



Ústav fyzikálního inženýrství
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně

Aplikace barevného vidění ve studiu elastohydrodynamického mazání

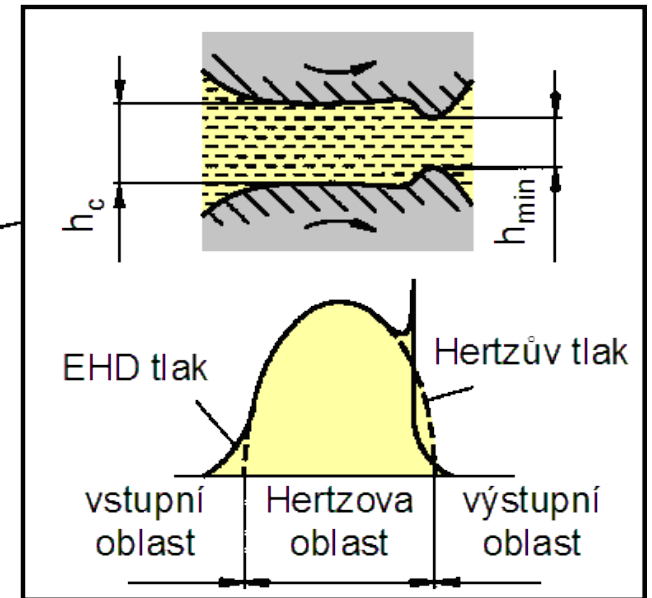
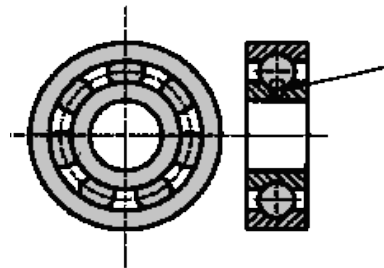
Ing. Radek Poliščuk

Cíle disertační práce

- Vývoj kolorimetrické metody pro vyhodnocování chromatických interferogramů elastohydrodynamicky mazaných kontaktů
 - ▶ Rozbor současných přístupů
 - ▶ Výběr barevného prostoru a vhodné diferenční formule
 - ▶ Softwarová implementace metody
 - ▶ Ověření metody a její aplikace ve výzkumu tenkých mazacích filmů.

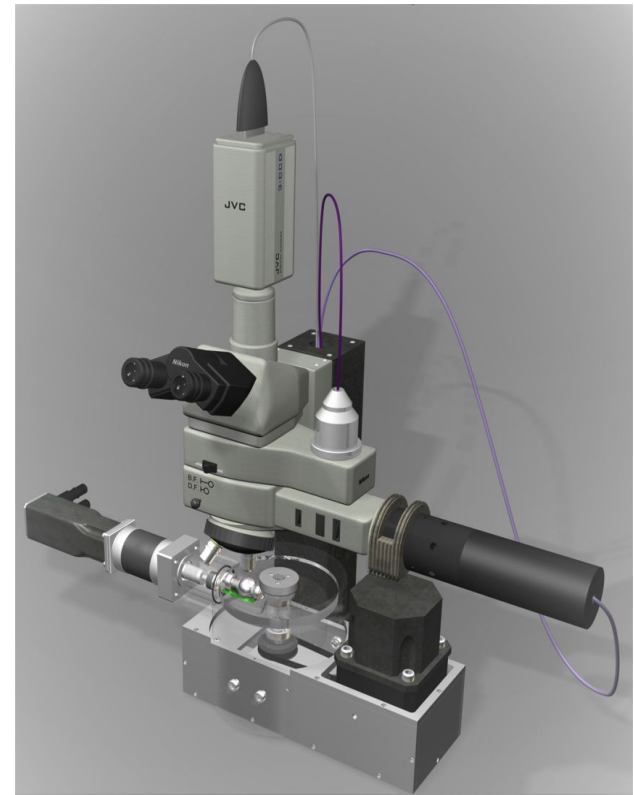
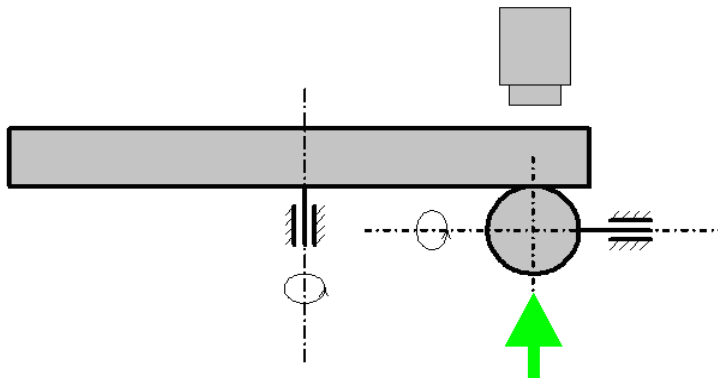
Úvod do pojednání

