Studium tenkých mazacích filmů spektroskopickou reflektrometrií

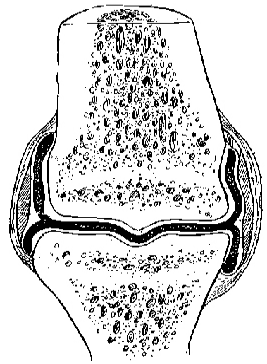
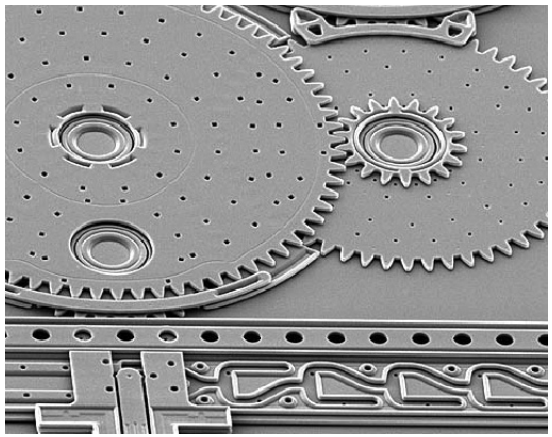
Pojednání ke státní doktorské zkoušce.

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

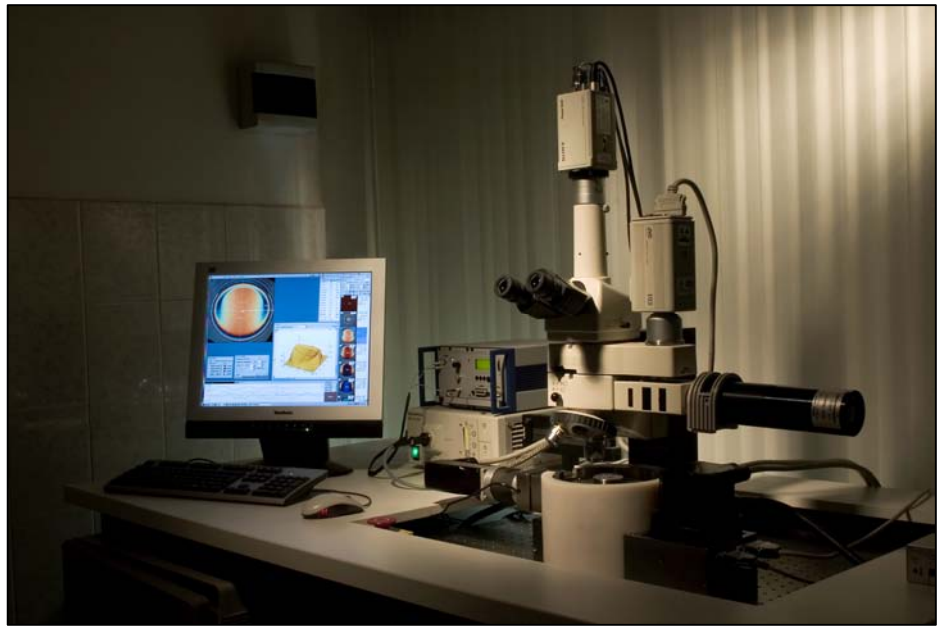
Vlivem nedostatečného nebo špatného mazání dochází často ke zvýšenému opotřebení a ztrátám vlivem tření.

Optické měřicí metody

- Metody založené na digitalizaci a analýze interferogramů:
  - chromatická interferometrie[1,2,3],
  - ROII[4,5].

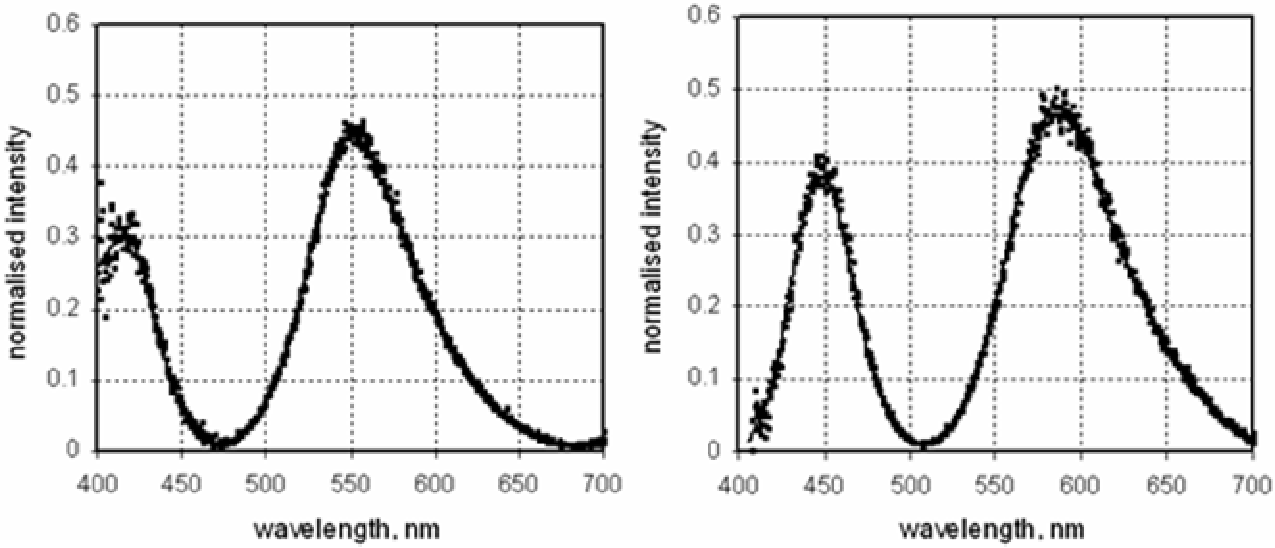
- Metody založené na principu spektrální analýzy:
  - metoda posunutí píku[6].



1. 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.
2. Hartl, M., Křupka, I. and Liška, M. Differential colorimetry: tools for evaluation of chromatic interference patterns. Opt. Engng, 1997, 36, 1-8.
3. Cann, P. H., Hutchinson, J. and Spikes, H. A. The development of a spacer layer imaging method (SLIM) for mapping elastohydrodynamic contacts. Tribology Trans., 1996, 39, 915-921
4. 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.
5. 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
6. 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.

