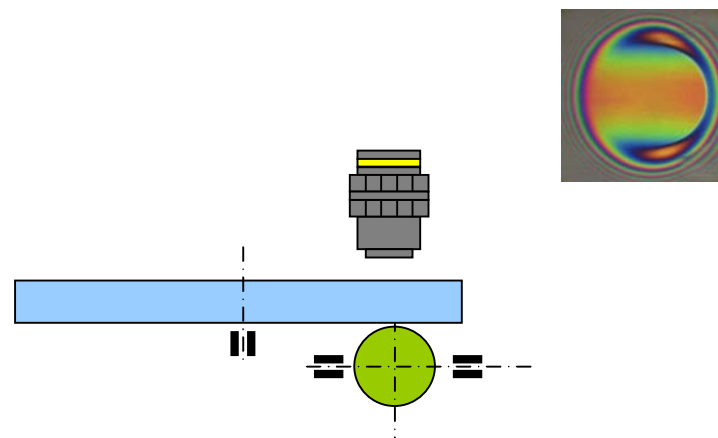


## Optické měřicí metody

- Metody založené na digitalizaci a analýze interferogramů:
  - chromatická interferometrie (GUSTAFSSON),
  - ROII (LUO).
- Metody založené na principu spektrální analýzy:
  - metoda posunutí píku (JOHNSTON),
  - **metoda využívající spektroskopickou reflektometrii (GLOVNEA).**



*Experimentální zařízení pro měření EHD mazacích filmů.*



*Schéma měřícího zařízení.*

# Spektroskopická reflektometrie

- Absolutní metoda.
- Měření odraženého světla jako spektrální závislost.
- Matematický model založen na *fresnelových koeficientech* popisujících odrazivost na optických rozhraních.
- Získání hledaných optických parametrů (tloušťky a případně indexu lomu a absorpce) pomocí optimalizace metodu nejmenších čtverců.

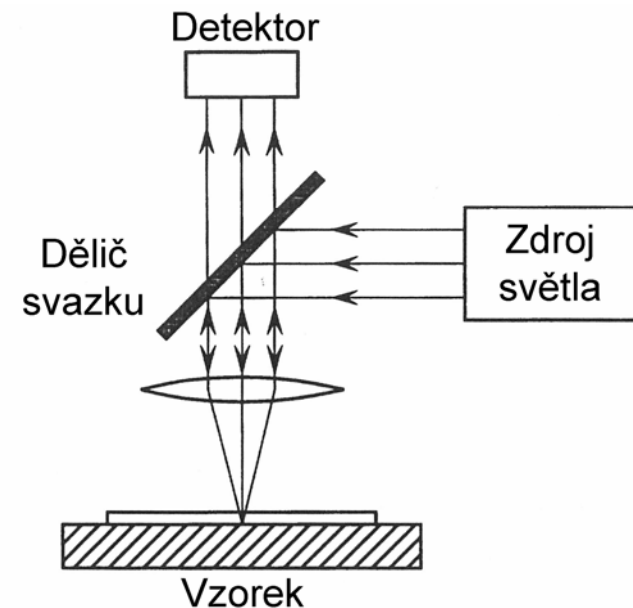
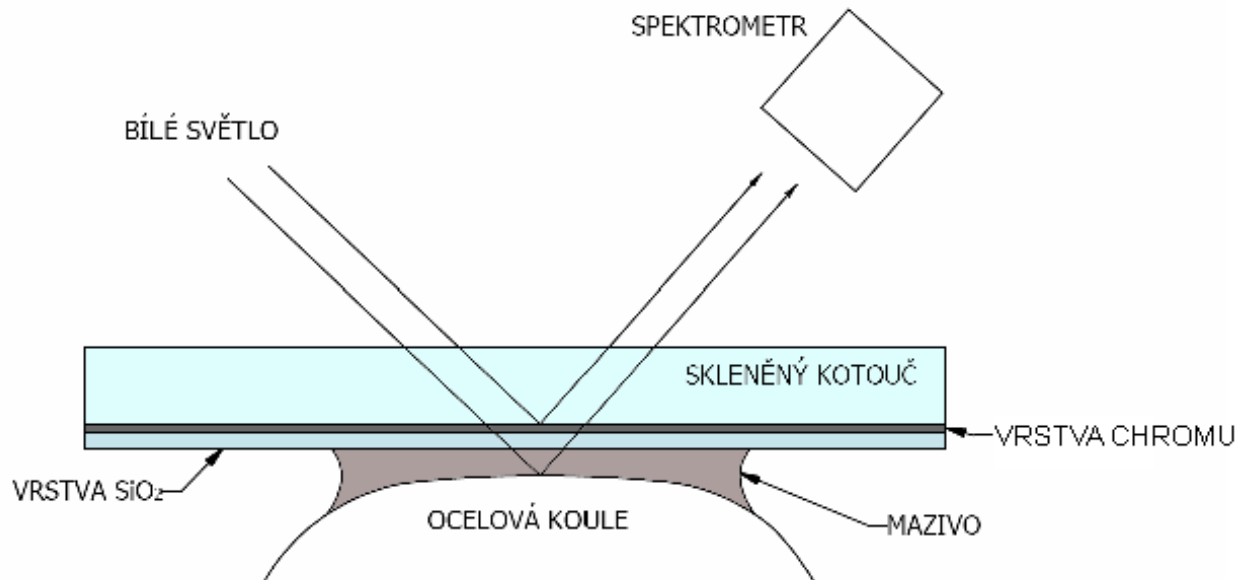


Schéma reflektometru (Tompkins).

# Metoda využívající spektroskopickou reflektometrii - Glovnea a kol.

- Použití vrstvy chromu jako polopropustné vrstvy.
- Použití mezivrstvy  $\text{SiO}_2$  pro zdánlivé zvětšení tloušťky mazacího filmu.



