

VÝVOJ HYDROSTATICKÉHO ULOŽENIA ROZMERNÝCH KONŠTRUKCIÍ

Ing. **Michal Michalec**

Školiteľ: doc. Ing. **Petr Svoboda**, Ph.D.

Školiteľ špecialista: Ing. **Petr Šperka**, Ph.D.

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

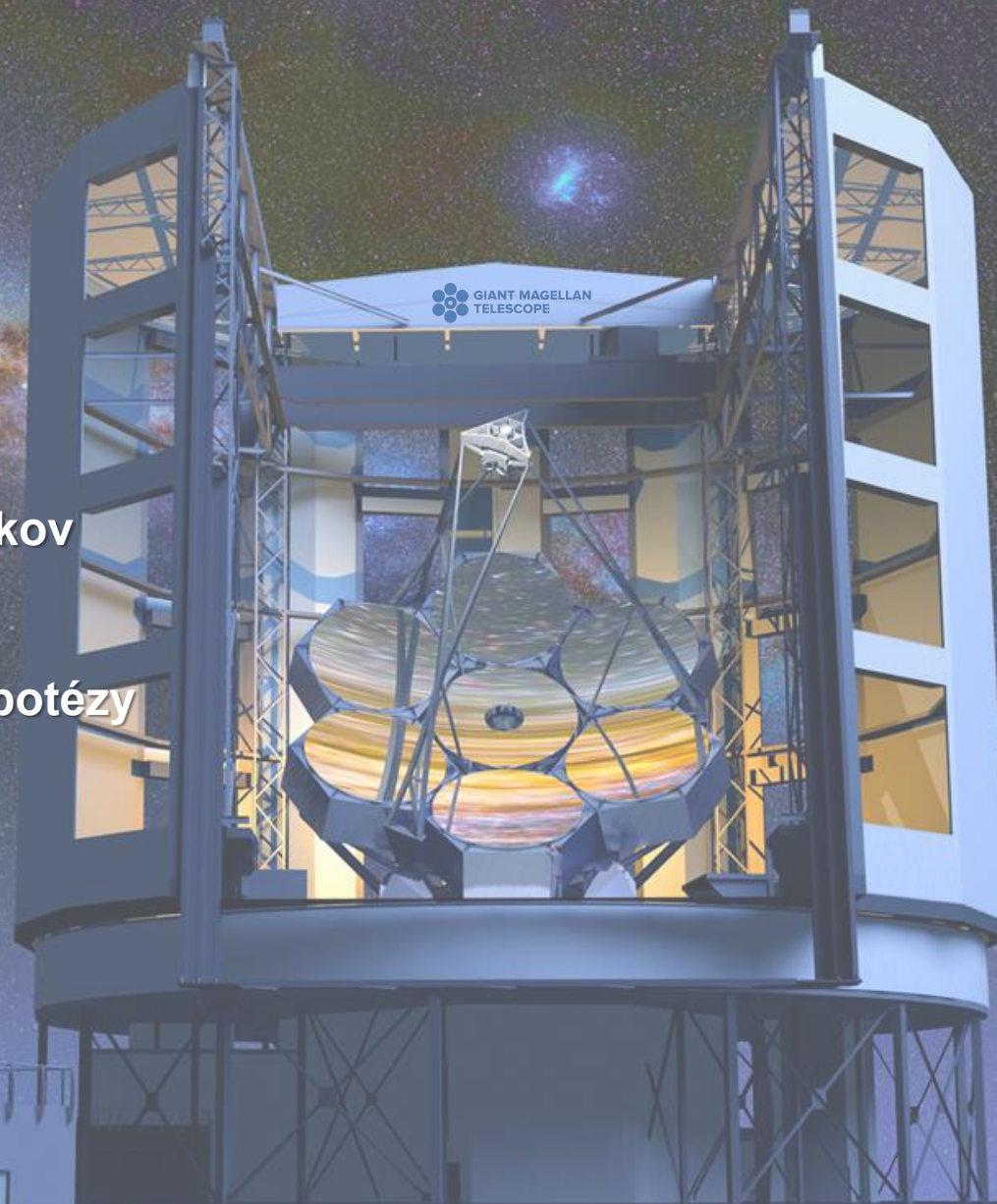
Brno, 6.12.2021



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

OBSAH

- Úvod
- Motivácia
- Súčasný stav poznania
 - Analýza a zhodnotenie poznatkov
 - Podstata a ciele
 - Vedecké otázky a pracovné hypotézy
- Materiál a metódy
- Súčasný stav riešenia
- Záver



ÚVOD

IV. On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. BEAUCHAMP TOWER'S Experiments, including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil.
By Professor OSBORNE REYNOLDS, LL.D., F.R.S.

Received December 29, 1885,—Read February 11, 1886.

Donald Julius Green Prize Paper

Advances in hydrostatic and hybrid bearing technology

W B Rowe, BSc, PhD, DSc, CEng, FIMechE
School of Engineering and Technology Management, Liverpool Polytechnic

This review outlines the highlights in the development of hydrostatic and hybrid bearing technology from early plane and cylindrical designs to the wide range of configurations now utilized. The last 20 years have seen increasing sophistication of software for bearing analysis accompanied by application of hybrid bearings to more demanding situations, involving high loads, high speeds and high accuracy. The emphasis in this review is on advances in the realization of the distinctive characteristics of this important group of bearings and on the selection of the design approach for different situations. Applications discussed range from measuring and stock tools to aerospace and heavy power generation equipment. Aspects covered include load coefficients, film thickness, flow control, hydrodynamic effects and dynamic behaviour.

Review Article

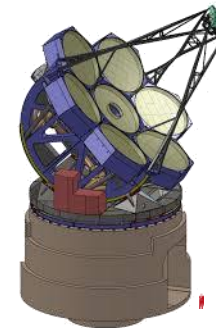
The Research Status and Progress of Heavy/Large Hydrostatic Thrust Bearing

Xibing Li, Xun Wang, Ming Li, Yunshi Ma, and Ying Huang

School of Mechanical Engineering, Qinghai University, Qinghai 810006, China

Correspondence should be addressed to Xibing Li; ligangyong@163.com

Received 5 December 2013; Accepted 28 January 2014; Published 13 March 2014



O. Reynolds

Rowe

Li et al.

GMT
2015-2029

1852

1886

1918

1989

1992

2014

2017

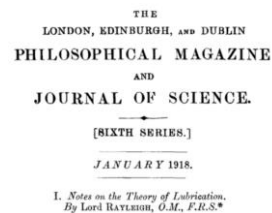
2027

2029

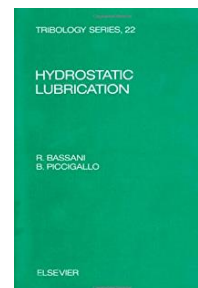
L. D. Girard



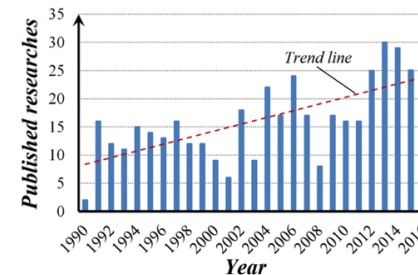
Lord Rayleigh



Bassani and Piccigallo



Liu et al.

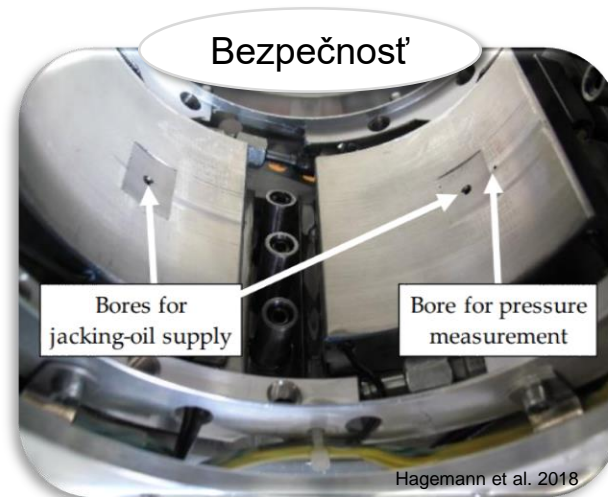
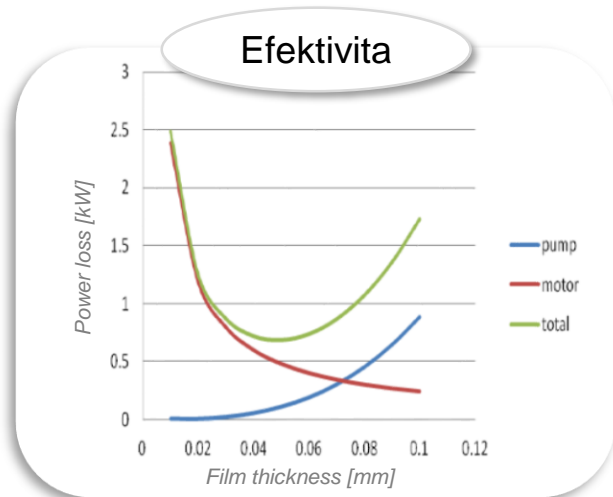


ELT
2015-2027



MOTIVÁCIA

- Vysoká presnosť a životnosť.
- Narastajúci dopyt po rozmerných uloženiach.
- Vývoj je limitovaný dostupnosťou informácií (strážené know-how).
- Geometria kapsy a jej uloženie zásadne ovplyvňuje prevádzkové parametre.
- Nákladný a náročný servis a oprava.