- Velká část tribologických soustav pracuje v podmínkách částečného nebo úplného EHD mazání.
- Třecí povrchy odděluje velmi tenký mazací film, o tloušťkách menších než 50 nm.
- Schopnost maziva vytvářet účinný mazací film za těchto podmínek je rozhodující pro správnou funkci takovýchto soustav.



Experimentální modelování

- Z řady experimentálních metod studia jevů v kontaktní oblasti bývá nejčastěji využívána simulace na principu optického tribometru.
- Zařízení sestává ze dvou kontaktních ploch, z nichž jedna je transparentní a umožňuje „nahlédnutí“ do zkoumané oblasti.



- Analýzou interferenčních jevů vznikajících na tenké vrstvě maziva je pak možné provést zmapování tloušťky mazacího filmu a dalších parametrů.

Rozsah pojednání

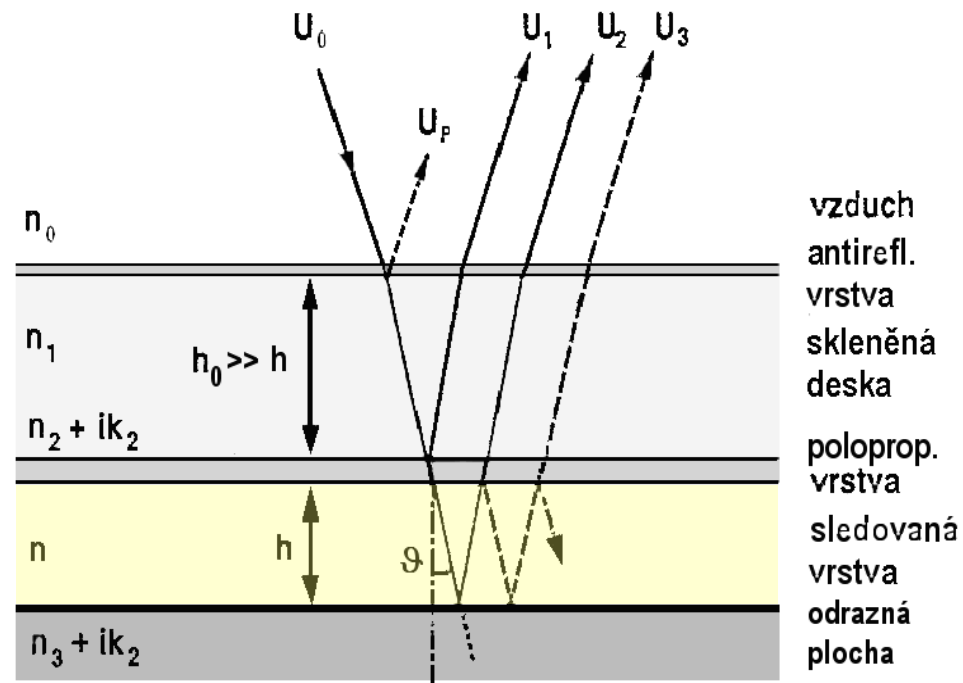
- Interference na tenkých vrstvách:
 - ▶ vícesvazková interferometrie a
 - ▶ dvousvazková interferometrie.
- Interferenční metody měření tenkých vrstev:
 - ▶ monochromatická interferometrie (Tolansky, VAMFO),
 - ▶ spektroskopické metody v bílém světle (CARIS) a
 - ▶ porovnávání interferenčních barev.
- Kolorimetrický přístup k barevné informaci:
 - ▶ lidské barevné vidění (oponentní vnímání barev),
 - ▶ barevné systémy CIE (XYZ, CIELAB) a
 - ▶ barevné diferenční formule (CIE1976, CMC, BFD)

Použitý aparát

- Vícesvazková interferometrie na tenké vrstvě
- Interferometrie v bílém světle / FECO
- Vyhodnocování interferenčních barev kolorimetrickými metodami
- Barevné diferenční formule pro identifikaci tloušťky vrstvy