## Nevýhody metody:

- Vyhodnocování **relativní** odrazivosti.
- Jako reference použitý systém SKLO-CHROM-SiO<sub>2</sub>-OCEL
- Použití mezivrstvy SiO<sub>2</sub>.

$$F = \sum_l \left( \left( \frac{I_{Rball}}{I_{Rair}} \right)_{experimental} - SF \left( \frac{I_{Rball}}{I_{Rair}} \right)_{theory} \right)^2$$

# Cíle disertační práce

Vývoj měřicí metody pro studium mazacích filmů založené na spektroskopické reflektometrii, využívající absolutní odrazivost a „korektní“ optickou soustavu.

- *Úprava stávající aparatury pro měření spektra odraženého světla z mazaného kontaktu.*
- Nalezení vhodné optické soustavy.
- *Ověření materiálových konstant a vlastností jednotlivých prvků tvořících optickou soustavu.*
- Verifikace měřicí metody v mazaném kontaktu.

# Matematický model

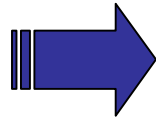
Absolutní odrazivost:

$$R = \frac{I_{odr}}{I_{dop}} = |r|^2$$

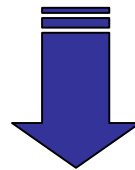
Relativní odrazivost:

$$\mathfrak{R} = \frac{I_{odr}}{I_{odr\_ref}}$$

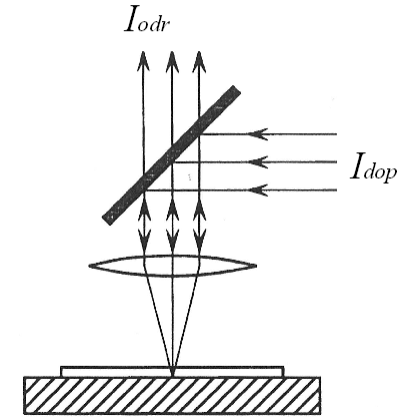
$$R_{ref} = \frac{I_{odr\_ref}}{I_{dop}}$$



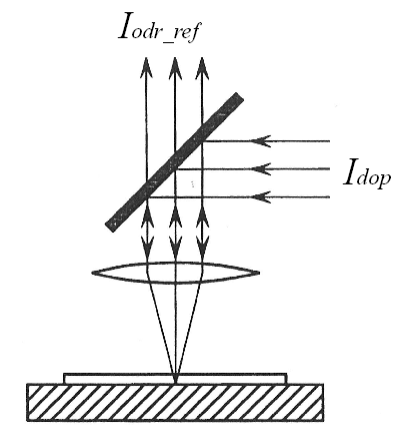
$$I_{dop} = \frac{I_{odr\_ref}}{R_{ref}}$$