Forbes

Oct 30, 2019, 07:12am EDT | 6 336 views

One Of The World's Largest Telescopes Is Underway. Get To Know The Giant Magellan Telescope

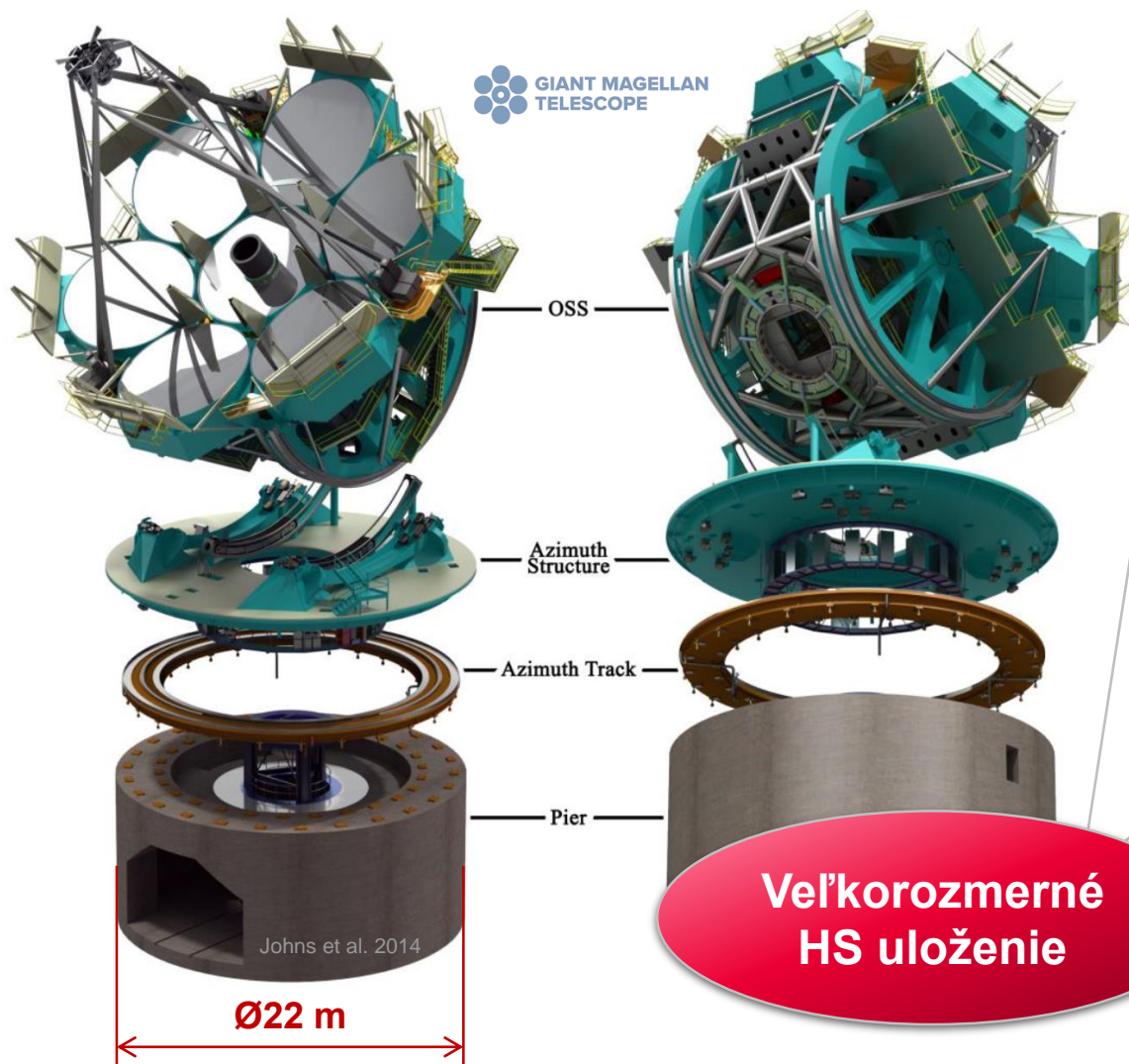
Jamie Carter Senior Contributor @ Science
I inspire people to go stargazing, watch the Moon, enjoy the night sky

Listen to article 7 minutes

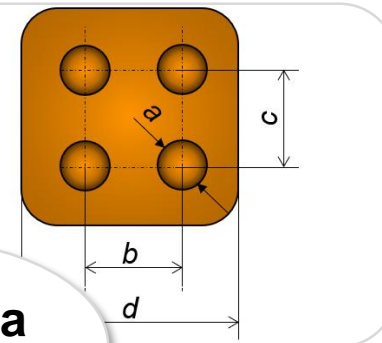
What the massive GMT will look like. It's now being built in Chile. M3 ENGINEERING GMT CORPORATION

UPDATE: Delays means that the GMT will not be the world's largest optical telescope when it enters operation, but only the third largest after the 30m TMT in 2027 and the 39m ELT in 2025. The headline has been changed to reflect this.