Metoda posunutí píku

- Měřicí technika využívající proužky stejného chromatického řádu (FECO).
- Tloušťka mazacího filmu je vyhodnocována na základě posunutí interferenčního maxima.



$$h = \frac{(N - f)\Delta l}{2n}$$

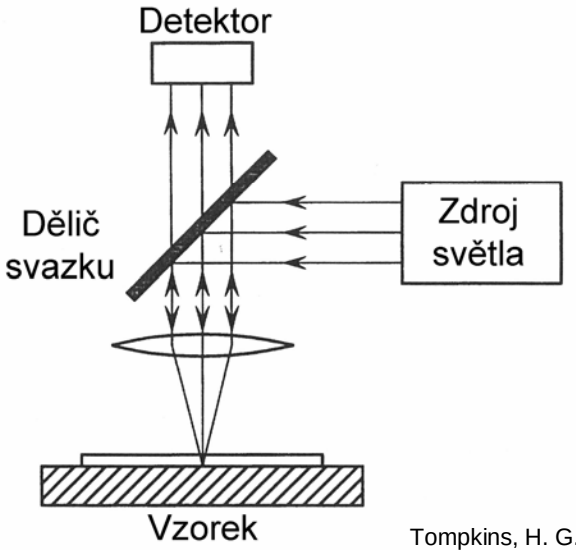
HARTL, M., KŘUPKA, I., LIŠKA, M. Experimental study of boundary layers formation in concentred contacts. In: Boundary and mixed lubrication: Sience and application (Proceedings of the 28th Leeds-Lyon symphosyum on tribology). Amsterdam, Elsevier sience B. V. 2002, s. 413-421

Spektroskopická reflektometrie

- Měření odraženého světla jako spektrální závislost.

- Matematický model založen na *fresnelových koeficientech* popisujících odrazivost na optických rozhraních.

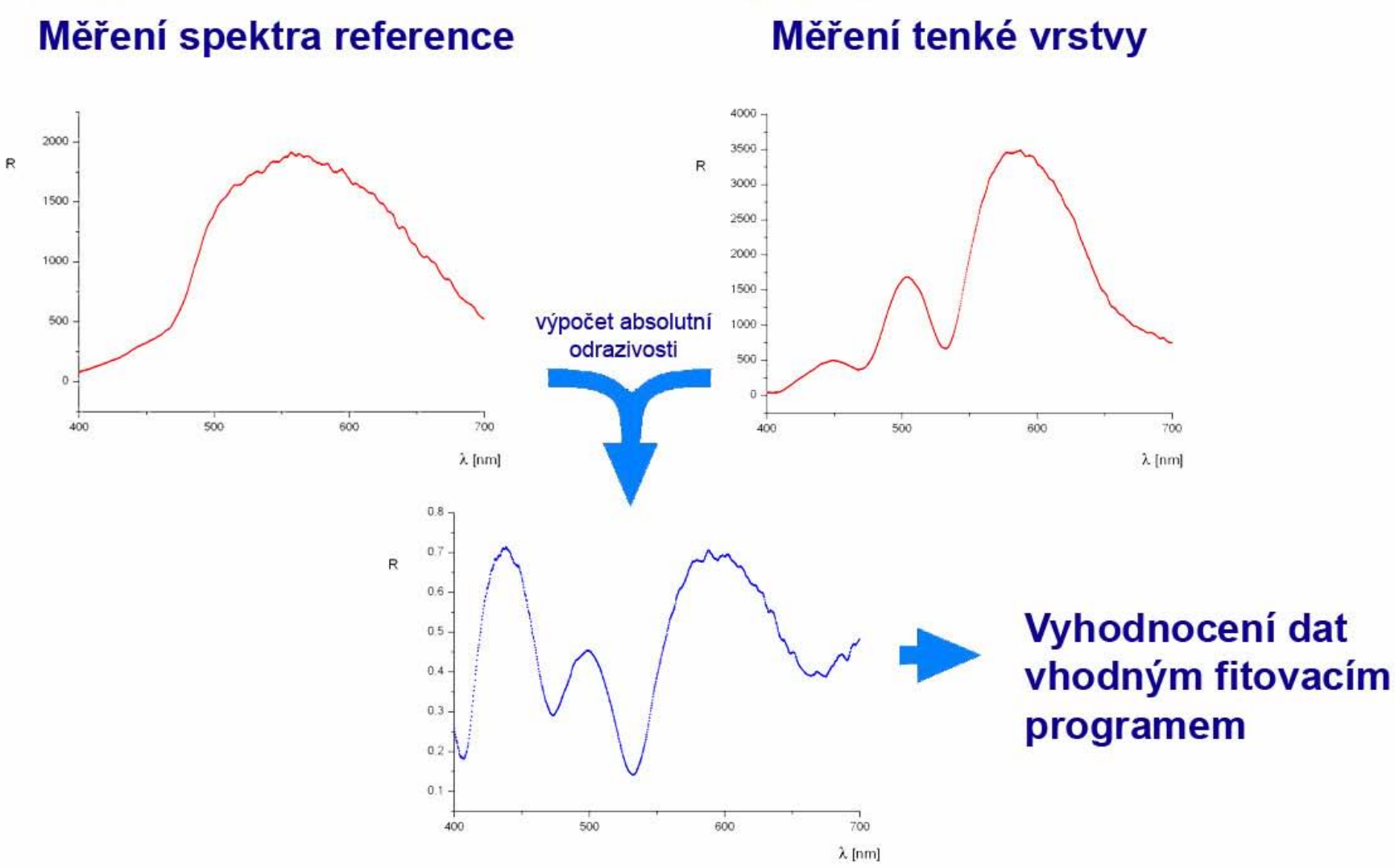
- Získání hledaných optických parametrů – tloušťky a případně indexu lomu a absorpce – pomocí optimalizace metodu nejmenších čtverců.



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

Tompkins, H. G., McGahan, W. A. Spectroscopic ellipsometry and reflectometry: a user's guide, John Willey & Sons, New York, 1999.

Princip získání odrazivosti

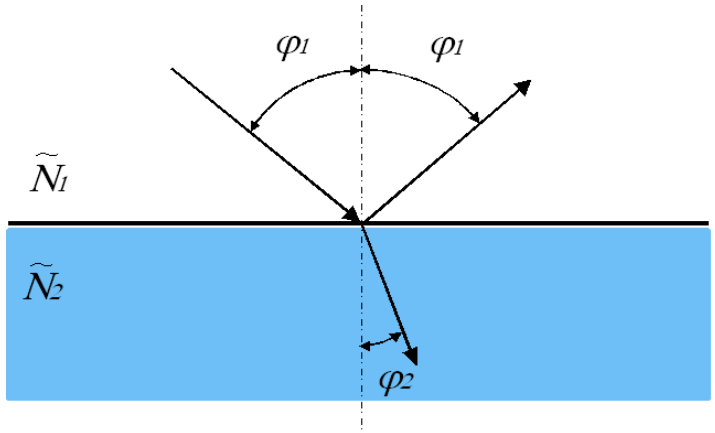


Matematický model

$$r_{12}^{p} = \frac{\tilde{N}_2 \cos j_1 - \tilde{N}_1 \cos j_2}{\tilde{N}_2 \cos j_1 + \tilde{N}_1 \cos j_2}$$

$$r_{12}^{s} = \frac{\tilde{N}_1 \cos j_1 - \tilde{N}_2 \cos j_2}{\tilde{N}_1 \cos j_1 + \tilde{N}_2 \cos j_2}$$

$$\tilde{N} = n - ik$$



$$r^{p} = \frac{q_a^p m_{11} - q_s^p m_{22} + q_a^p q_s^p m_{12} - m_{21}}{q_a^p m_{11} + q_s^p m_{22} + q_a^p q_s^p m_{12} + m_{21}}$$

$$r^{s} = \frac{q_a^s m_{11} - q_s^s m_{22} + q_a^s q_s^s m_{12} - m_{21}}{q_a^s m_{11} + q_s^s m_{22} + q_a^s q_s^s m_{12} + m_{21}}$$