$$R = \mathfrak{R} \cdot R_{ref} = \frac{I_{odr}}{I_{odr\_ref}} \cdot R_{ref}$$



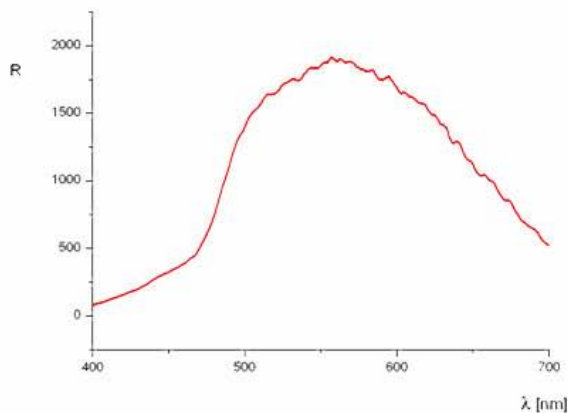
Vzorek



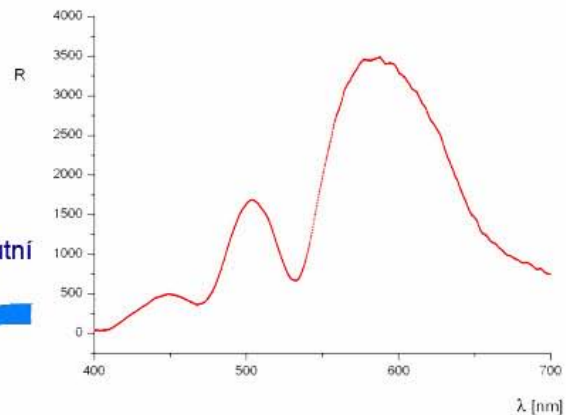
Reference

# Princip získání odrazivosti

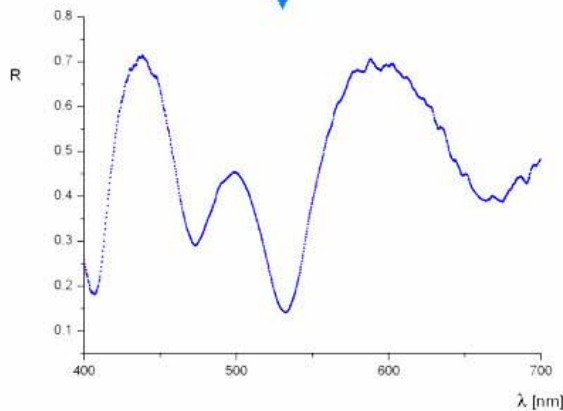
Měření spektra reference



Měření tenké vrstvy



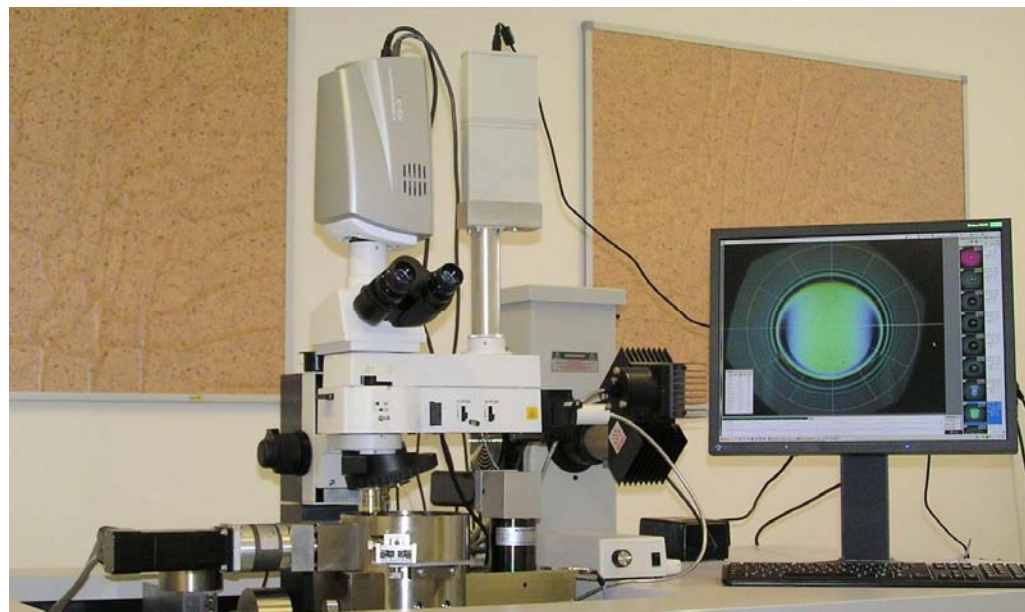
výpočet absolutní odrazivosti



Vyhodnocení dat vhodným fitovacím programem

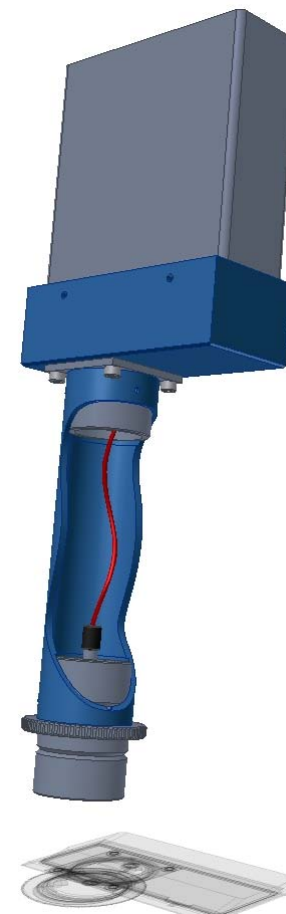
# Úprava stávající měřicí aparatury

- **Zdroj** - halogenová žárovka
- **Optická sestava** - mikroskop NIKON Optiphot 150 s telecentrickým objektivem.
- **Třecí povrchy** - ocelová koule o průměru 25,4 mm, skleněný disk o průměru 150 mm
- **Detektor** - vláknový spektrometr OceanOptics s lineárním CCD čipem



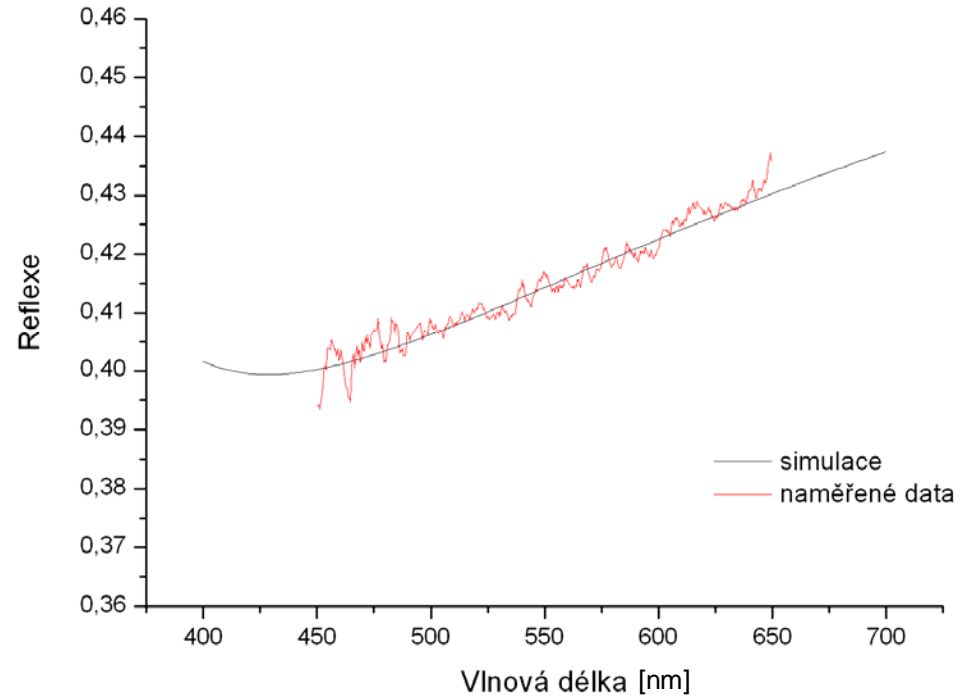
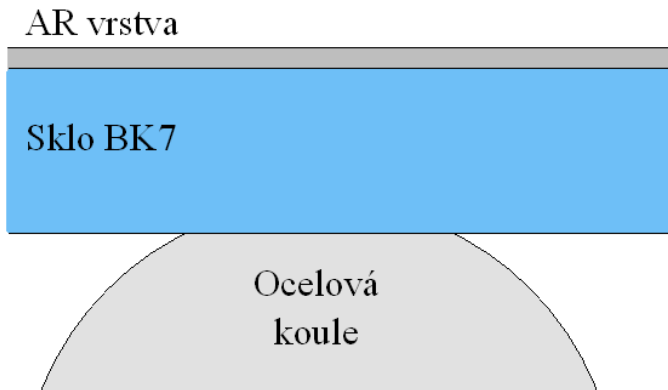
# Úprava stávající měřicí aparatury