SÚČASNÝ STAV POZNANIA



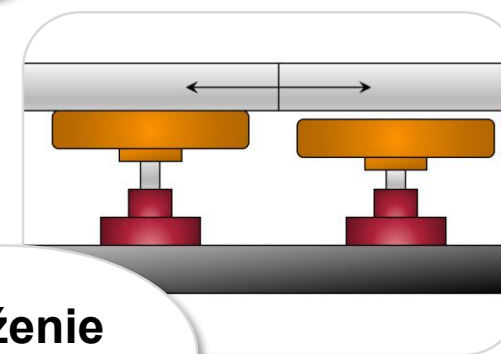
Geometria kapsy



Klzné plochy

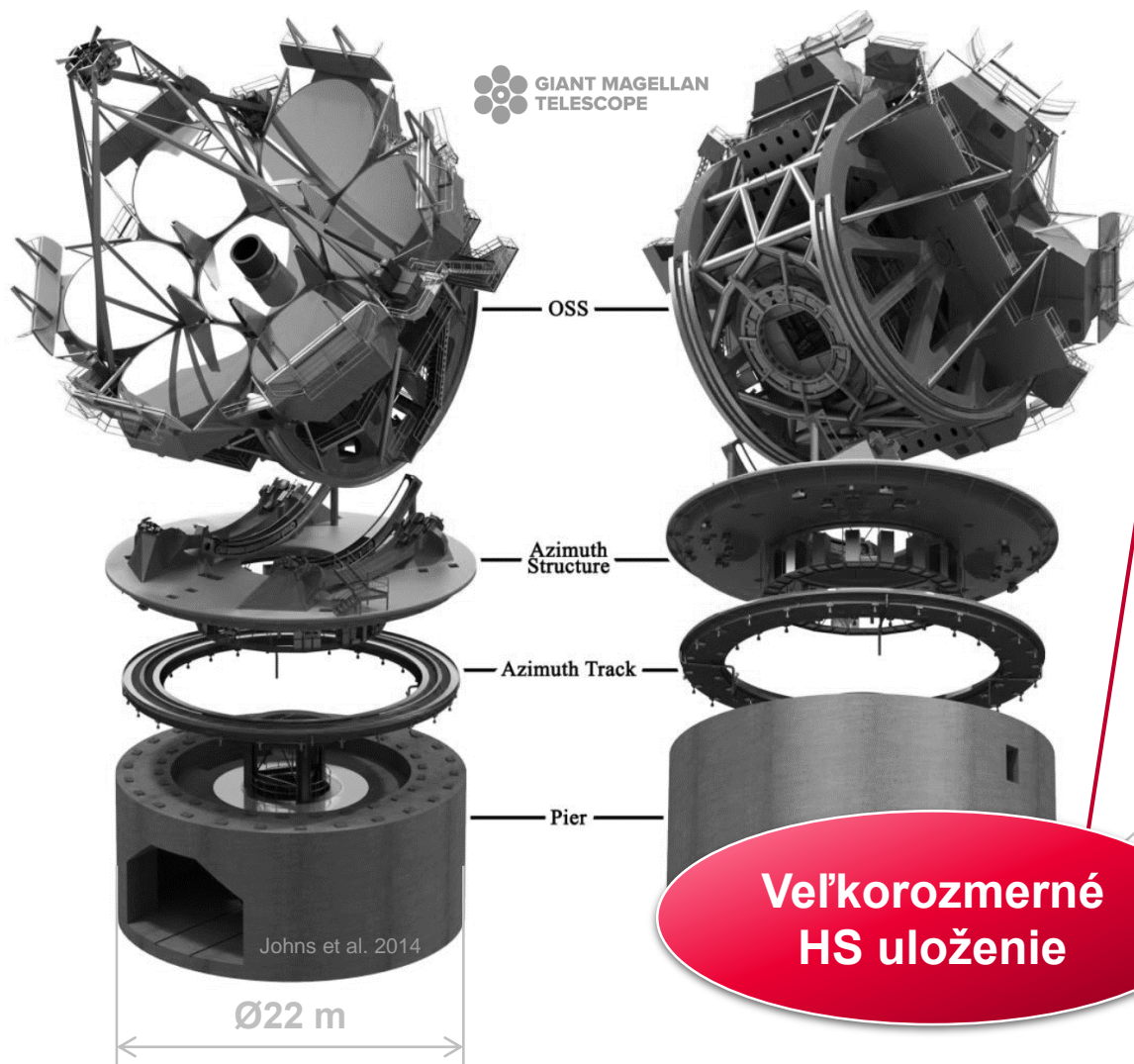


Uloženie kapsy

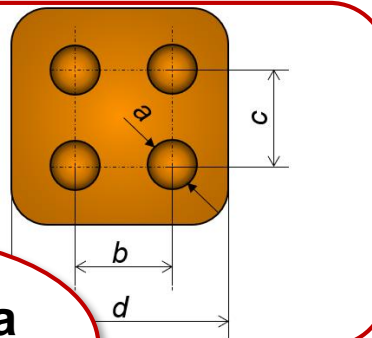


Veľkorozmerné HS uloženie

SÚČASNÝ STAV POZNANIA



Geometria kapsy

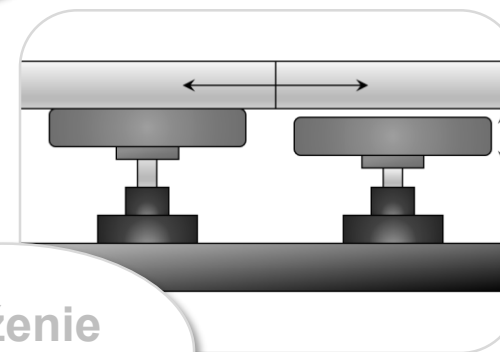


Klzné plochy



Veľkorozmerné HS uloženie

Uloženie kapsy



SÚČASNÝ STAV POZNANIA – GEOMETRIA KAPSY

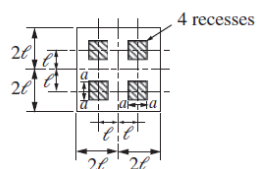
Analytický prístup

- Založené na N -S rovnici
- Zjednodušenie – *Reynolds*
- Odvozené jednoduché geometrie
- Odporúčaný pomer H/h (20-50x)

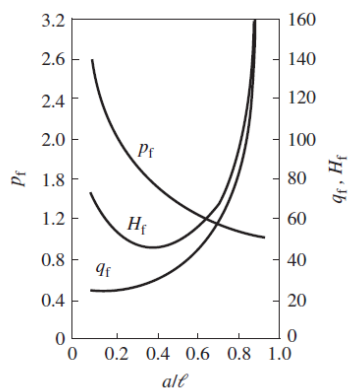
$$P_S = P_f \times \frac{W}{16\ell^2} \text{ psi}$$

$$Q = q_f \times \frac{W}{16\ell^2} \times \frac{h^3}{12\mu} \text{ in.}^3/\text{s}/\text{pad}$$

$$E_P = H_f \times \left(\frac{W}{16\ell^2} \right) \times \left(\frac{h^3}{12\mu} \right) \text{ in. lb/s}/\text{pad}$$

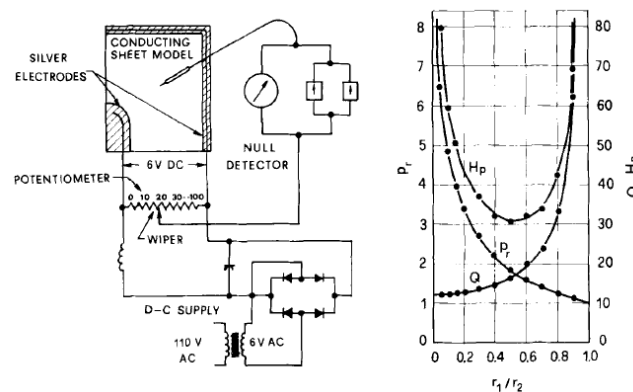


KHONSARI and BOOSER (2017)



Experimentálny prístup

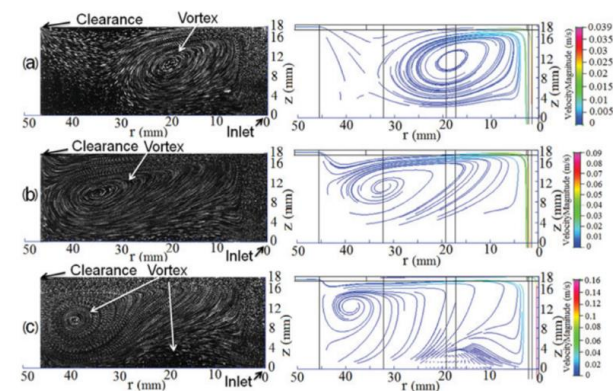
- Overenie odvodených vzťahov
- Nákladné pre porovnanie rôznych geometrií
- Analógia s el. poľom (Loeb, 1957)



LOEB and RIPPEL (1958)

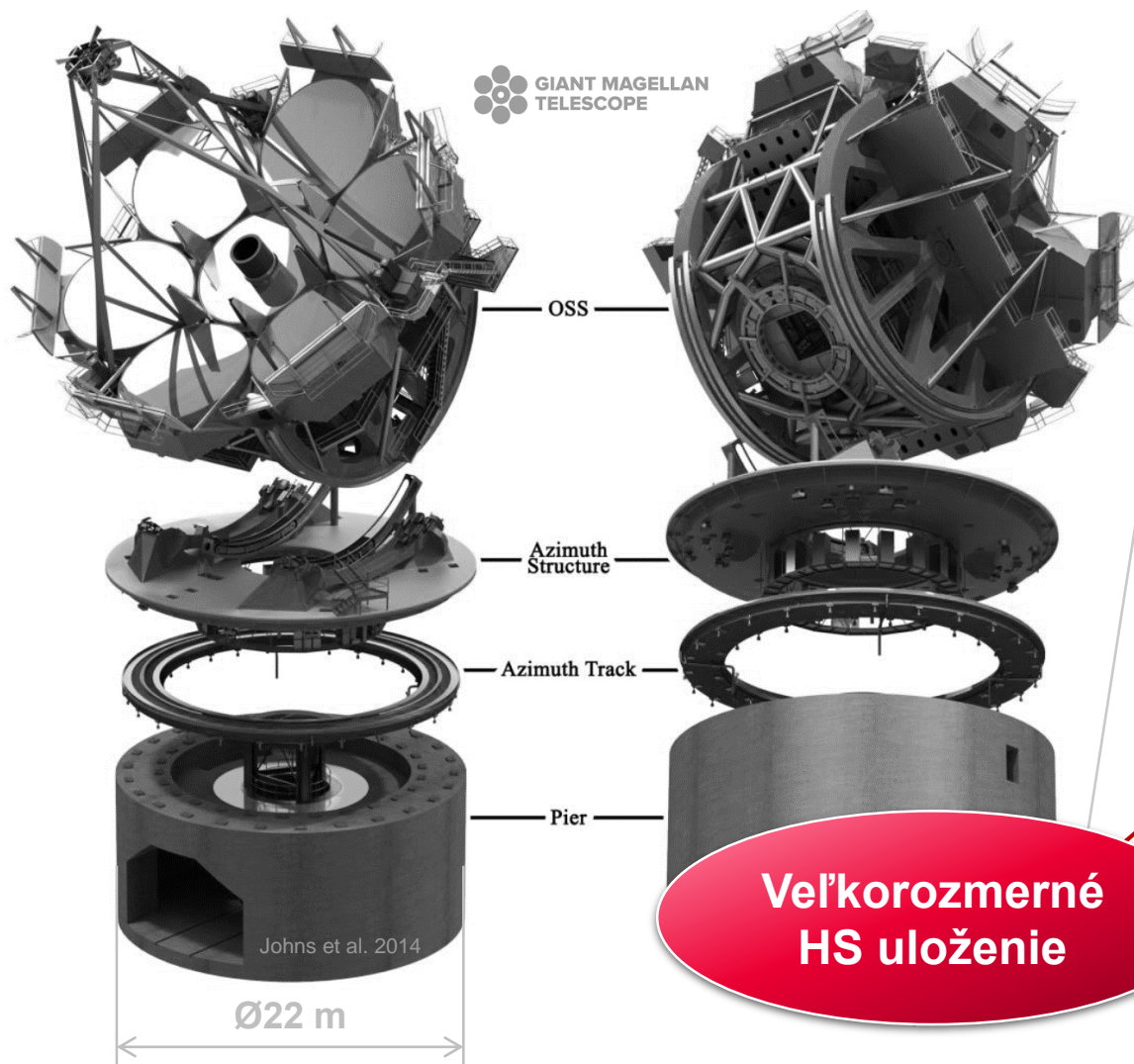
Numerický prístup

- Modelovanie geometrie podľa potreby aplikácie
- Zníženie vývojových nákladov
- Verifikácia modelu (Horvat, 2011)

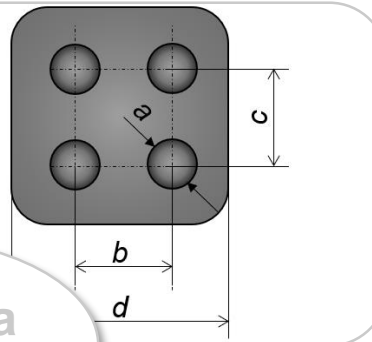


SHEN et al. (2014)

SÚČASNÝ STAV POZNANIA



Geometria kapsy

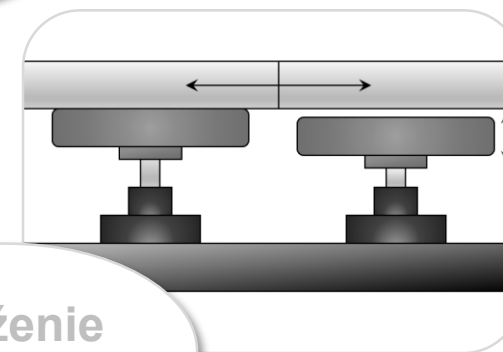


Klzné plochy



Veľkorozmerné HS uloženie

Uloženie kapsy



SÚČASNÝ STAV POZNANIA - KLZNÉ PLOCHY

Modifikácia

- Akumulátory
- Kombinácia materiálov
- Povlaky
- Textúra - HD
- **Poddajná klzná plocha**
- Agresívne prostredie - olej