Vícesvazková interferometrie

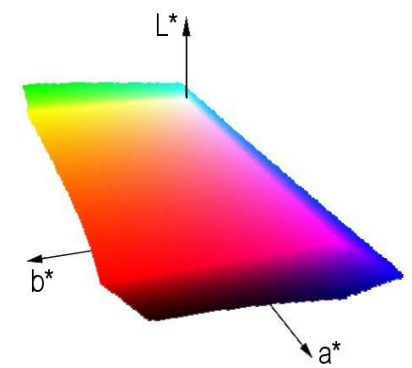
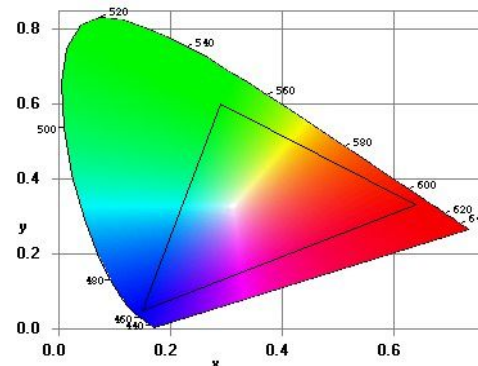
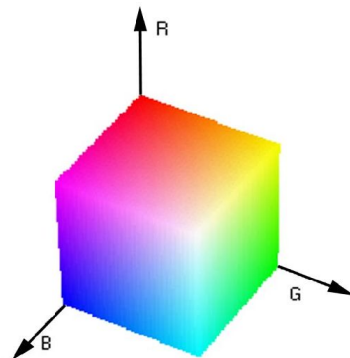
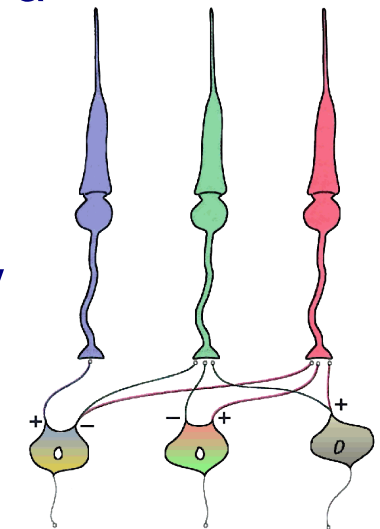
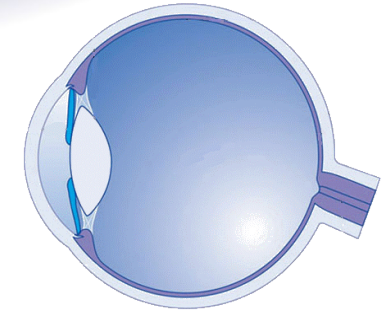
- Na mazacím filmu v tribometru dochází k vícesvazkové interferenci na tenké vrstvě:



- V bílém světle vznikají proužky stejného chromatického řádu (FECO).