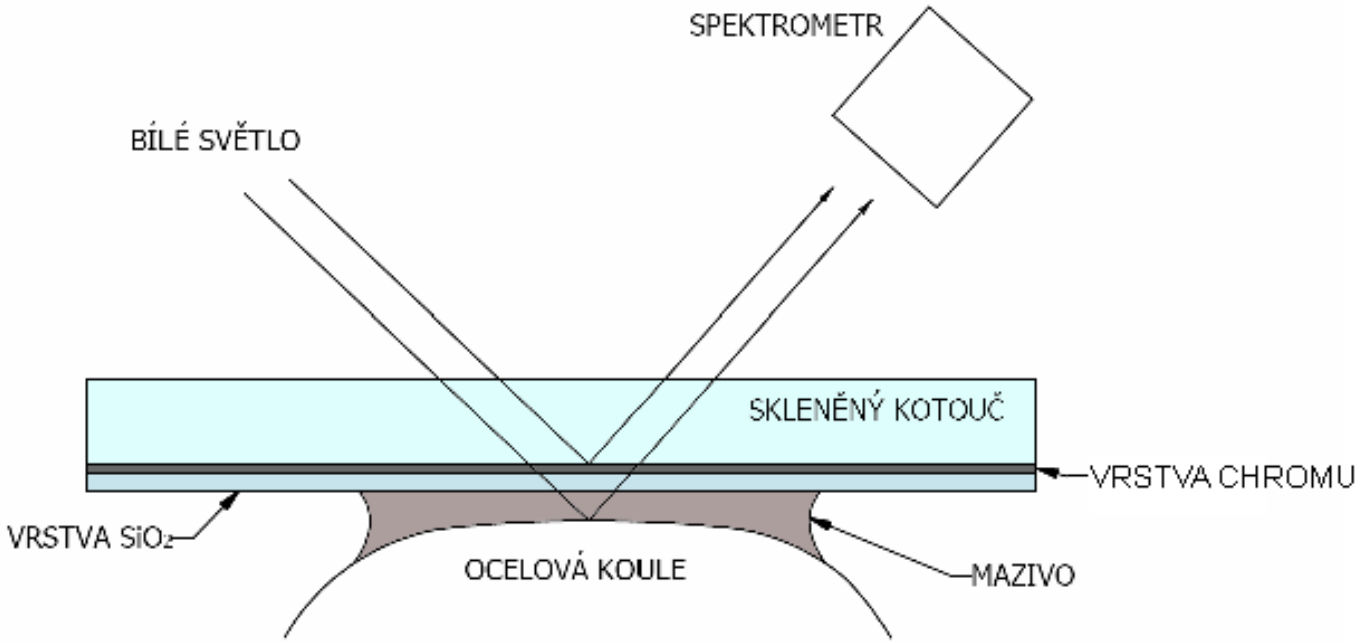
$$S = \sum_{i=1}^{m} \left(y_i - y(\bar{x}, \bar{a}) \right)^2$$

$\bar{x}$ - vektor známých parametrů modelu

$\bar{a}$ - vektor parametrů modelu, variabilních při optimalizaci

Dosavadní aplikace metody pro měření mazacích filmů

- Použití vrstvy chromu jako polopropustné vrstvy.
- Použití mezivrstvy SiO_2 pro zdánlivé zvětšení tloušťky mazacího filmu.



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

Dosavadní aplikace metody pro měření mazacích filmů

- Vyhodnocování ***relativní*** odrazivosti.
- Jako reference použitý systém SKLO-CHROM-SiO_2-OCEL.

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

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

Cíle disertační práce

Vývoj měřicí metody založené na spektroskopické reflektometrii a její aplikace na měření tloušťky EHD a mezných mazacích filmů.

• *Úprava stávající aparatury pro měření spektra odraženého světla z mazaného kontaktu.*

• Nalezení vhodného optického designu.

• *Ověření materiálových konstant a vlastností jednotlivých prvků tvořících optický systém.*

• Nalezení vhodného programového vybavení pro vyhodnocování naměřených dat.

• *Ověření funkčnosti metody na suchém statickém kontaktu.*

• Verifikace měřící metody v mazaném kontaktu za různých provozních podmínek pomocí srovnání s kolorimetrickou interferometrií a numerickými modely.