Výpadok hydrauliky počas chodu

Veľká hybnosť



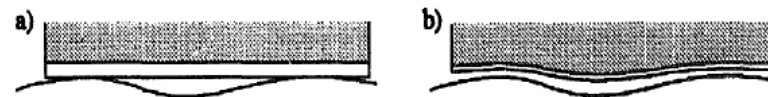
*Abrazívne opotrebenie klznej plochy
KINGSBURY inc.*



*Erózia vonkajšej hrany kapsy
KINGSBURY inc.*

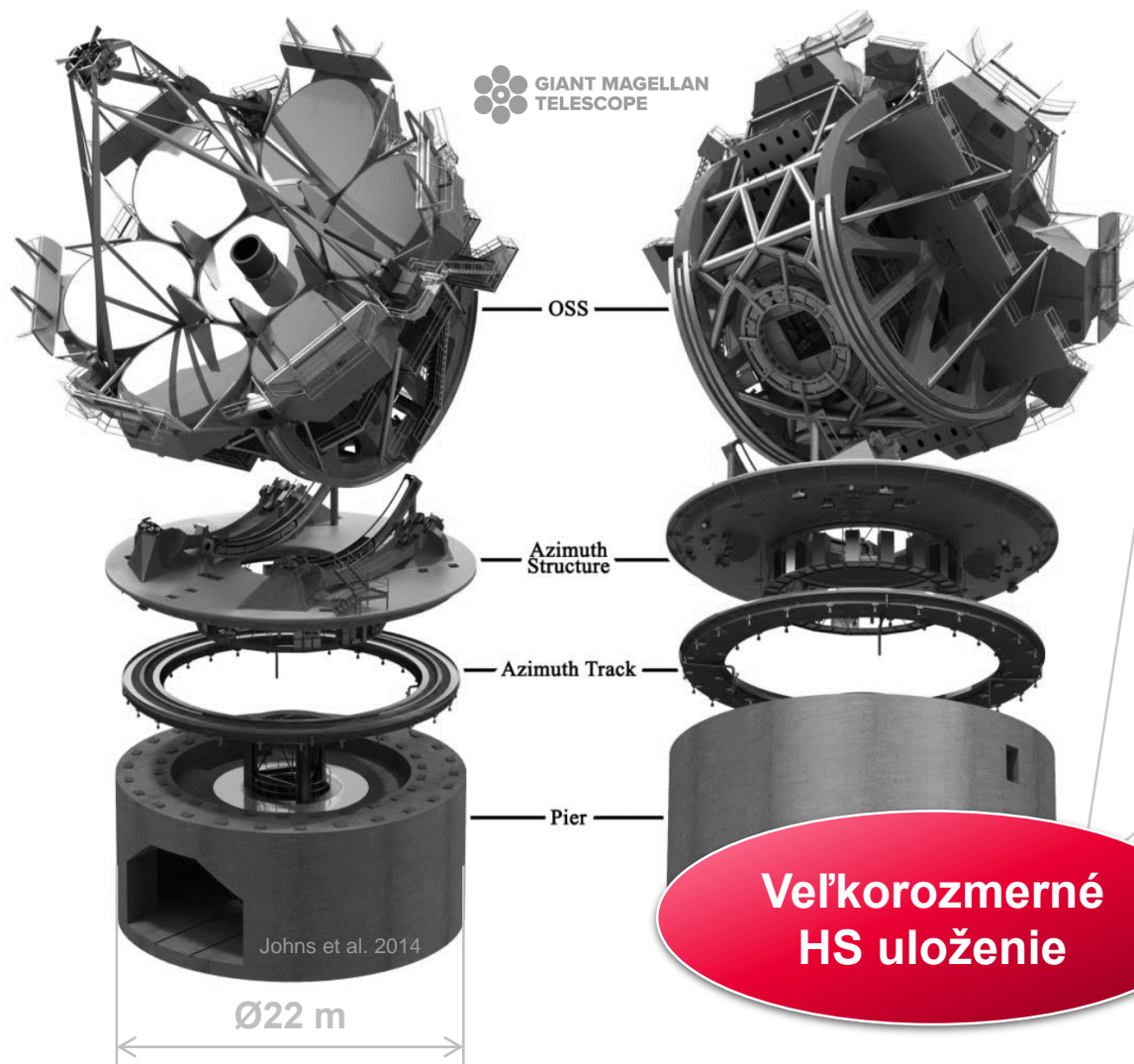


*Polymérne kompozitné vrstvy so základom PEEK
PAJACZKOWSKI et al. (2010)*

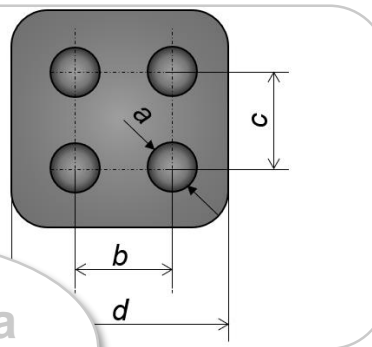


*Schéma poddajnej klznej plochy
VAN BEEK et al. (1995)*

SÚČASNÝ STAV POZNANIA



Geometria kapsy

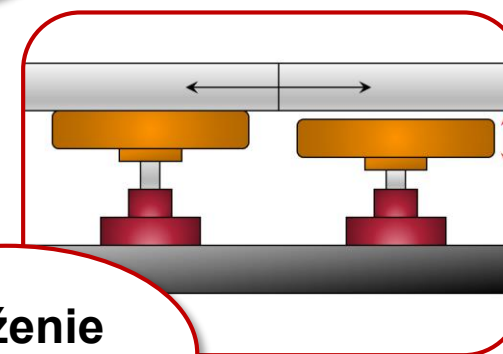


Klzné plochy



Veľkorozmerné HS uloženie

Uloženie kapsy



SÚČASNÝ STAV POZNANIA – ULOŽENIE KAPSY

Poddajná podstava

Van Beek et al. (1996)

- numerický model
- udržiavanie rovnomernej maz. vrstvy

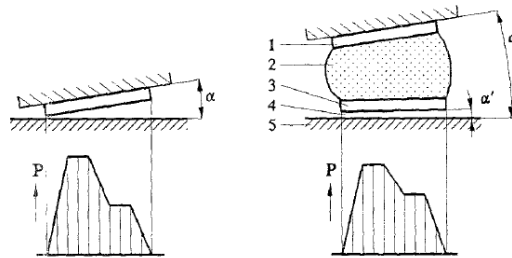


Schéma poddajného uloženia
VAN BEEK et al. (1996)

Liang et al. (2019)

- numerický model s exp. overením
- HD ložisko s poddajnou podstavou

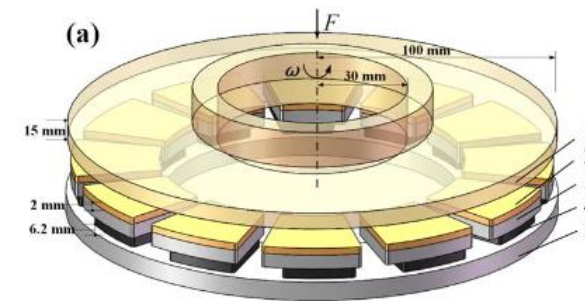
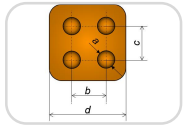


Schéma experimentálnej zostavy
LIANG et al. (2019)

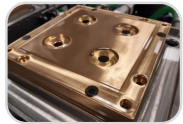
ANALÝZA A ZHODNOTENIE POZNATKOV

Geometria kapsy



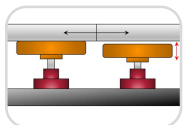
- ✓ Numerické modely
- ✗ Optimálna geometria (hĺbka x tvar)

Klzné plochy



- ✓ Textúry a povlaky - HD
- ✗ Štúdium havarijného stavu - HSL

Uloženie kapsy



- ✓ Poddajné uloženie – experimenty HD
- ✗ Návrh tuhosti podstavy
- ✗ Dovoľené chyby montáže / výroby

Veľkorozmerné HSL

- Väčšina štúdií → malé HS ložiská
- Výrobné a montážne presnosti
- Doplnenie metodiky návrhu



PODSTATA A CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Podstata:

- Podstatou práce je experimentálne štúdium kontaktnej dvojice veľkorozmerných hydrostatických ložísk v oblasti aplikovaného výskumu.

Cieľ:

- Hlavným cieľom dizertačnej práce je doplnenie metodiky návrhu veľkorozmerných hydrostatických uložení s experimentálnym overením na modelovom zariadení.

Prínos:

- Rozšírenie poznania o návrhu geometrie hydrostatických káps.
- Overenie vhodnosti poddajného uloženia káps.
- Zhodnotenie možných modifikácií klzných povrchov pre danú aplikáciu.
- Navýšenie životnosti, zlepšenie prevádzkových parametrov a spresnenie inžinierskych návrhov.