- **Zdroj** - halogenová žárovka
- **Optická sestava** - mikroskop NIKON Optiphot 150 s telecentrickým objektivem.
- **Třecí povrchy** - ocelová koule o průměru 25,4 mm, skleněný disk o průměru 150 mm
- **Detektor** - vláknový spektrometr OceanOptics s lineárním CCD čipem



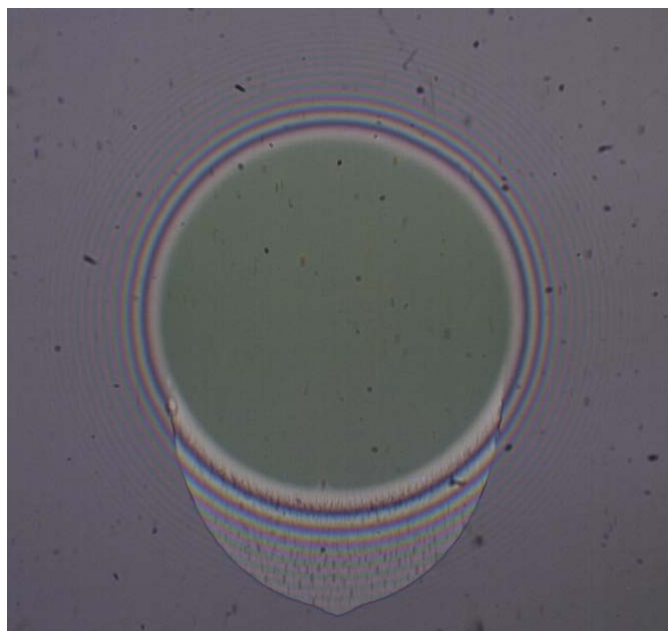
## Ověření optických parametrů modelu

- Získání indexu lomu a indexu absorpce pro ocelovou kouli (podložka).
- Jejich ověření v suchém kontaktu.

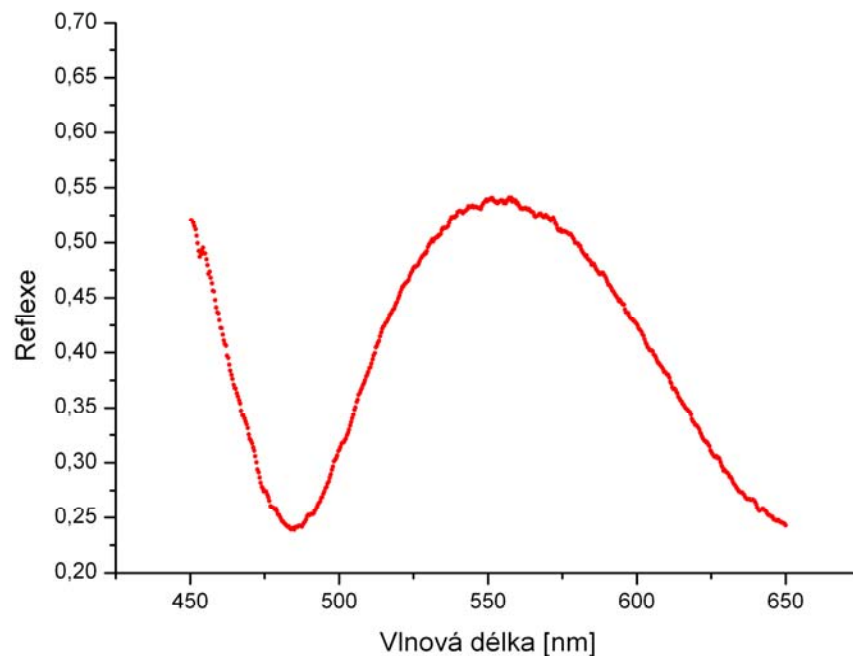


**Olej:** minerální olej s označením H.P.O. 200.

**Rychlost třecích povrchů:** 0,0027 m/s.



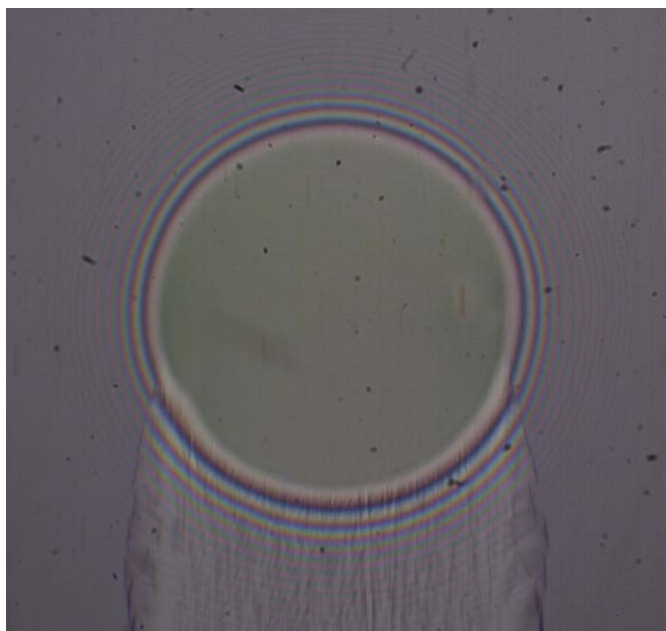
*Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.*