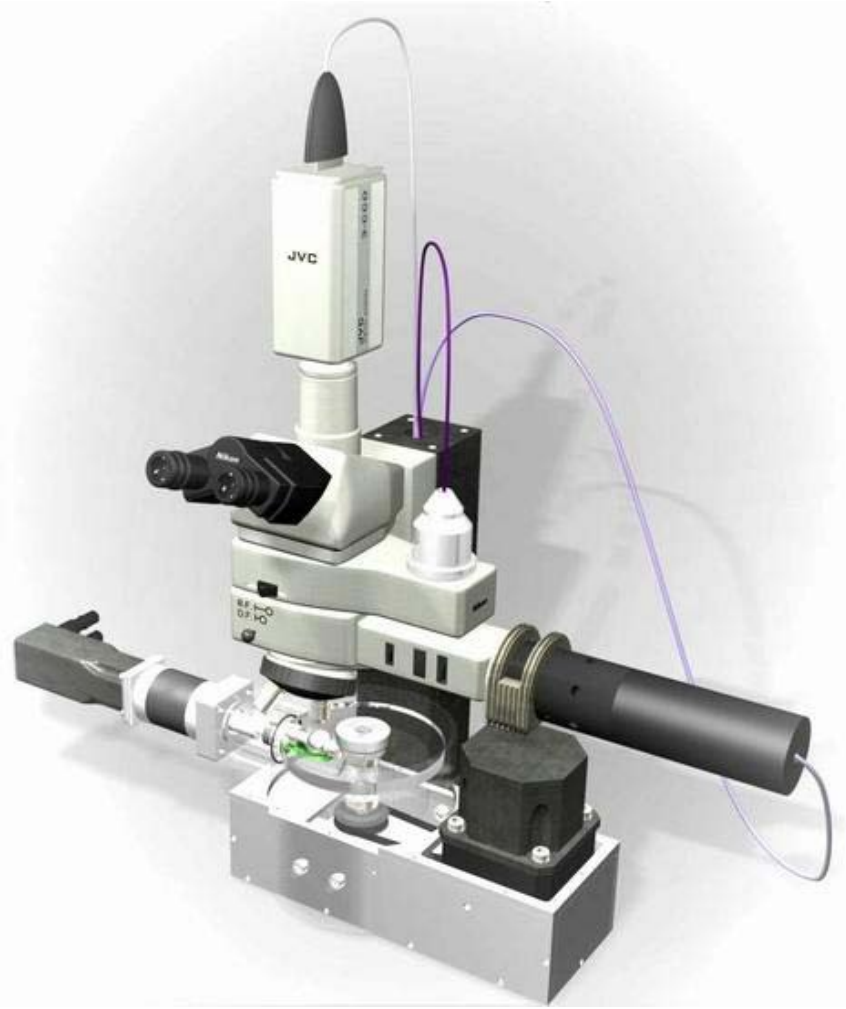
Úprava stávající měřicí aparatury

- **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



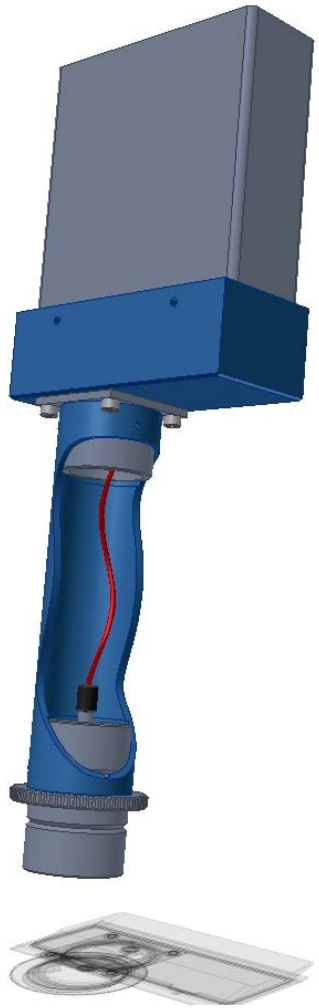
Úprava stávající měřicí aparatury

- **Zdroj** - halogenová žárovka

- **Optická sestava** - mikroskop NIKON Optiphot 150 s telecentrickým objektivem.

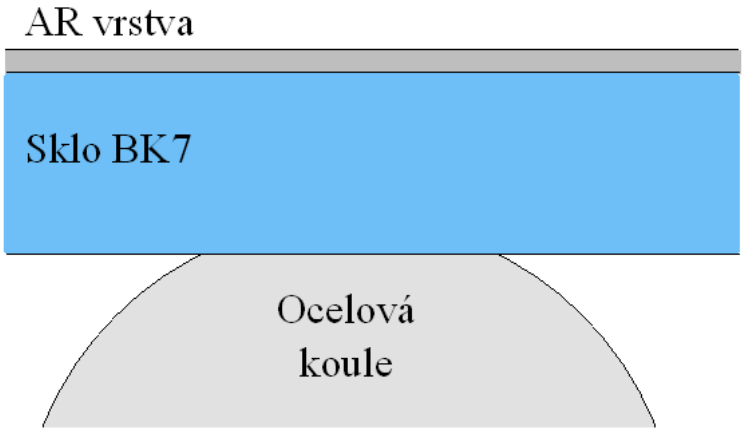
- **Třecí povrchy** - ocelová koule o průměru 25,4 mm, skleněný disk o průměru 150 mm

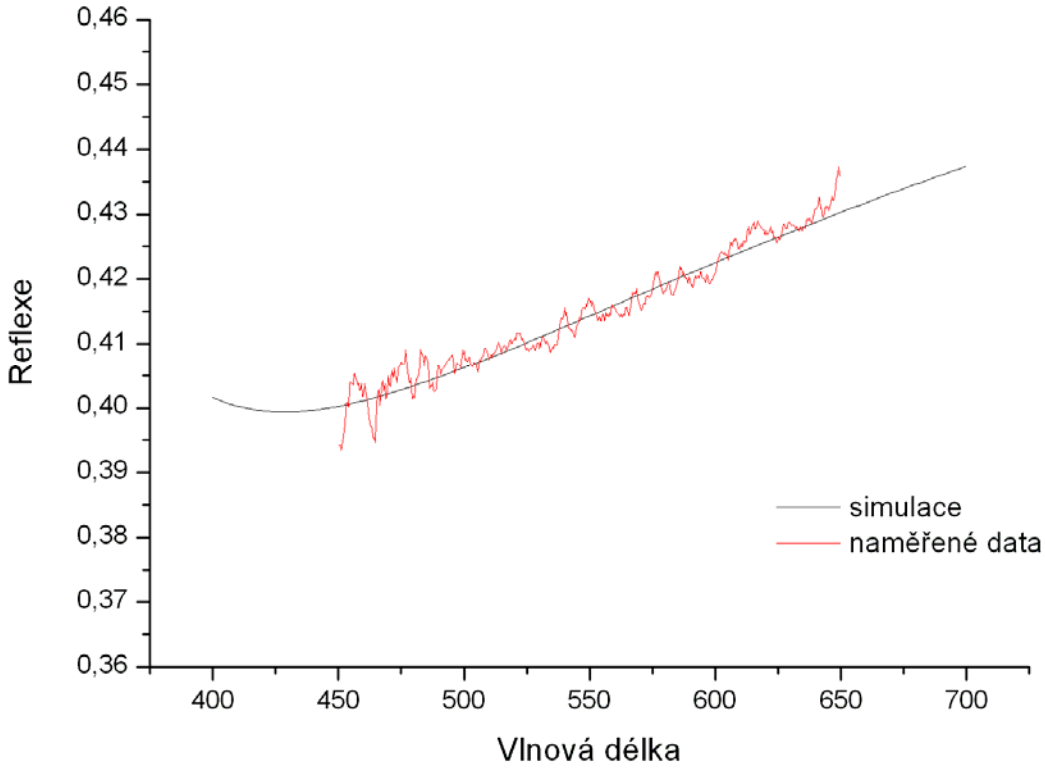
- **Detektor** - vláknový spektrometr OceanOptics s lineárním CCD čipem



Ověření optických parametrů modelu

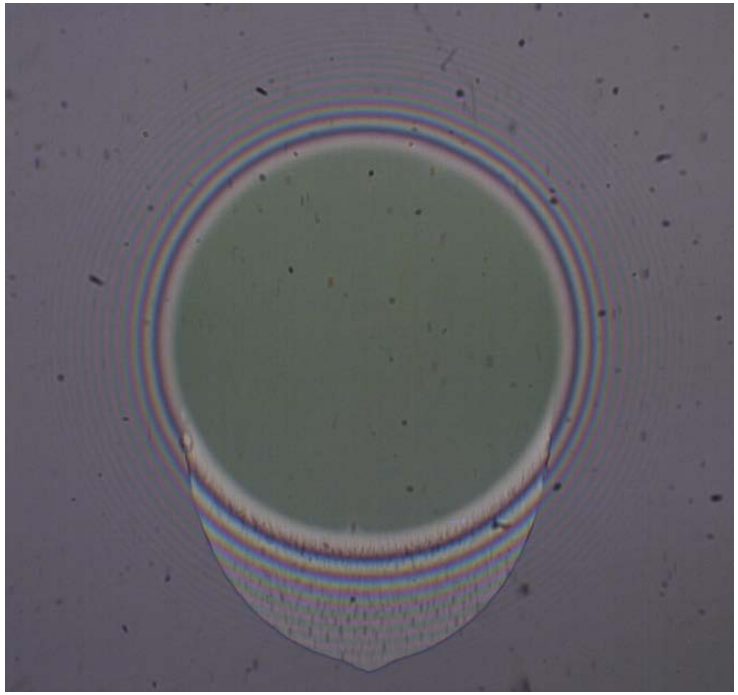
- Získání indexu lomu a indexu absorpce pro ocelovou kouli (podložka).
- Jejich ověření v suchém kontaktu.