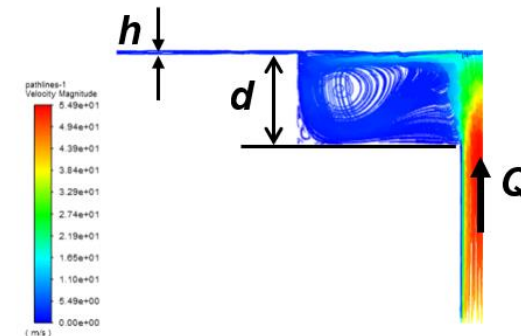
VEDECKÉ OTÁZKY A PRACOVNÉ HYPOTÉZY

Vedecká otázka 1:

„Aký má vplyv geometria bunky na výkonnostné charakteristiky a stabilitu HS ložiska?“

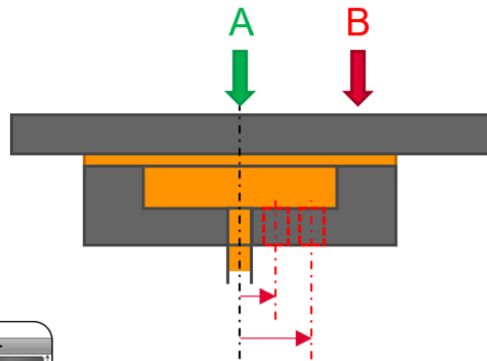
Hypotéza 1a:

„Geometria bunky môže ovplyvniť prevádzkové vlastnosti ložiska, a veľkosť tlakových strát kvôli vzniku recirkulačných oblastí v bunke ložiska. Vhodnou úpravou tvaru by malo byť možné docieľiť zlepšenie efektivity HS uložení.“



Hypotéza 1b:

„Poloha vtokovej drážky nemá výrazný vplyv na výkonnostné parametre HS uloženia pri rovnomernom zaťažení. U excentricky zaťaženej kapsy môže poloha vtokovej drážky výrazne ovplyvniť nosnú schopnosť a stabilitu kapsy.“



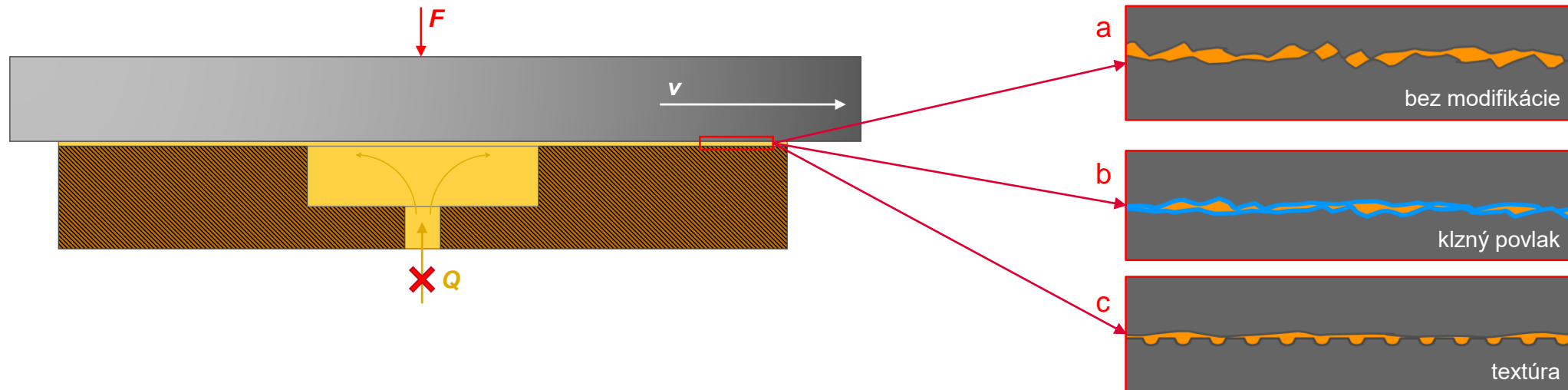
VEDECKÉ OTÁZKY A PRACOVNÉ HYPOTÉZY

Vedecká otázka 2:

„Akým spôsobom je možné minimalizovať poškodenie klzných povrchov v prípade poruchy dodávky tlakového maziva?“

Hypotéza 2:

„V prípade prerušenia dodávky tlakového oleja počas pohybu otočného stola/bežca je možné redukovať trenie a znížiť opotrebenie cieľenou modifikáciou klzných povrchov. Povlaky dokážu znížiť trenie a redukovať škody, zatiaľ čo textúry by mali pôsobiť ako mikro-zásobníky oleja a zachytávať častice opotrebenia do rezervoárov.“



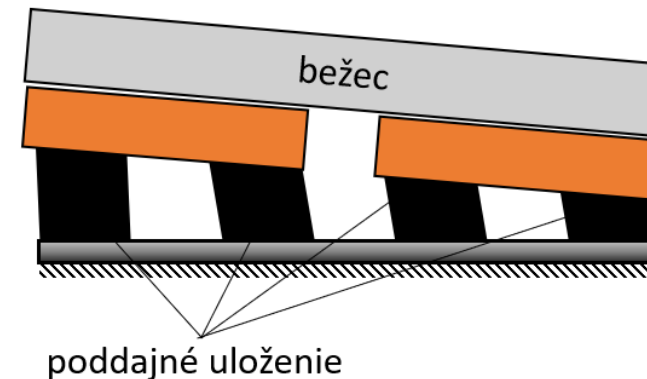
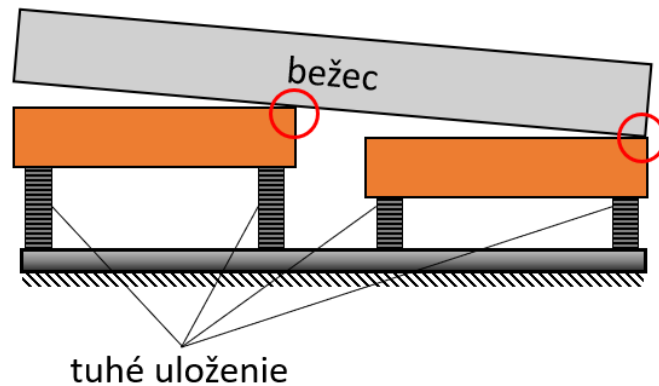
VEDECKÉ OTÁZKY A PRACOVNÉ HYPOTÉZY

Vedecká otázka 3:

„Do akej miery je možné kompenzovať chyby montáže hydrostatických káps poddajnou podstavou pre bezpečnú a bezporuchovú prevádzku hydrostatického uloženia?“

Hypotéza 3:

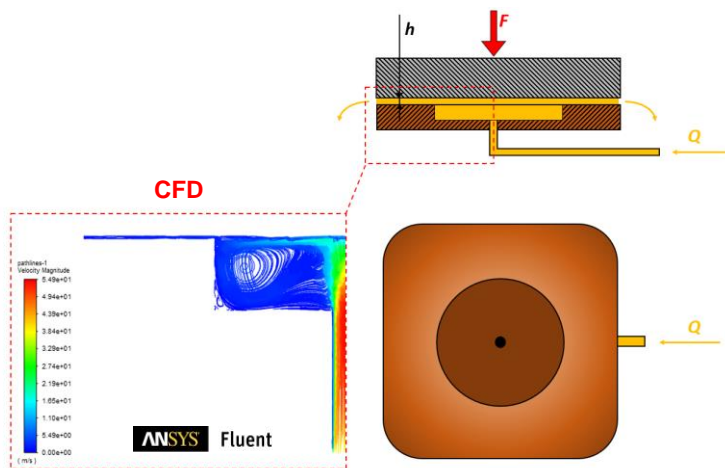
„Poddajná podstava hydrostatického ložiska dokáže kompenzovať montážne a výrobné chyby hydrostatického uloženia prispôbením sa otočnému stolu/bežcu, a zaistiť tak rovnomernú distribúciu tlakovej kvapaliny, čím sa predíde strate nosnej schopnosti a kolízií klzných povrchov.“



MATERIÁL A METÓDY

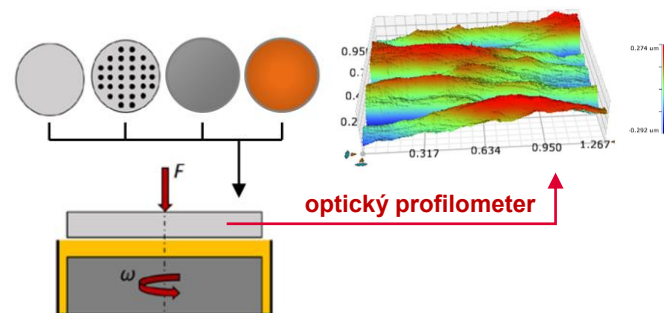
Optimalizácia geometrie (H1)

- DUAL-PAD
- Modelovanie prúdenia v kapse s využitím CFD
- Zrovnanie modelu s experimentálnymi podmienkami



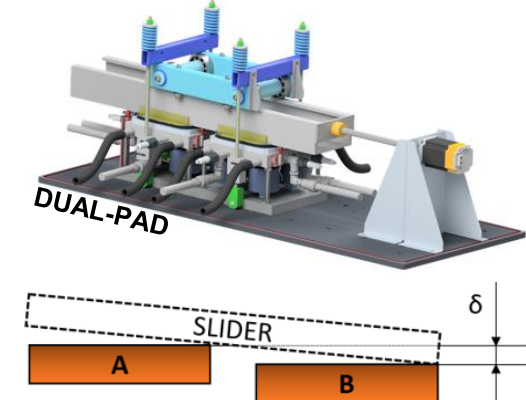
Modifikácia klzných povrchov (H2)

- Modul pre Rtec MFT-5000
- Modelovanie experimentálnych podmienok podobných realite
- Rôzne kombinácie materiálov
- Modifikácia povrchov - textúra



Kompenzácia montážnych a výrobných chýb (H3)