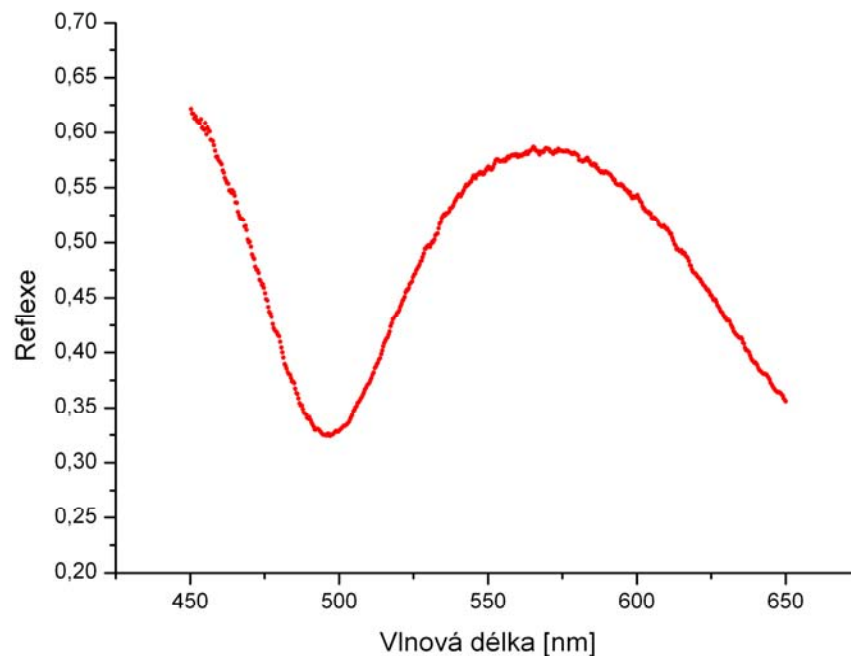
*Absolutní odrazivost ve středu kontaktu*

**Olej:** minerální olej s označením H.P.O. 200.

**Rychlost třecích povrchů:** 0,0133 m/s.



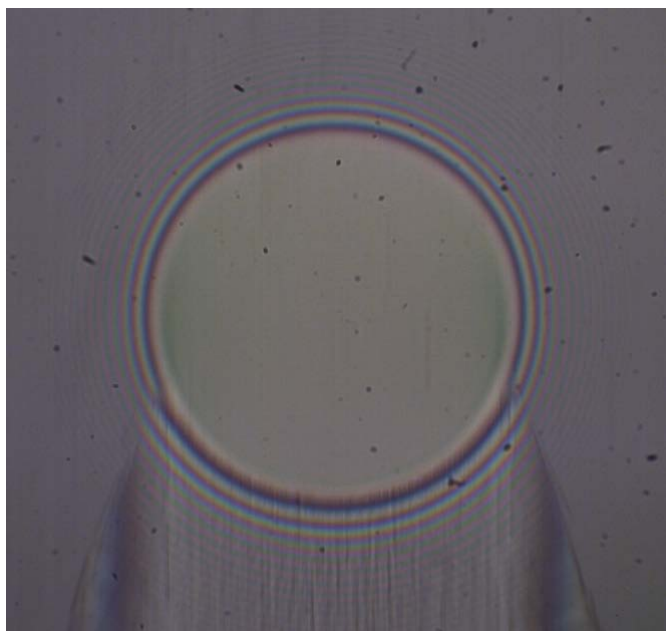
*Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.*



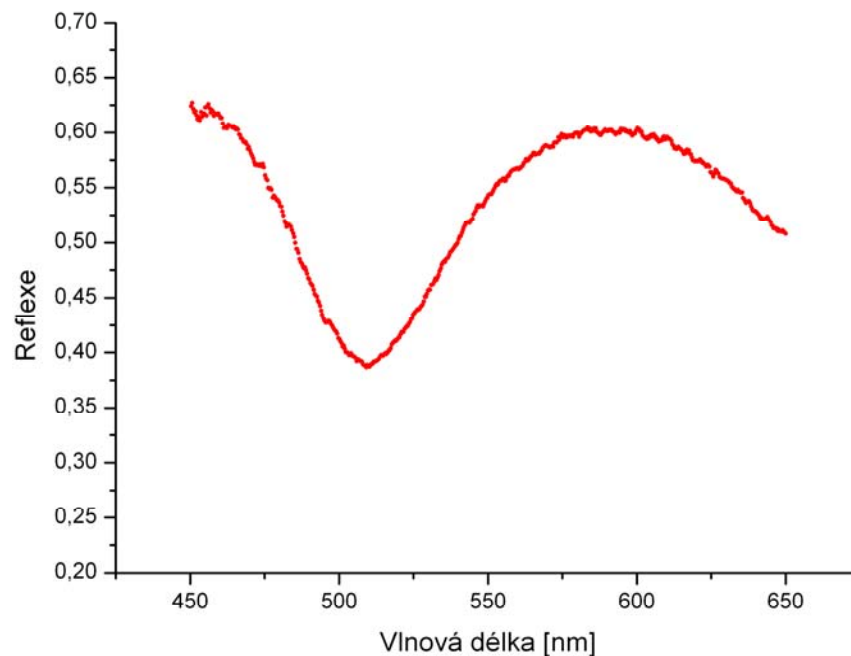
*Absolutní odrazivost ve středu kontaktu*