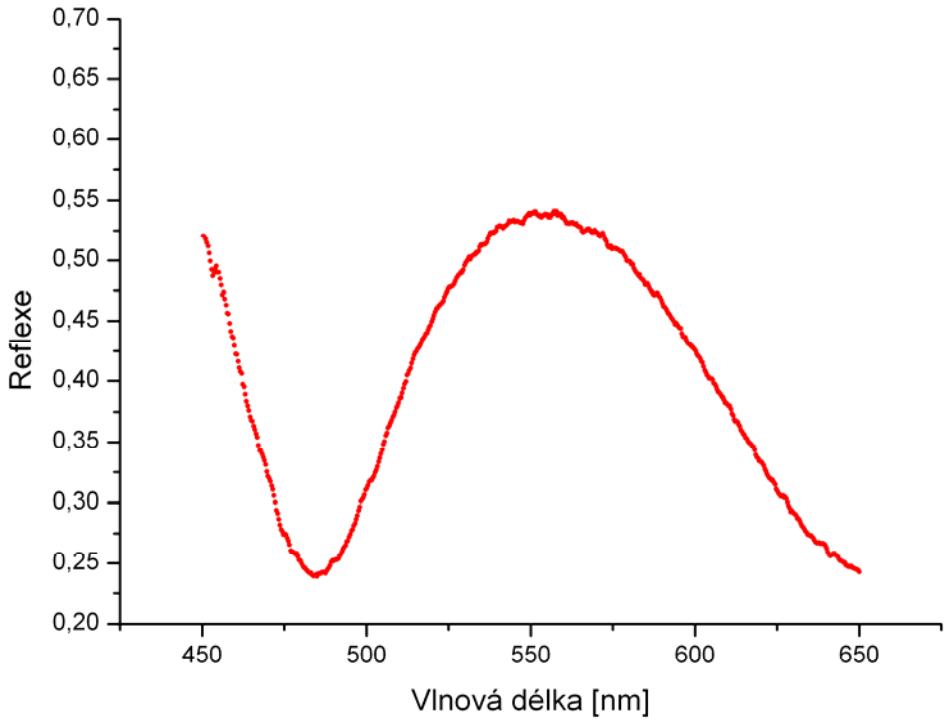


Olej: minerální olej s označením H.P.O. 200.

Rychlost třecích povrchů: 0,0027 m/s.



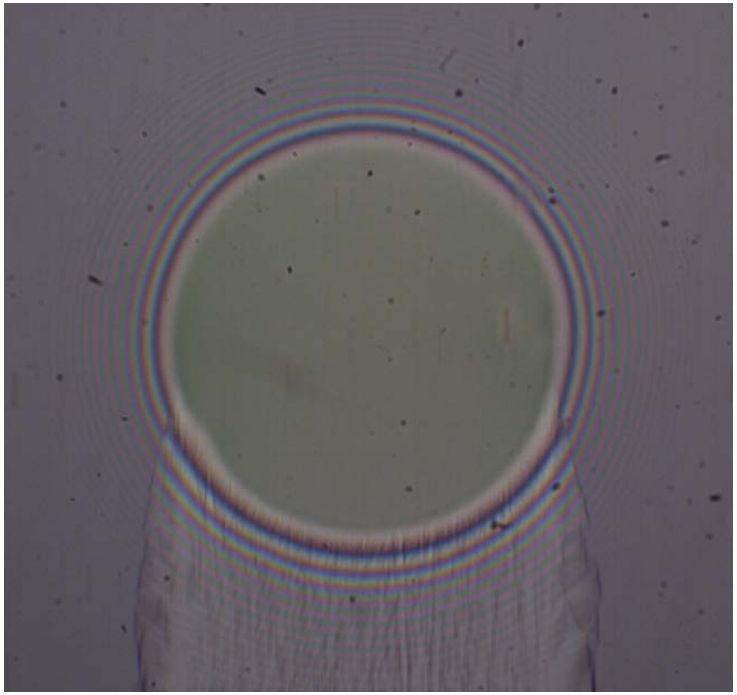
Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.



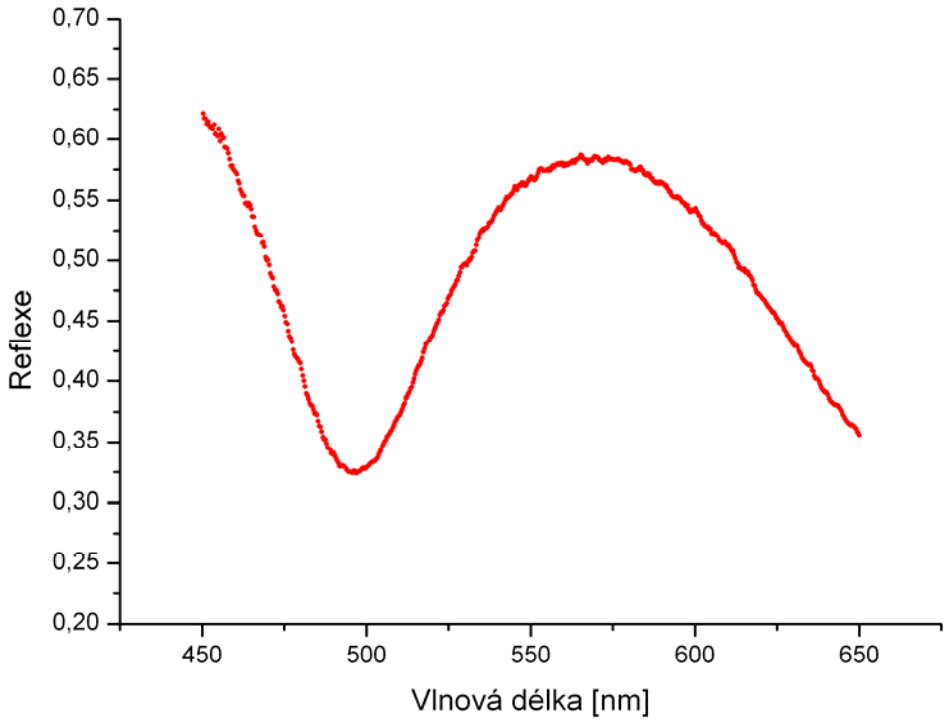
Absolutní odrazivost ve středu kontaktu

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

Rychlost třecích povrchů: 0,0133 m/s.