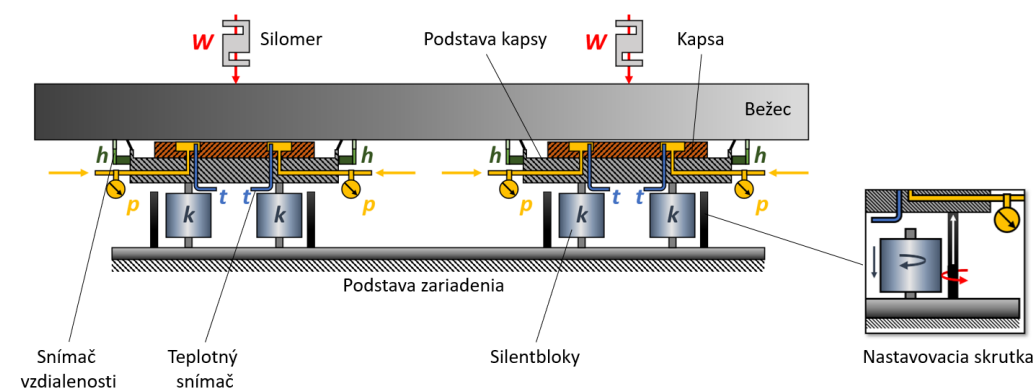
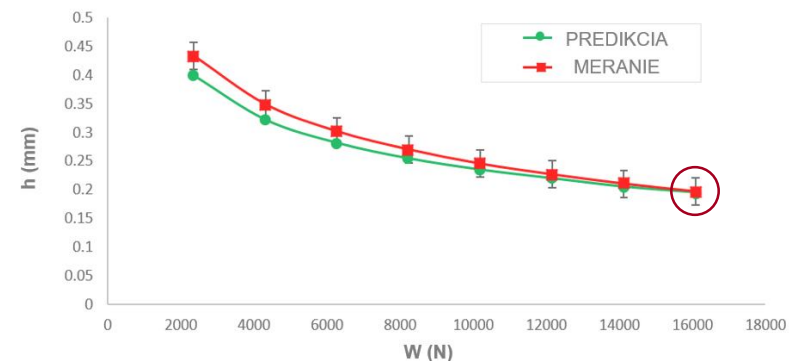
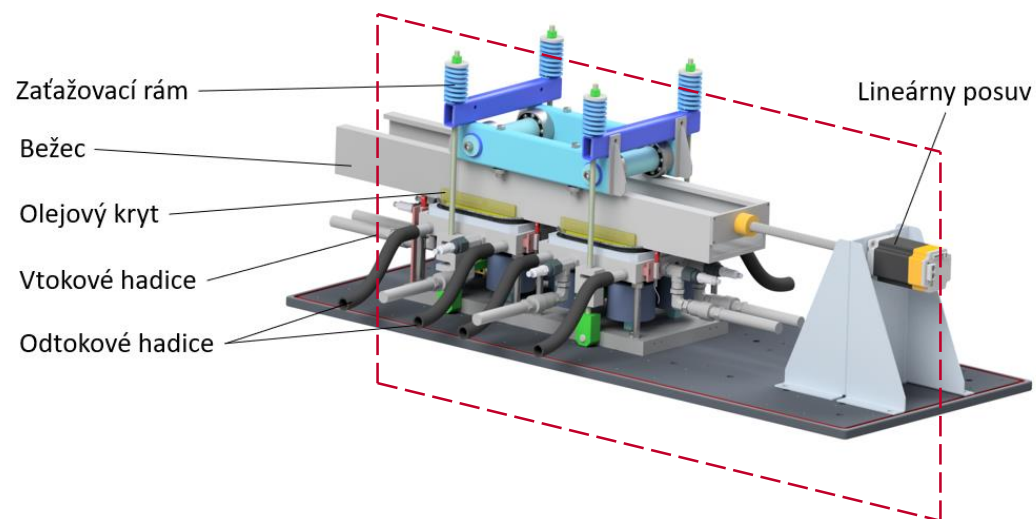
- DUAL-PAD
- Výškový rozdiel až 3 mm
- Porovnanie predikcie a nameraných dát
- Tuhé/poddajné uloženie kapsy

