

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Vysoké učení technické v Brně – doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Další členové týmu – Ing. Josef Dlugoš, Ing. Peter Raffai, Ph.D.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze – Ing. Miroslav Emrich, Ph.D.

Technická univerzita v Liberci – Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

Hlavní cíl balíčku

Výzkum, vývoj a realizace výpočtových a experimentálních přístupů vhodných ke kompletnímu řešení mechanických ztrát s následnými návrhy pro snížení spotřeby paliv a emisí CO₂ budoucích pohonných jednotek na bázi spalovacích motorů, elektromotorů nebo hybridních pohonů.

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Dokončení vývoje výpočtových a experimentálních metod. Aplikace nových poznatků s cílem zvýšit mechanickou účinnost pohonných jednotek.

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Probíhající aktivity



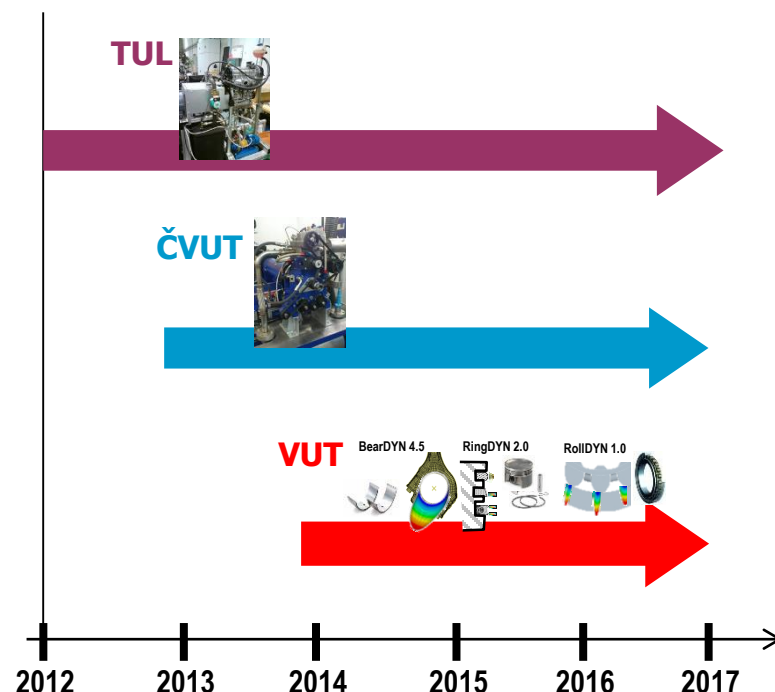
WP08A03: Experimentální výzkumné práce s komplexním vyhodnocením výsledků.
(2012 – 2017)



WP08A04: Vývoj a aplikace pokročilých experimentálních metod určování mechanických ztrát.
(2013 – 2017)



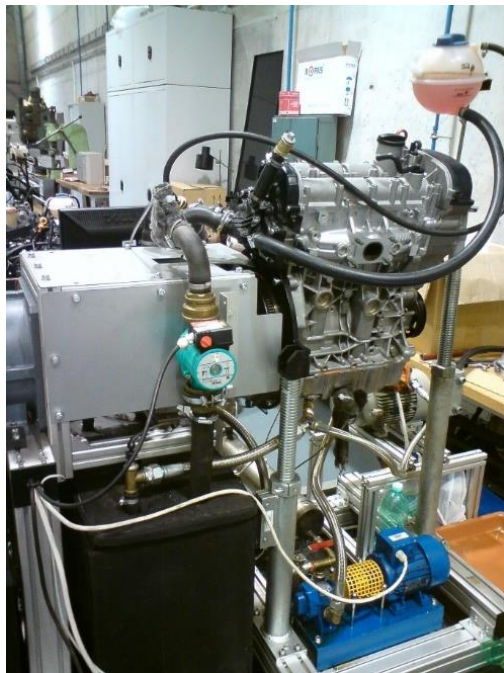
WP08A05: Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát mazací soustavy.
(2014 – 2017)



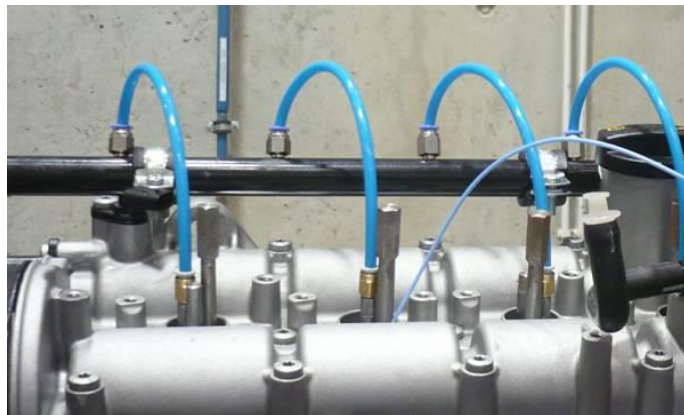
WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

- **WP08A03: Experimentální výzkumné práce s komplexním vyhodnocením výsledků: Určení podílu hlavních konstrukčních (TUL)**
 - Vývoj systému pro zvýšení tlaku ve válcích makety čtyřválcového spalovacího motoru.