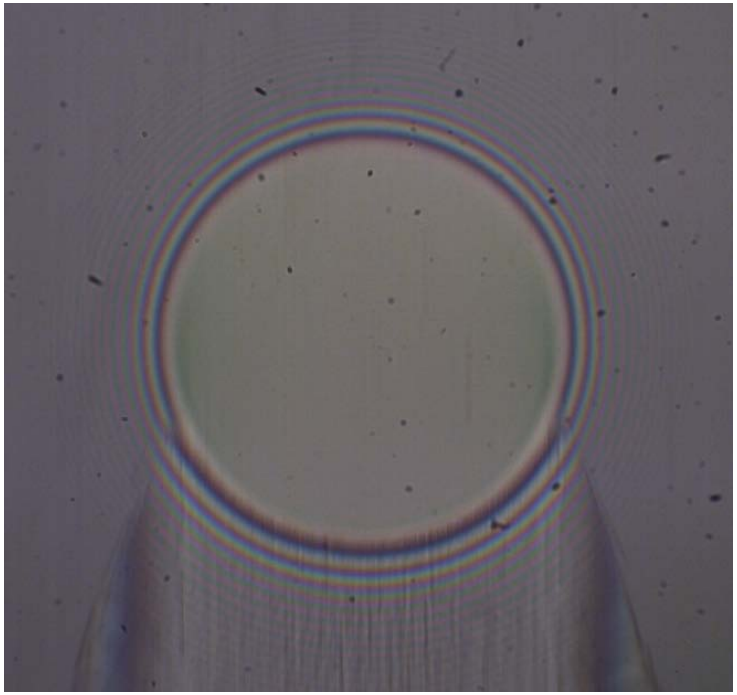
Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.



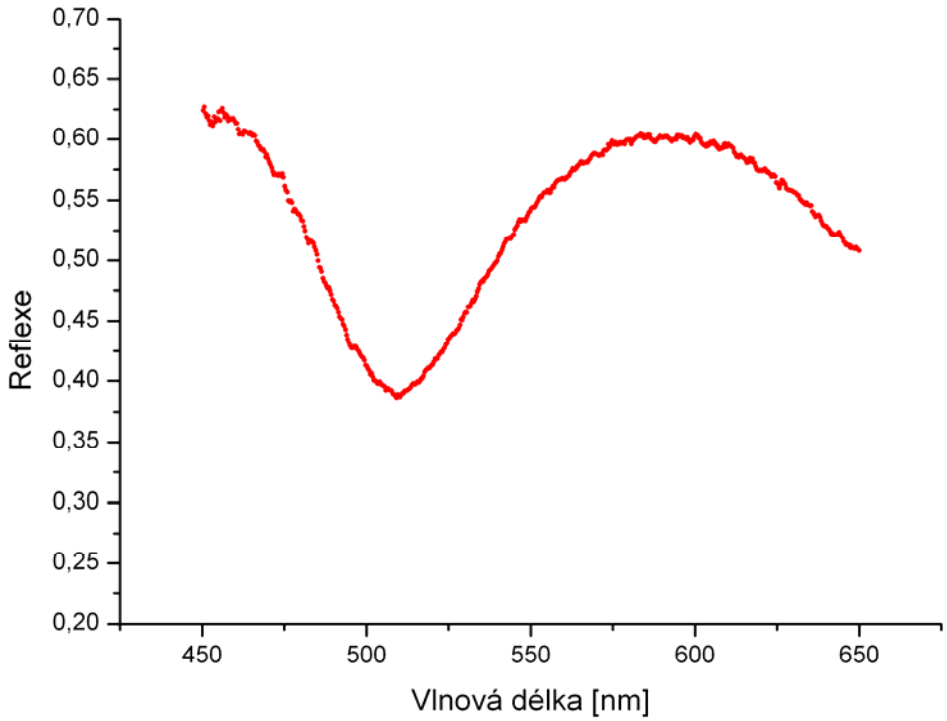
Absolutní odrazivost ve středu kontaktu

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

Rychlost třecích povrchů: 0,0332 m/s.



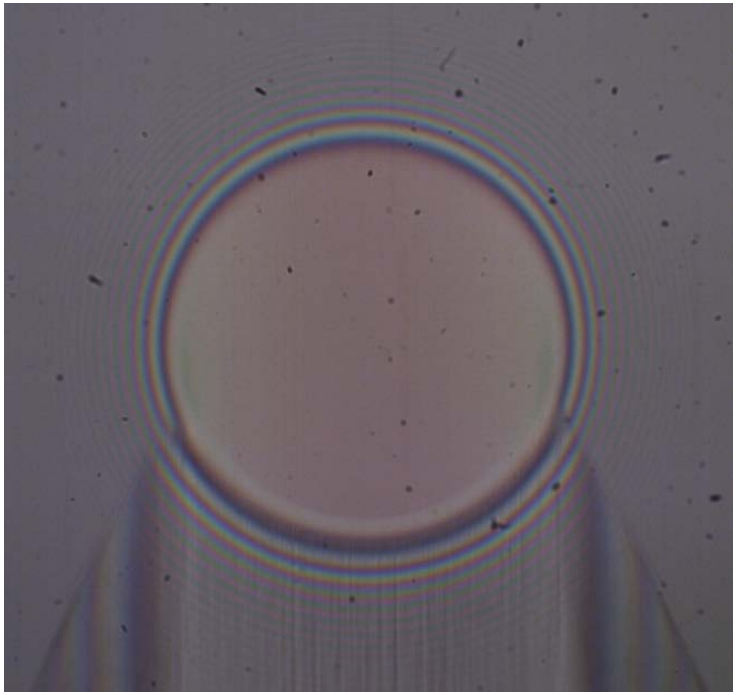
Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.



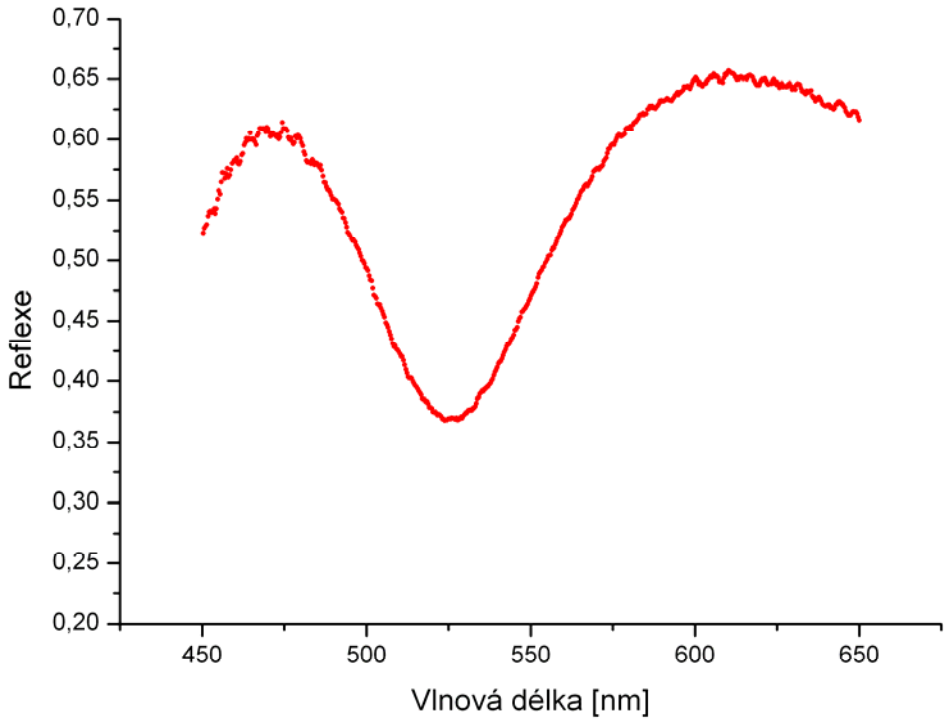
Absolutní odrazivost ve středu kontaktu

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

Rychlost třecích povrchů: 0,0665 m/s.