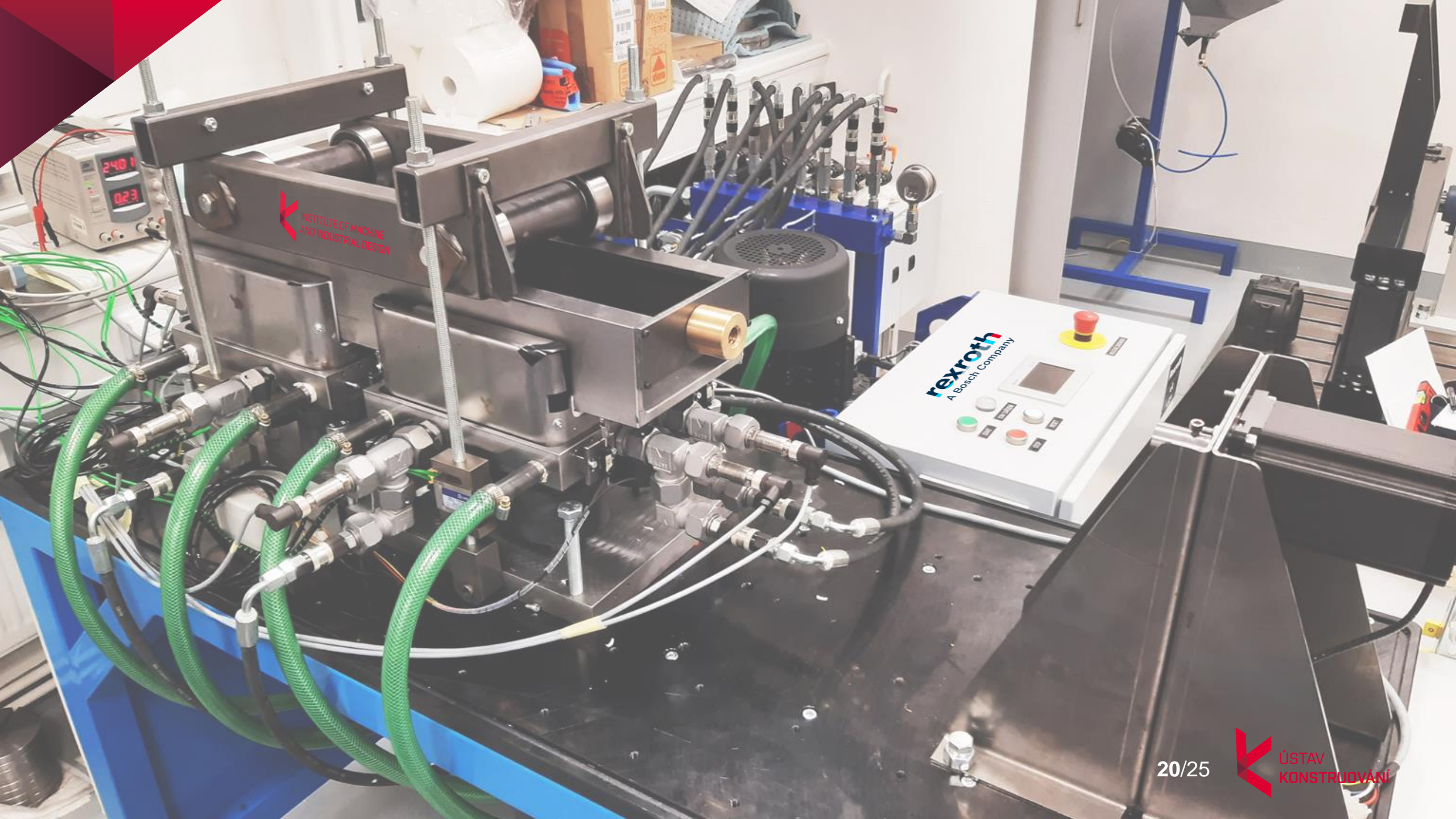


SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA

Experimentálne zariadenie – DUAL PAD

- max. zaťaženie **40 kN**
- max. prietok **20 l/min**
- max. tlak **100 bar**





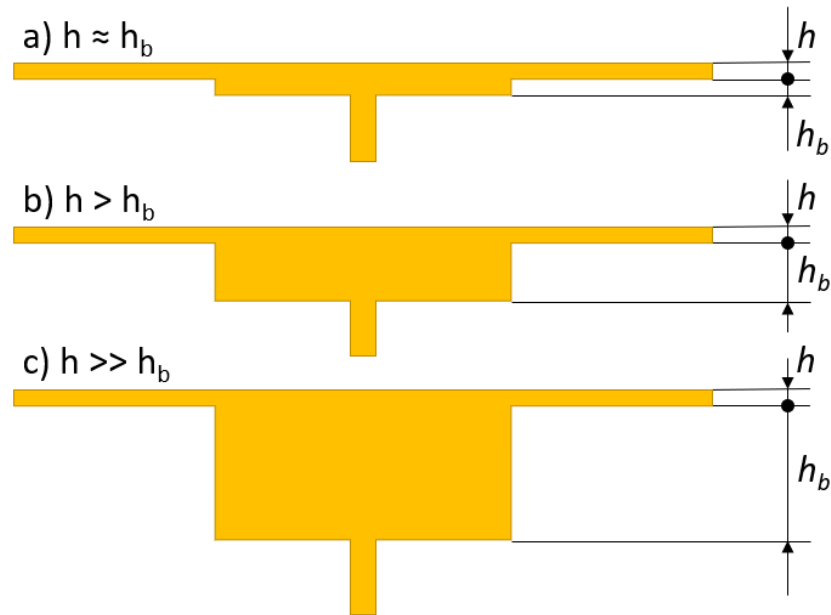
INSTITUTE OF MACHINE
AND INDUSTRIAL DESIGN

rexroth
A Bosch Company

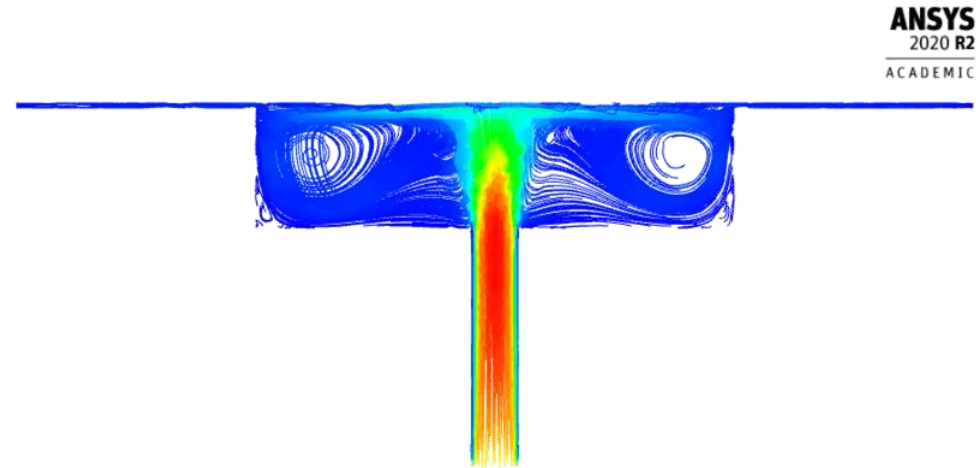
SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA

Optimalizácia geometrie

- Nastavenie modelu CFD
- Kalibrácia modelu podľa exp. meraní



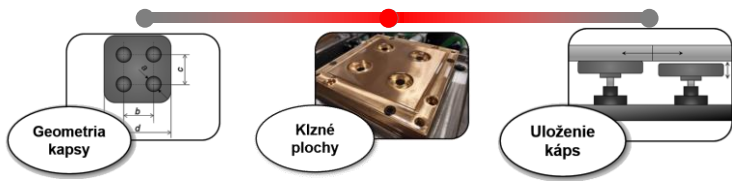
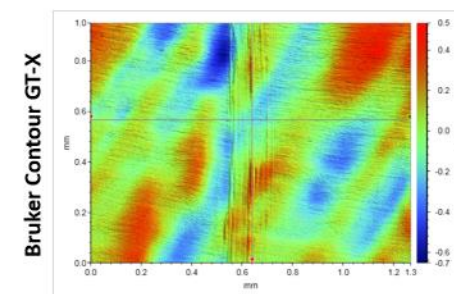
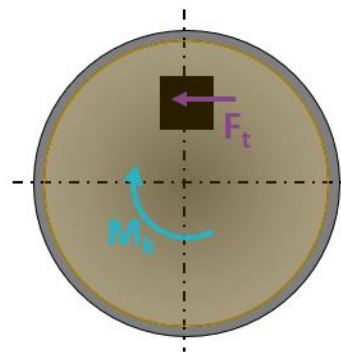
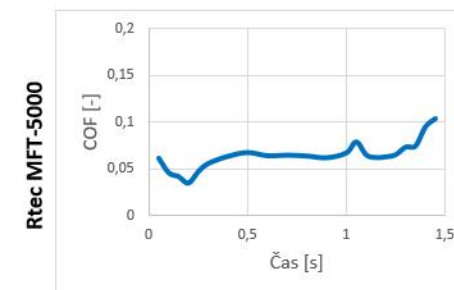
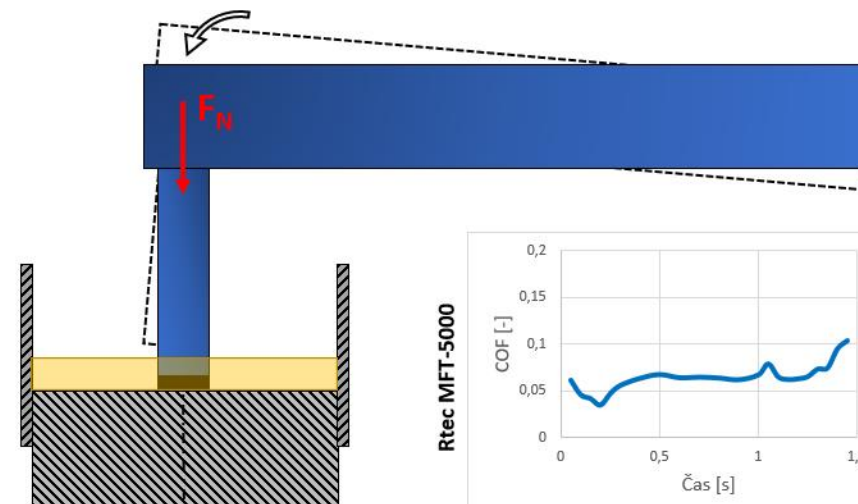
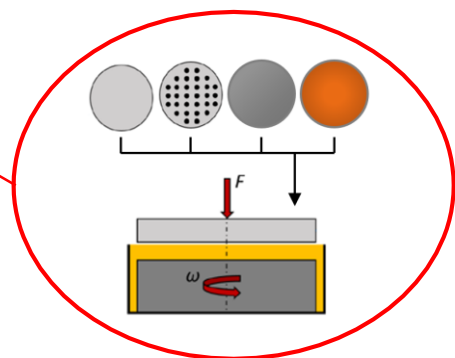
pathlines-1
Velocity Magnitude
5.49e+01
4.94e+01
4.39e+01
3.84e+01
3.29e+01
2.74e+01
2.19e+01
1.65e+01
1.10e+01
5.49e+00
0.00e+00
(m/s)



SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA

Modifikácia klzných povrchov

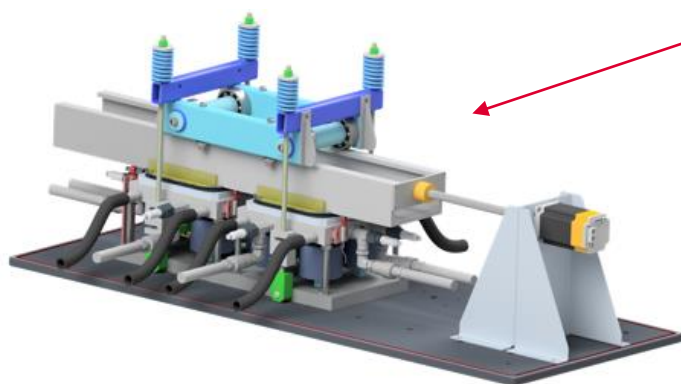
- Exp. modul pre Rtec MFT-5000
- Kombinácia materiálov a návrh textúry
- Porovnanie trecích vlastností
- Vyšetrovanie rozsahu opotrebenia



SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA

Kompenzácia montážnych chýb

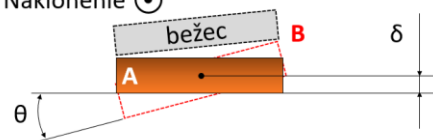
- Rozsah chýb 0-3 mm
- Poddajná podstava – silentbloky (NBR)
- Celková tuhosť uloženia



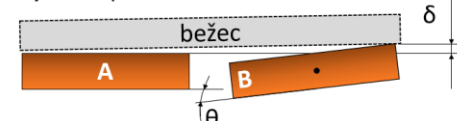
a) Výškové odsadenie ←



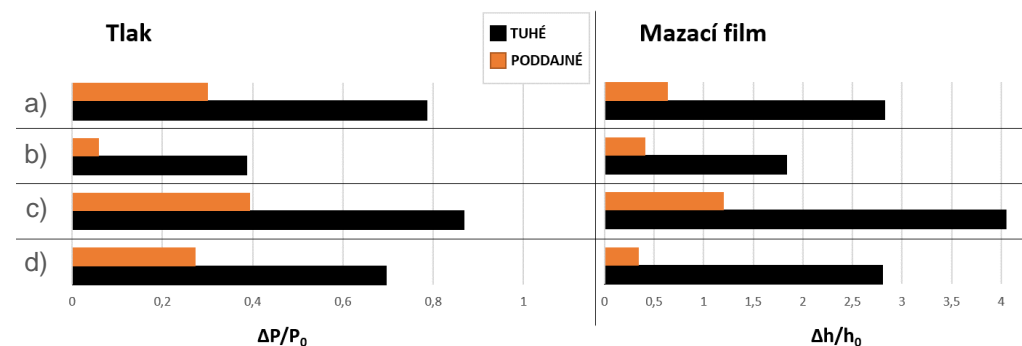
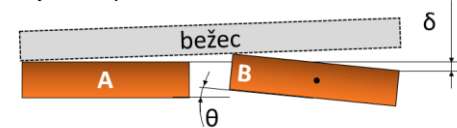
b) Naklonenie ⊙