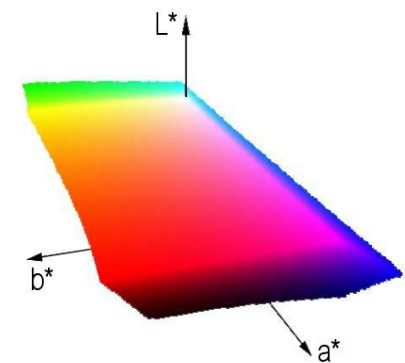
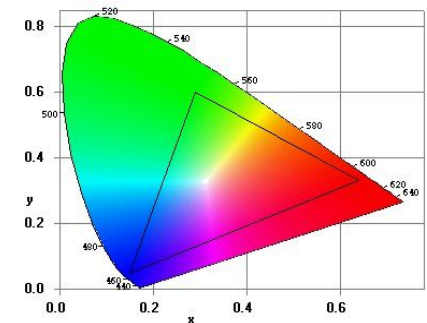
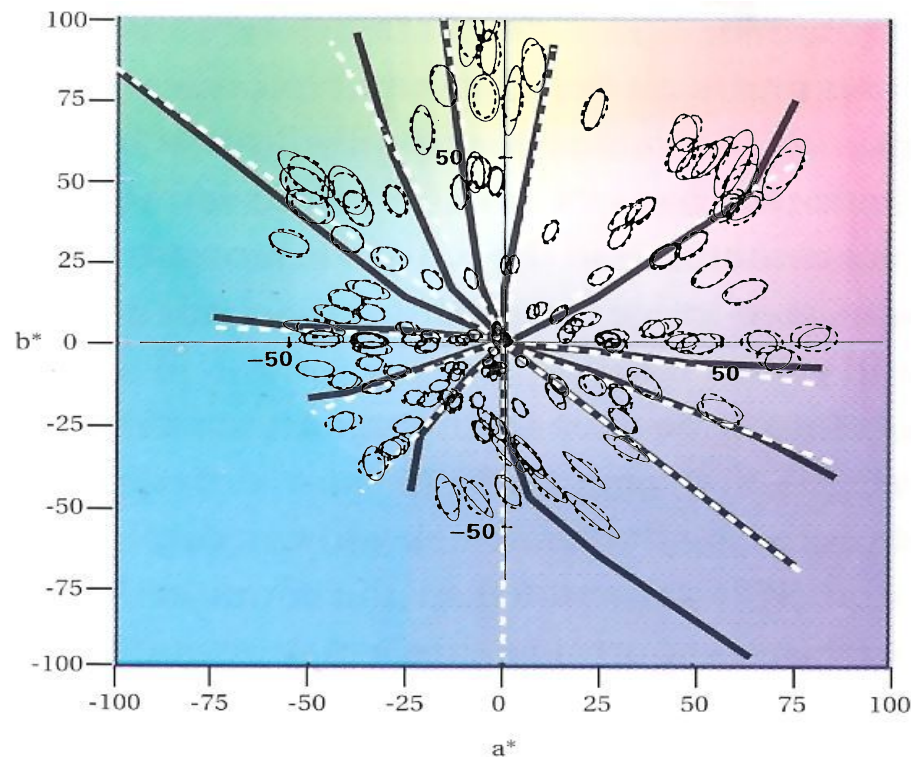
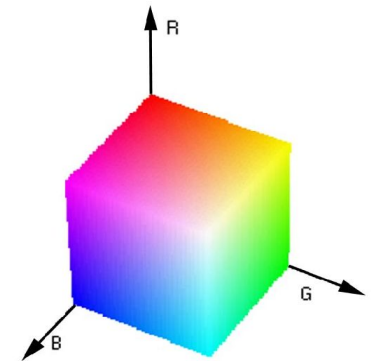
Barevné vidění

- **Lidské oko** barevný obraz fyziologicky transformuje v čípcích (denní, fotopické vidění) a tyčinkách (šero). Trichromatický signál je pak překódován do jedné jasové a dvou barvonosných složek a předán do mozku.
- **Umělé barevné vidění** napodobuje lidské oko trojicemi fotosenzorů pro rozdílné vlnové délky (obvykle RGB), jejichž signál je matematicky převoditelný do obdobné charakteristiky jakou má jeho přírodní vzor („standardní pozorovatel“).



Barevné prostory

- Kolorimetrický aparát CIE definuje
 - ▶ standardních iluminantů (A-F),
 - ▶ standardního pozorovatele a jemu odpovídající barevné prostory (CIEXYZ, CIELAB, CIELUV, CIELCH).
- Používané barevné diferenční formule:
 - ▶ CIE1976,
 - ▶ CMC(*l:c*),
 - ▶ BFD(*l:c*).



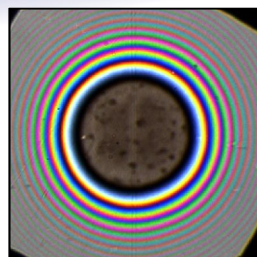
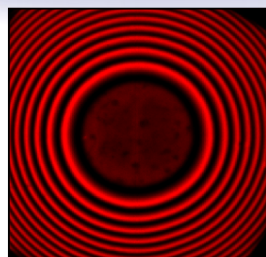
Kolorimetrická interferometrie

(TFCI, Thin Film Colorimetric Interferometry)

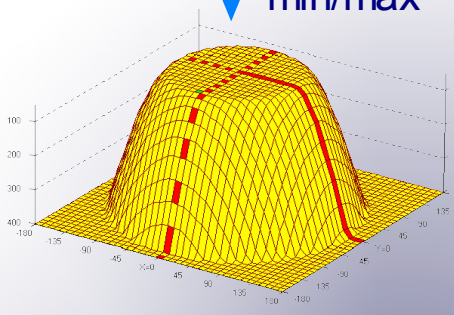
Kalibrace:

$\lambda = 633 \text{ nm}$

bílé světlo

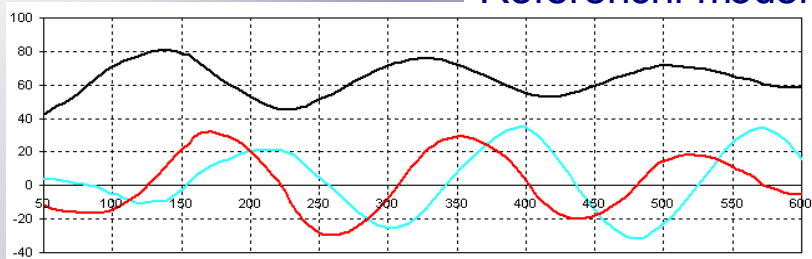


↓
detekce
min/max



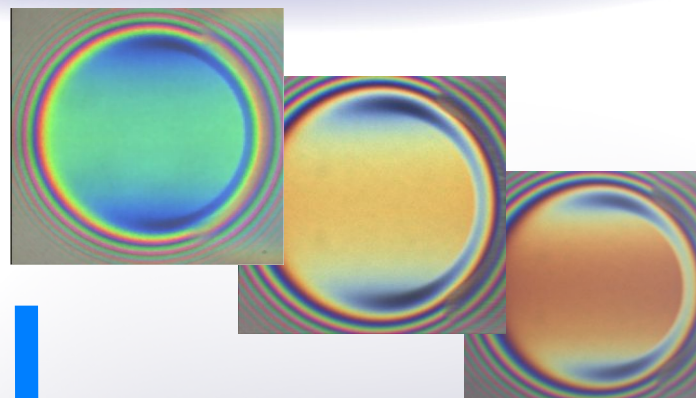
Statistická
analýza

Referenční model



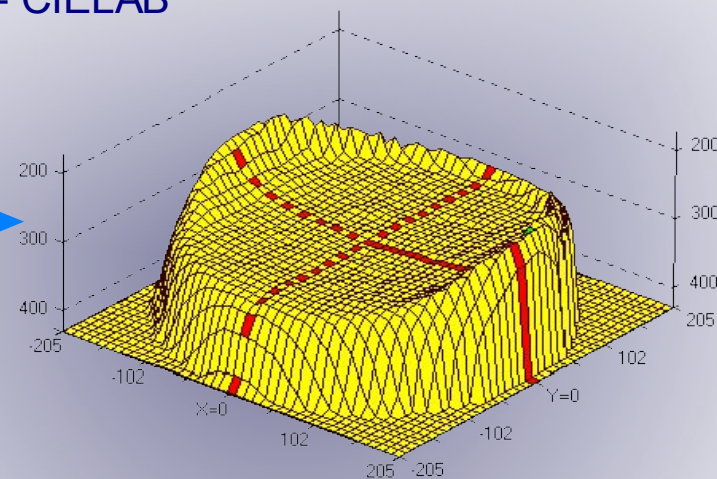
Vyhodnocování:

zkoumané chromatické interferogramy

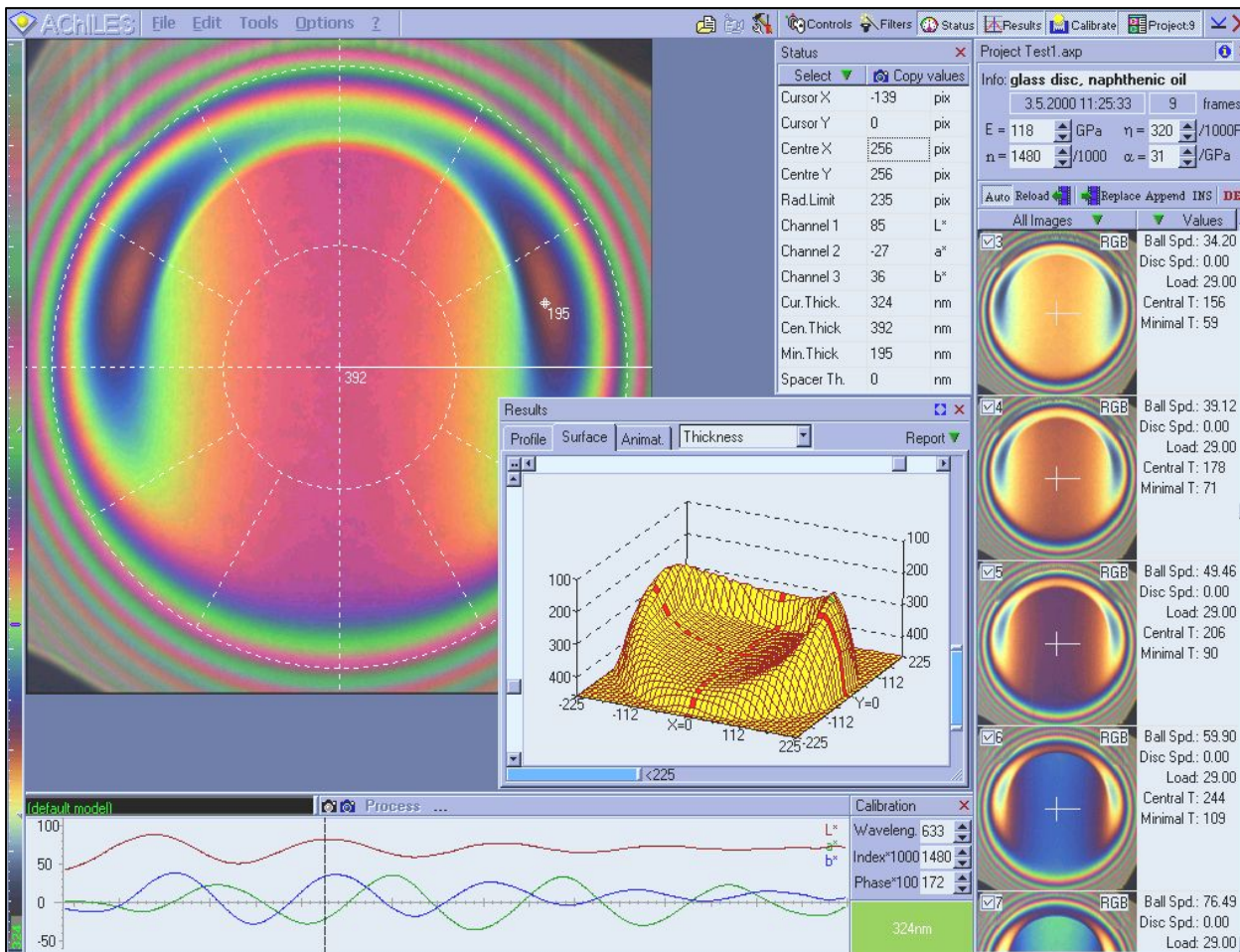


konverze
RGB - CIELAB

Heuristická
identifikace



Software



- řízení tribometru,
- řízení CCD kamery,
- synchronizované snímání obrazu,
- zpracování obrazu digitálními filtry,
- mapování hodnot tloušťky (TFCI) v reálném čase,
- vysokotlaké měření viskozity
- mapování tlakového pole, ...

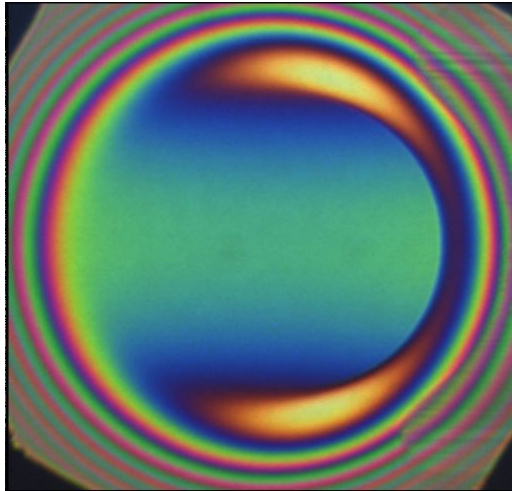
Ověření metody a její aplikace

- Experimentální zařízení:
 - ▶ tribometr typu kulička-disk,
 - ▶ episkopický mikroskop se stabilizovaným světelným zdrojem,
 - ▶ tříčipová CCD kamera,
 - ▶ počítač zajišťující
 - ▶ sběr a záznam dat,
 - ▶ real-time zpracování a
 - ▶ realizaci zpětné vazby.