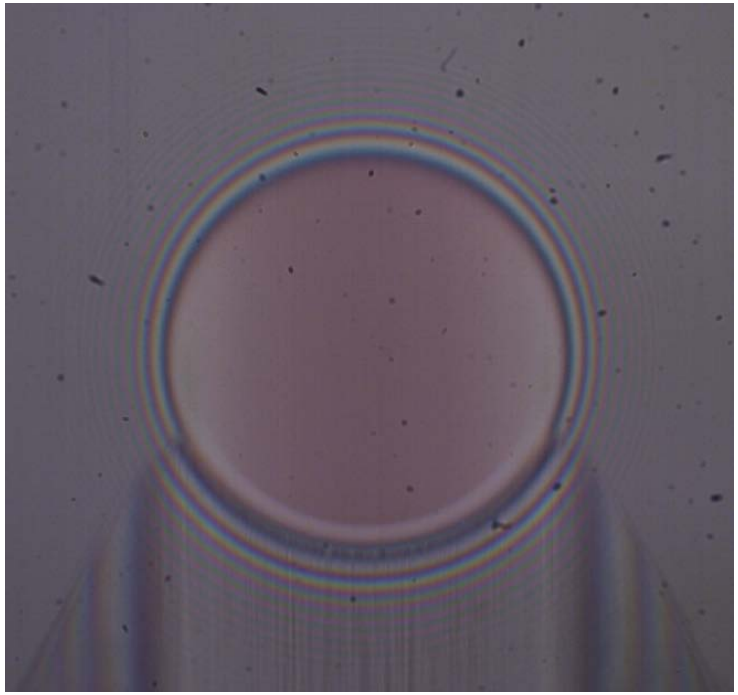
Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.



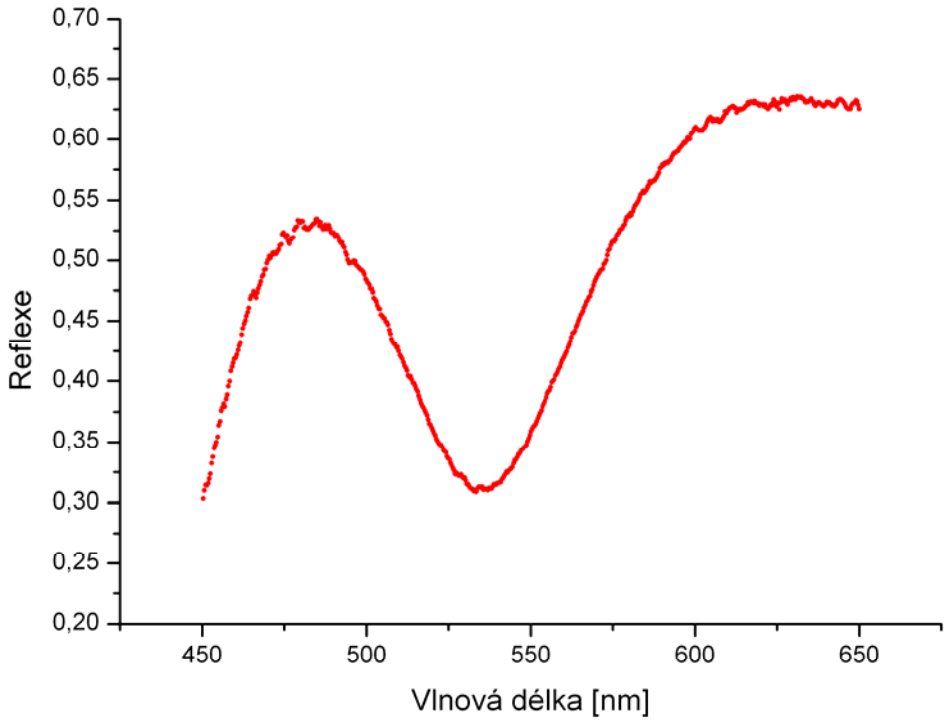
Absolutní odrazivost ve středu kontaktu

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

Rychlost třecích povrchů: 0,133 m/s.