**Olej:** minerální olej s označením H.P.O. 200.

**Rychlost třecích povrchů:** 0,0332 m/s.



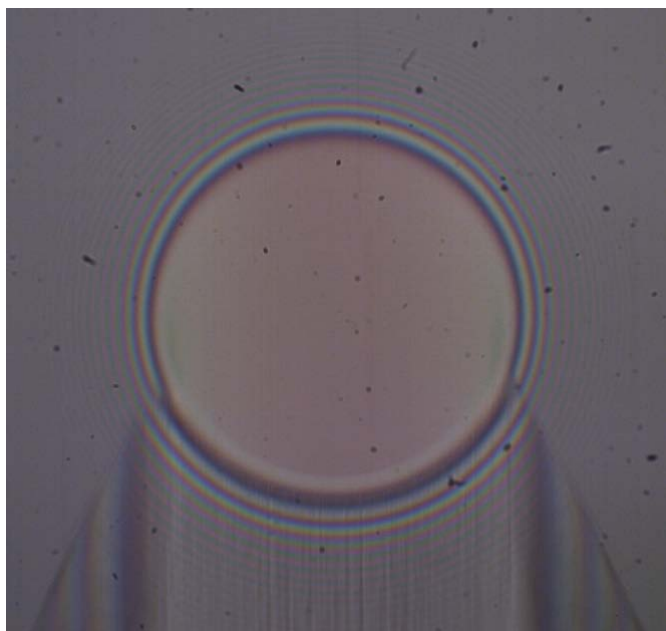
*Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.*



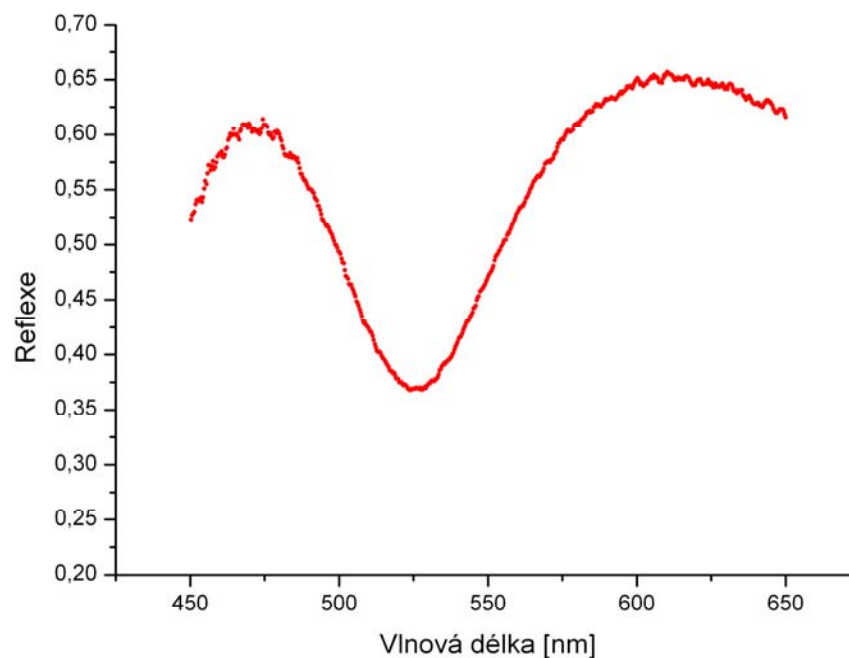
*Absolutní odrazivost ve středu kontaktu*

**Olej:** minerální olej s označením H.P.O. 200.

**Rychlost třecích povrchů:** 0,0665 m/s.



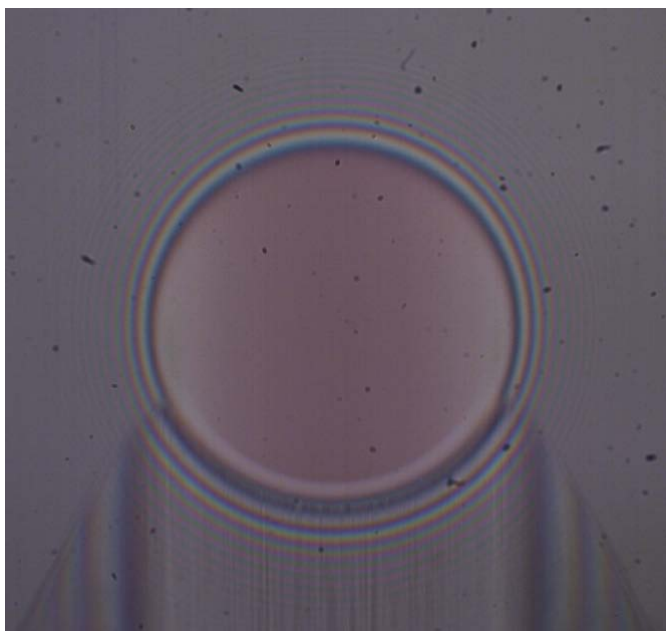
*Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.*



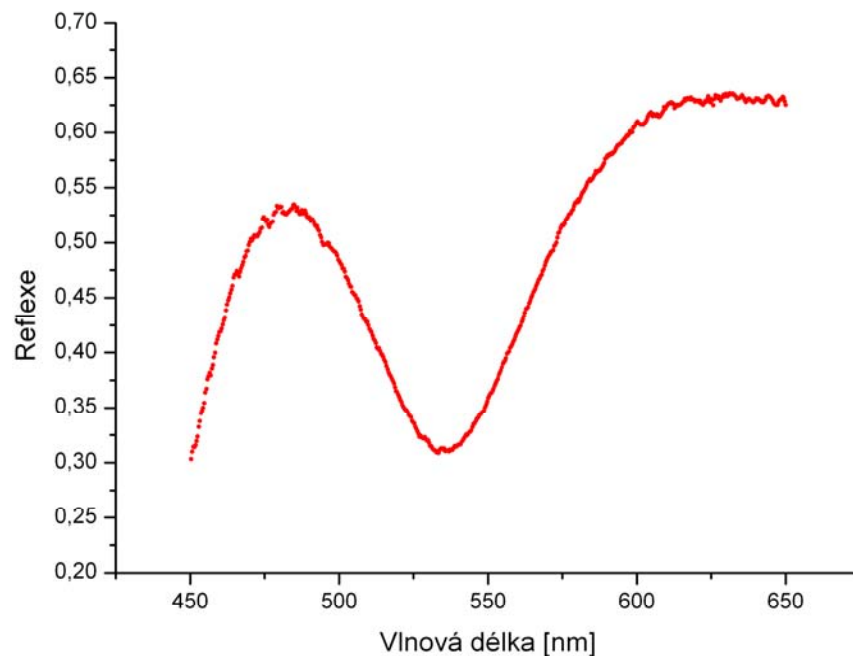
*Absolutní odrazivost ve středu kontaktu*