Ověření metody a její aplikace

- Experiment (TFCI):



- Numerické řešení (J.Čermák)

Společné vstupní parametry:

$F = 27 \text{ N}$ ($p_{\max} = 0,425 \text{ GPa}$)

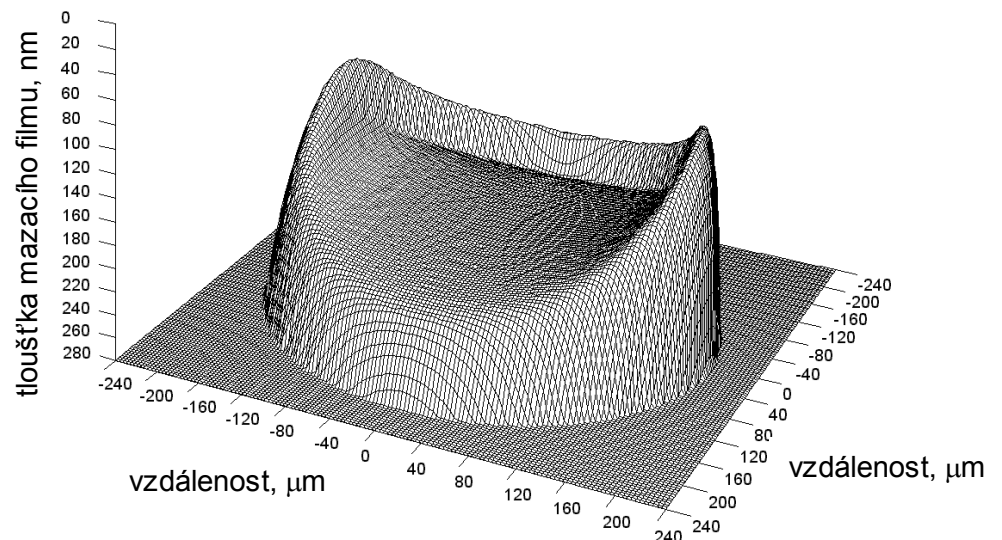
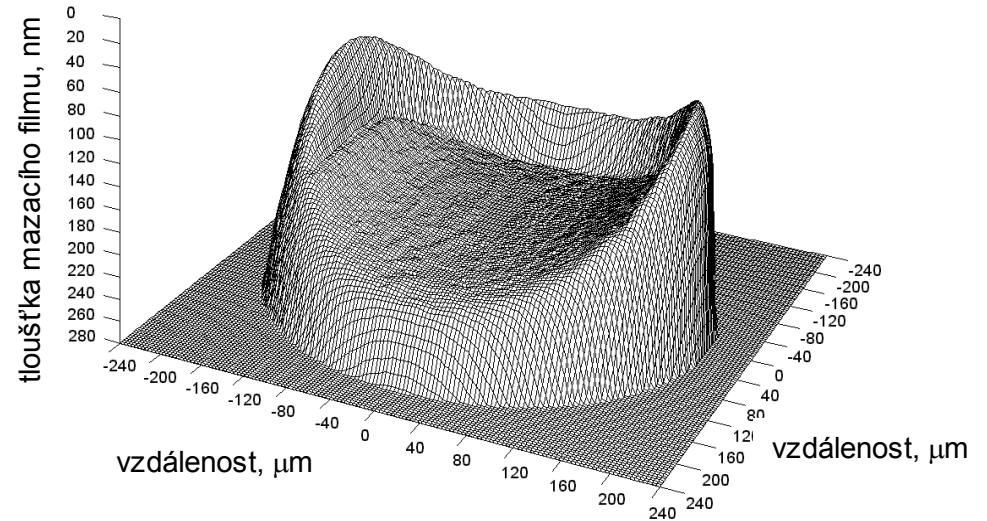
$u = 0,029 \div 0,363 \text{ m/s}$

$\eta_0 = 0,321 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $\alpha = 31 \text{ GPa}^{-1}$