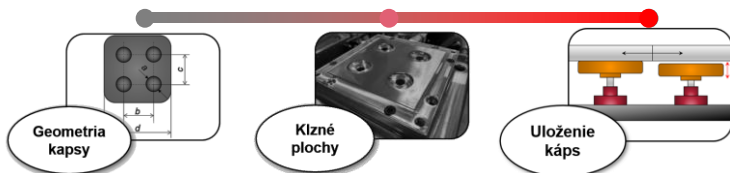
c) Naklonenie 1 ←





d) Naklonenie 2 ←

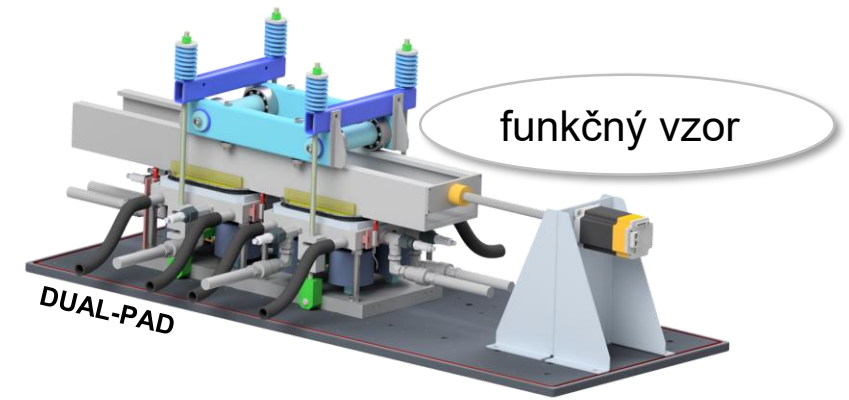


Montážna chyba typu a) pre $\delta = 1$ mm



ZÁVER

- ✓ Zhrnutie súčasného stavu poznania (J_{IMP} - IF 4,36, Q1)
- ✓ Experimentálne HS ložisko (G_{FUNK})
- ✓ Porovnanie uložení kapsy (J_{IMP} - IF 3,15, Q1)
- Optimalizácia geometrie kapsy  INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON
- Porovnanie materiálov klzných plôch 
- *Analýza a interpretácia výsledkov*



ĎAKUJEM VÁM ZA POZORNOST

Michal Michalec, Ing.

Michal.Michalec@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz

ZROVNANIE DISKRETIZAČNÝCH METÓD

Tab. 3 Porovnanie diskretizačných metód CFD.

| | FVM | FEM | FDM |
|------------------|--|--|--|
| Vhodnosť | rozloženie tlaku, prenos tepla, turbulentné prúdenie | Zmiešané formulácie a multifyzikálne úlohy | rozloženie tlaku, prenos tepla |
| Rýchlosť | stredná | pomalšia | rýchlejšia |
| Geometria | pravidelná geometria | ľubovoľná (aj zakrivená) | jednoduché a pravidelné domény (vyžaduje karteziánske siete) |

nepravidelné mriežky sú problematické

DYNAMICKÁ VISKOZITA

$\mu=f(T)$

Vogel-Fulcher-Tammann:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\frac{B}{T-T_{VF}}}$$

3-par. Power Law:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^n$$

HYDROSTATIC LUBRICATION
(*Bassani and Piccigallo*)

$$\mu = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)}$$

$\mu=f(p)$

Barus:

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha \cdot P}$$

Roelands:

$$\eta = \eta_0 \cdot \left(\frac{\eta_\infty}{\eta_0} \right)^{[1-(1+p/r)^z]}$$

$$\mu = \mu_0 e^{\gamma p}$$

TEXTÚRY – HS LOŽISKÁ

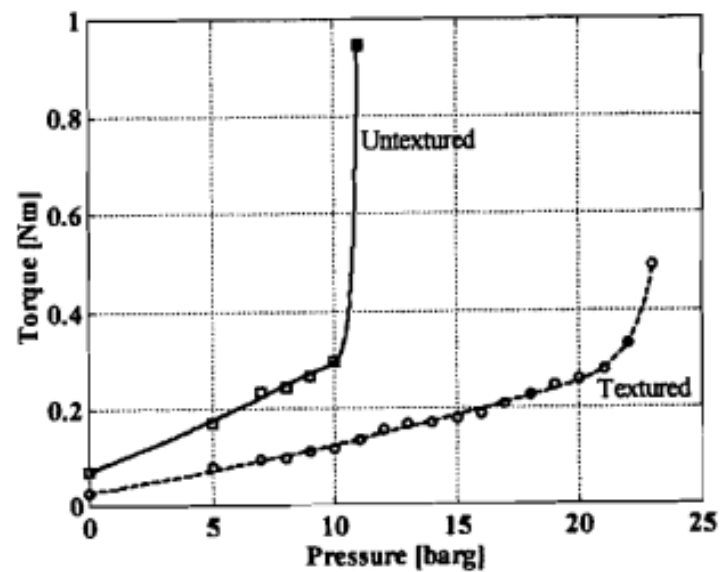
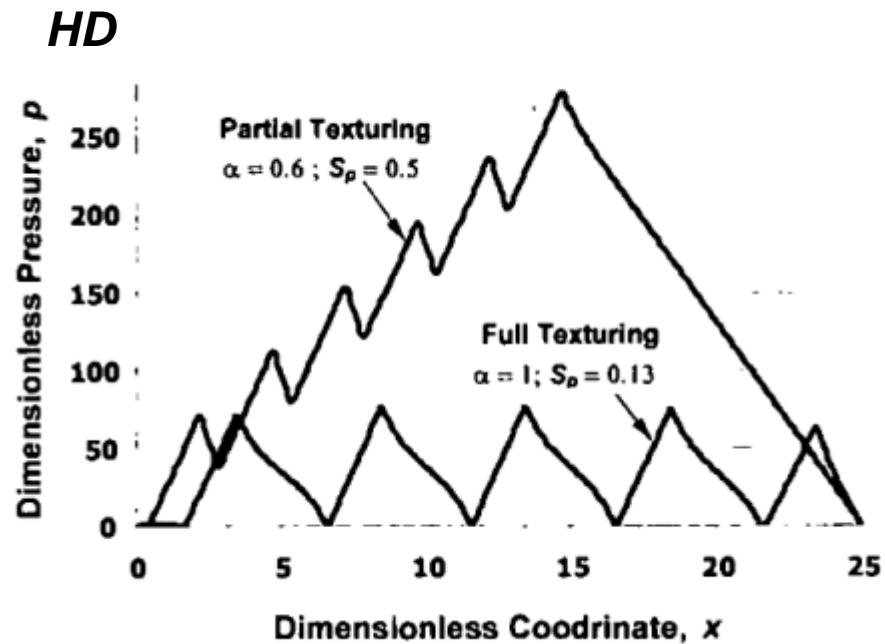


Fig. 7—Friction torque vs. sealed pressure for untextured and textured seals.

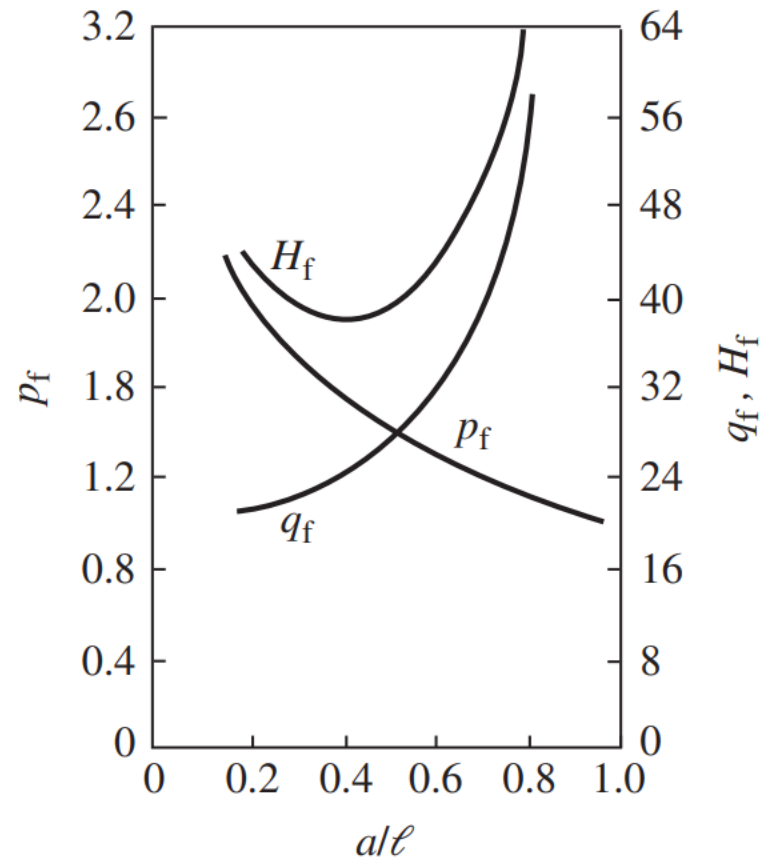
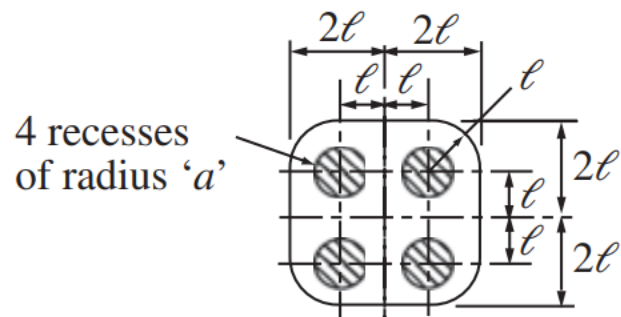


VÝPOČET – Applied Tribology (*Khonsari and Booser*)

$$P_S = P_f \times \frac{W}{(12 + \pi)\ell^2} \text{ psi}$$

$$Q = q_f \times \frac{W}{(12 + \pi)\ell^2} \times \frac{h^3}{12\mu} \text{ in.}^3/\text{s}/\text{pad}$$

$$E_P = H_f \times \left[\frac{W}{(12 + \pi)\ell^2} \right]^2 \times \frac{h^3}{12\mu} \text{ in. lb/s}/\text{pad}$$



HSL