**Olej:** minerální olej s označením H.P.O. 200.

**Rychlost třecích povrchů:** 0,133 m/s.

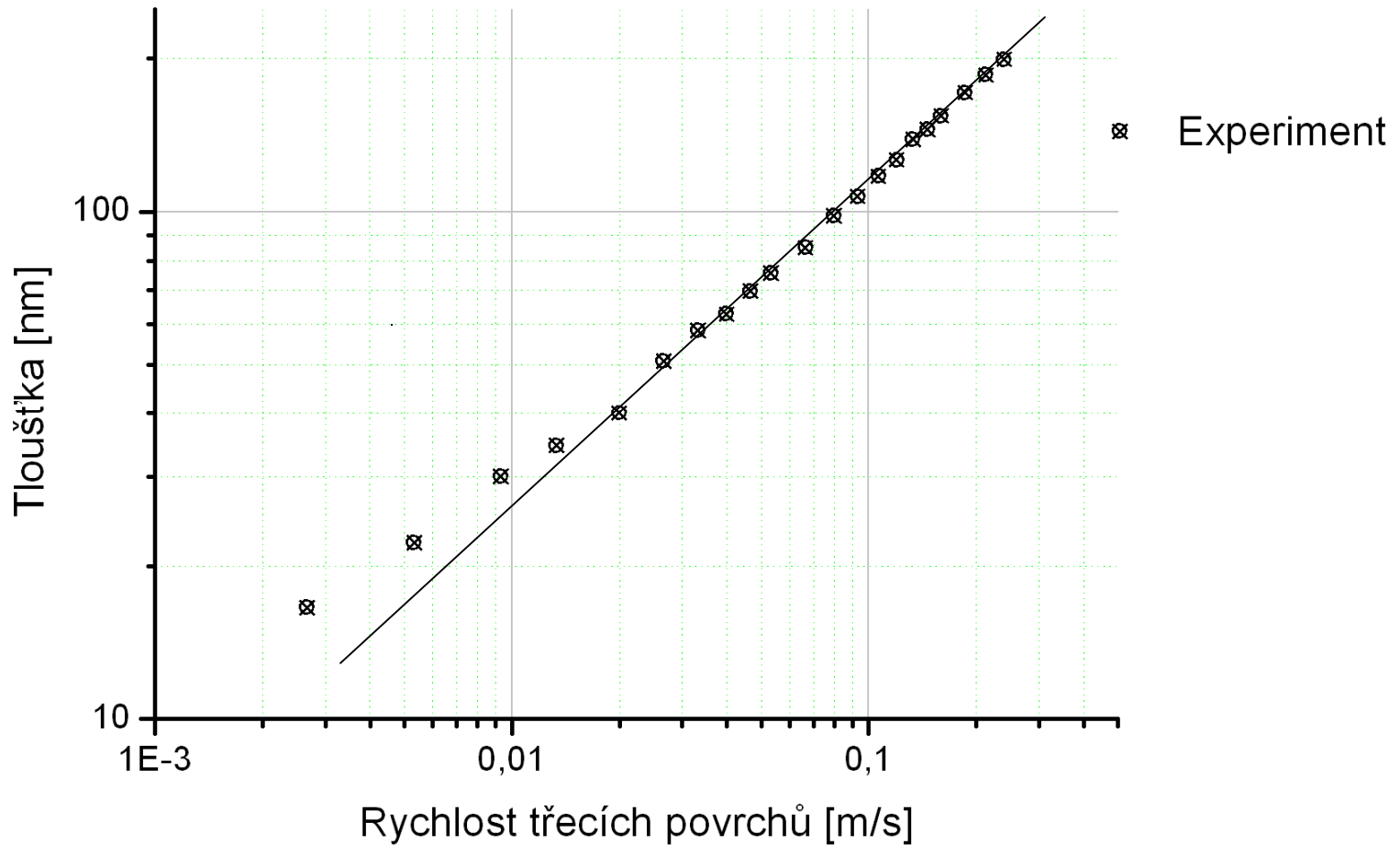


*Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.*



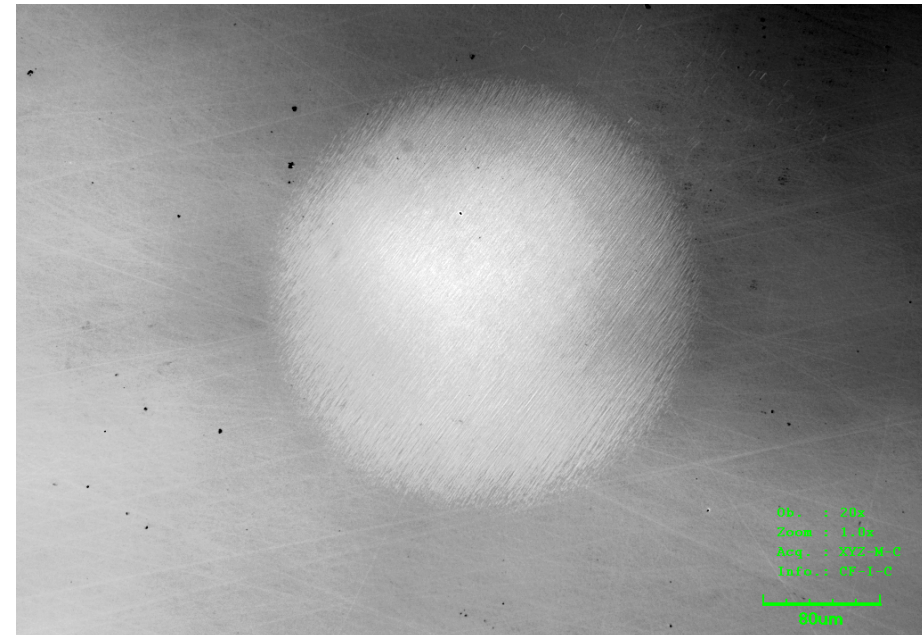
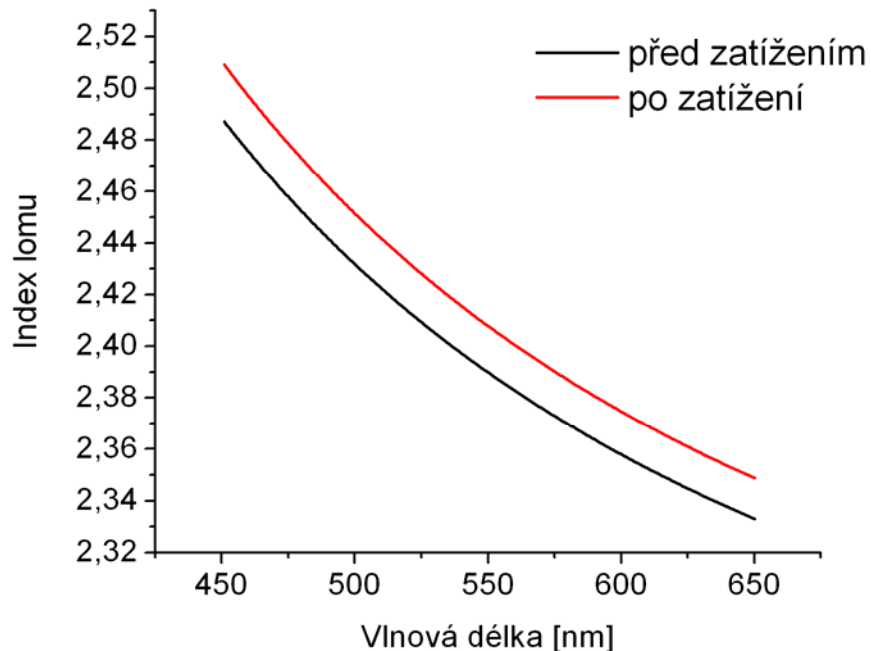
*Absolutní odrazivost ve středu kontaktu*

Získaná závislosti tloušťky olejového filmu H.P.O. 200 na rychlosti třecích povrchů při čistém valení spektroskopickou reflektometrií.



## Vliv tlaku na tenkou vrstvu

- Model tvořený soustavou SKLO(BK7)-TiO<sub>2</sub>(300 nm)-OLEJ-OCEL.
- Parametry tenké vrstvy TiO<sub>2</sub> před zatížením:  $n=2.19+(60450/\lambda^2)$ ,  $d=298$  nm.
- Parametry tenké vrstvy TiO<sub>2</sub> po zatížení:  $n=2.20+(62870/\lambda^2)$ ,  $d=294,3$  nm.



# Závěr

- Metody používané v současnosti jsou komparativní.
- Dosavadní výsledky ukazují na možnost použití spektroskopické reflektometrie při studiu chování mazacího filmu.
- Možnost využití této metody i pro měření jiných parametrů než centrální tloušťky mazacího filmu

**Děkuji za pozornost**

# Reference

- **Gustafsson, L., Hoeglund, E. and Marklund, O.** Measuring lubricant film thickness with image analysis. Proc. Instn. Mech. Engrs, Part J, Journal of Engineering Tribology, 1994, 208(J3), 199-205.