kotouč - sklo BK7

ocelová kulička - $\varnothing 25,4 \text{ mm}$

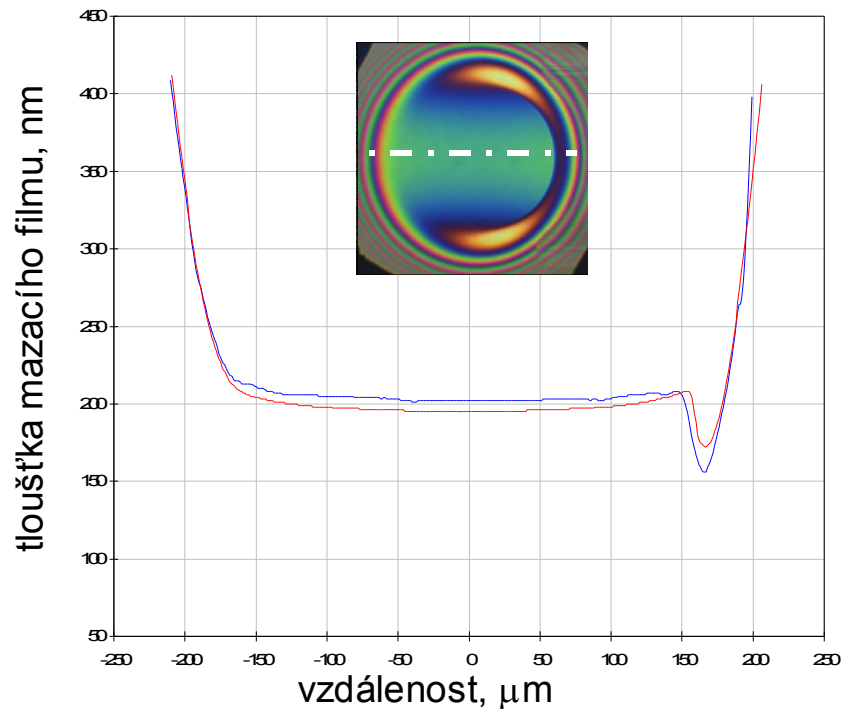
naftenický základový olej



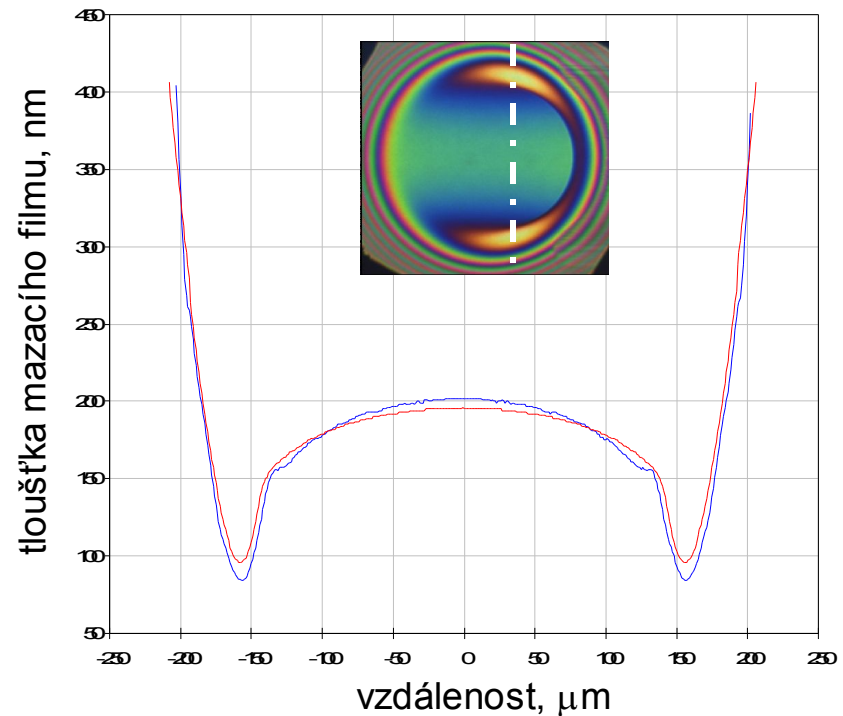
Ověření metody a její aplikace

- Porovnání výsledků TFCI a numerického řešení:

podélný profil:



příčný profil:



— Experiment
— Numerické řešení

Aktivity, publikace

- **Publikační činnost:**

- ▶ spolupráce na 6 původních člancích v mezinárodních vědeckých časopisech,
- ▶ spolupráce na 2 původních příspěvcích do mezinárodních vědeckých knižních publikací,
- ▶ spolupráce na 6 původních příspěvcích na mezinárodních vědeckých konferencích, publikovaných ve světovém jazyku ve sborníku.

- **Účast na grantech:**

- ▶ 1× řešitel a 4× spoluřešitel projektů MŠMT ČR
- ▶ 3× spoluřešitel grantů GAČR

Závěr

Stav prací na projektu:

- ✓ Rozbor současných přístupů.
- ✓ Výběr barevného prostoru a vhodné diferenční formule.
- ✓ Softwarová implementace metody.
- ✓ Ověření metody a její aplikace ve výzkumu tenkých mazacích filmů.