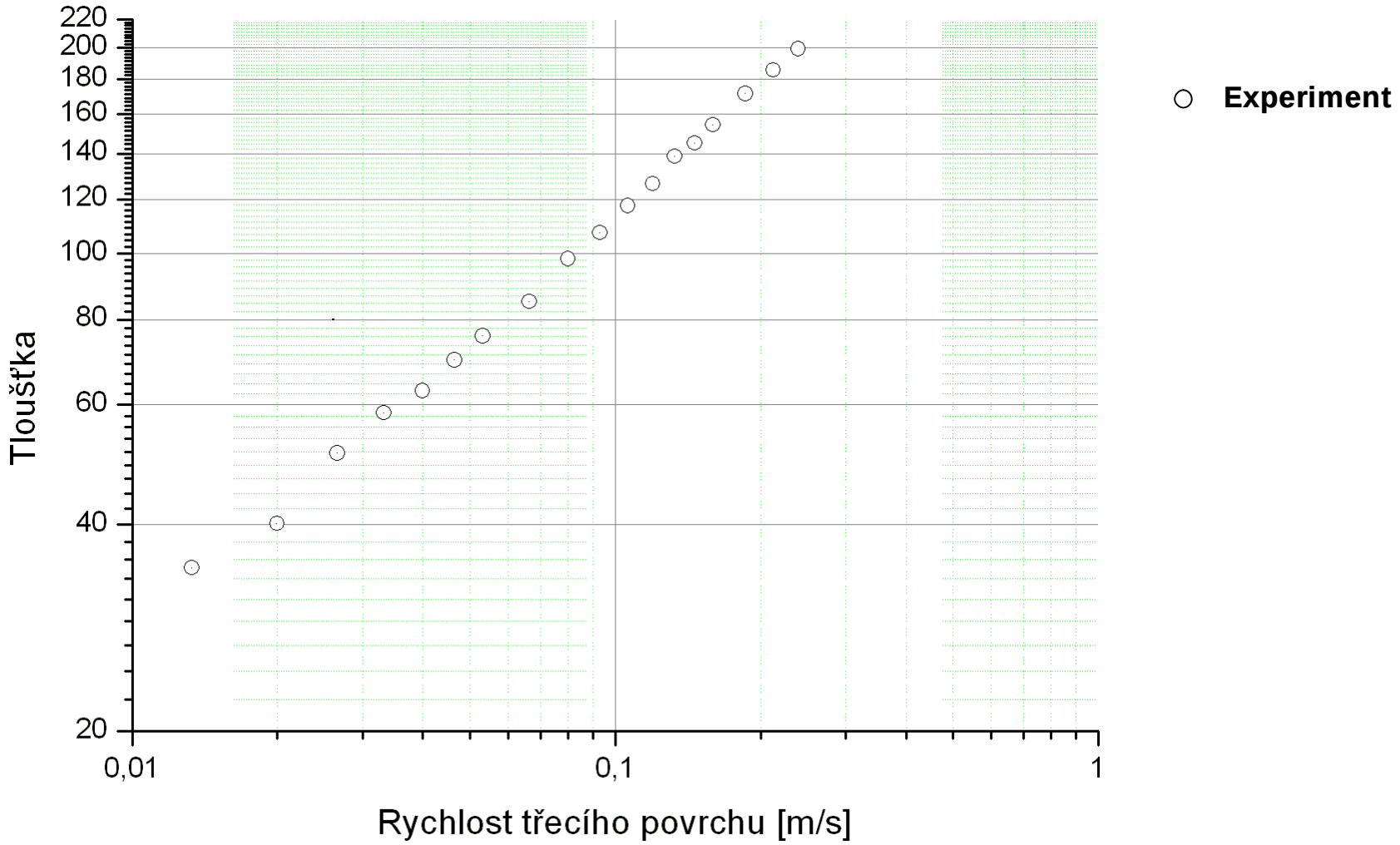


Snímek kontaktu ocelové kuličky s diskem.



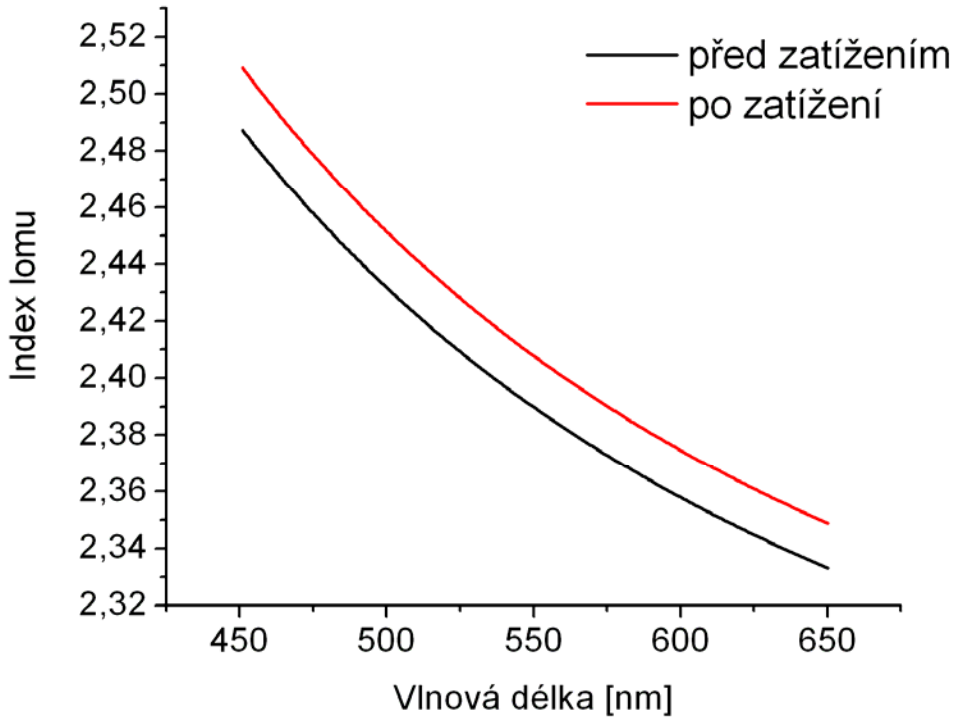
Absolutní odrazivost ve středu kontaktu

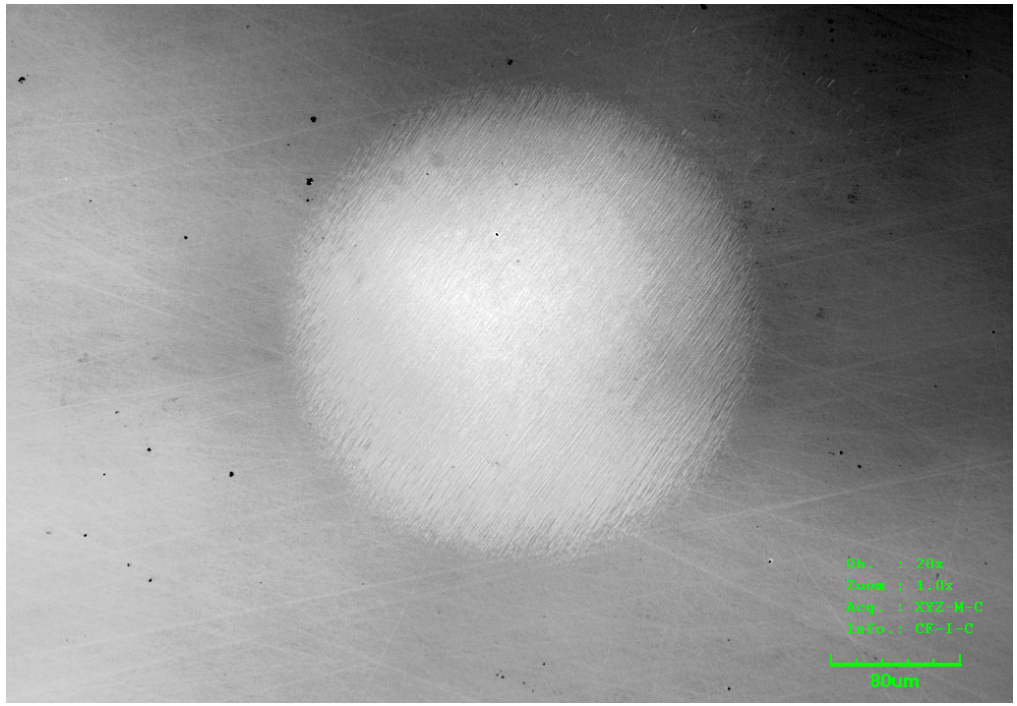
Získaná závislosti tloušťky olejového filmu H.P.O. 200 na rychlosti třecích povrchů při čistém valení spektroskopickou reflektometrií.



Vliv tlaku na tenkou vrstvu

- Model tvořený soustavou SKLO(BK7)-TiO_2(300 nm)-OLEJ-OCEL.
- Parametry tenké vrstvy TiO_2 před zatížením: n=2.19+(60450/l^2), d=298 nm.
- Parametry tenké vrstvy TiO_2 po zatížení: n=2.20+(62870/l^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