- **Hartl, M., Křupka, I. and Liška, M.** Differential colorimetry: tools for evaluation of chromatic interference patterns. Opt. Engng, 1997, 36, 1-8.
- **Cann, P. H., Hutchinson, J. and Spikes, H. A.** The development of a spacer layer imaging method (SLIM) for mapping elasto-hydrodynamic contacts. Tribology Trans., 1996, 39, 915-921.
- **LUO, J.; WEN, S.; HUANG, P.** Thin film lubrication Part I: Study on the transition between EHL and thin film lubrication using a relative optical interference technique. 1996, Wear, vol. 194, s.107–115.
- **Guo, F., Wong, P., L., A.** Multi-beam intensity-based approach for lubricant film measurements in non-conformal contacts. Proceeding Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 216, s. 281-291.
- **Johnston, G. J., Wayte, R., Spikes, H. A.** The measurement and study of very thin lubricant films in concentrated contacts. Tribology Transactions, 1991, vol. 34, s. 187–194.
- **Glovnea, R. P., Forrest, A. K., Olver, A. V., Spikes, H. A.** Measurement of sub-nanometer lubricant films using ultra-thin film interferometry. Tribology letters, 2003, Vol. 15, s. 217-230
- **Tompkins, H. G., Mcgahan, W. A.** Spectroscopic ellipsometry and reflectometry: a user's guide, John Willey & Sons, New York, 1999.