**Maketa čtyřválcového
spalovacího motoru**



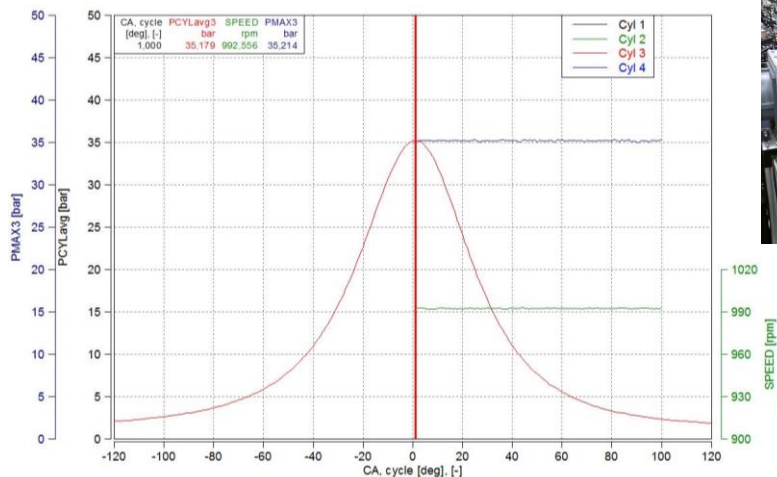
**Umístění multifunkčních šroubů a railu
vzduchu v partii hlavy motoru**



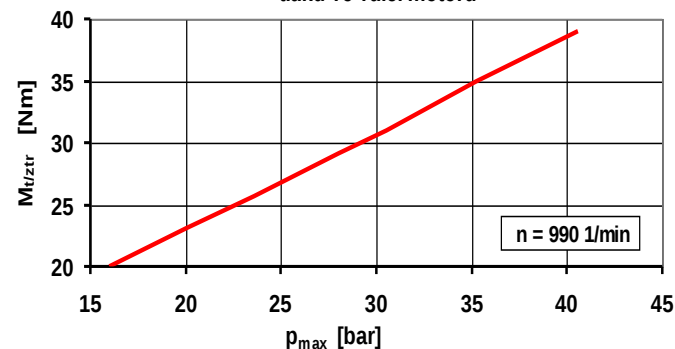
WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

- **WP08A03: Experimentální výzkumné práce s komplexním vyhodnocením výsledků: Určení podílu hlavních konstrukčních (TUL)**
 - Protáčení motoru s různě vysokým tlakem (počátečním nebo maximálním) ve válci poskytuje možnost zjistit proměnlivost třecích ztrát pístové skupiny (včetně třecích ztrát v ložiscích klikového mechanismu) v závislosti na tlaku ve válci motoru.

Průběh tlaku ve válci při vstupním tlaku vzduchu k jednocestnému ventilu 4 bar



Závislost ztrátového točivého momentu na maximálním tlaku ve válci motoru



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Vývoj a aplikace pokročilých experimentálních metod určování mechanických ztrát (ČVUT).

- Experimentálně zjištěny třecí ztráty dílčích komponent za různých provozních podmínek, využití pro validaci matematických modelů
- Dílčí komponenty digitalizovány a proměřeny, zadání vstupních parametrů matematického modelu

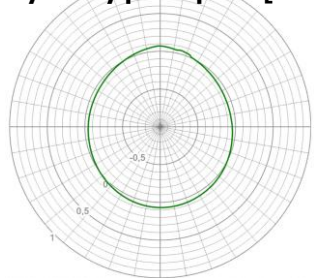
Stanovení profilu pístu
Píst



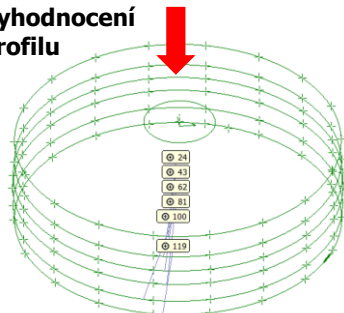
3D sken pístu



Výsledný profil pístu [mm]

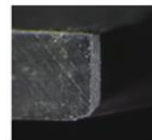


Vyhodnocení
profilu

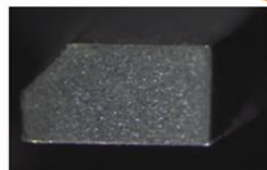


Skutečný profil pracovní plochy kroužku

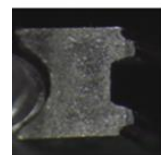
1. těsnicí kroužek



2. těsnicí
kroužek



Stírací kroužek



Výška
profilu
[μm]

-80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

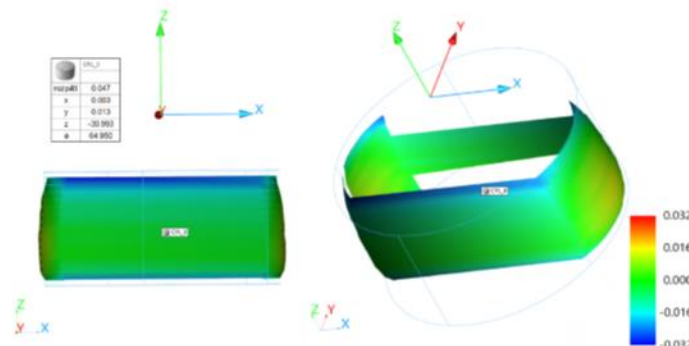
▪ Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát mazací soustavy (VUT v Brně)

- Analýza experimentálního spalovacího motoru (využití pro verifikaci výpočtových modelů)
- Stanovení skutečného tvaru pístu, vložky válce a kroužků

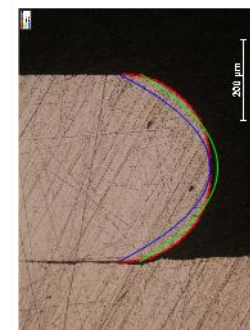
Experimentální motor



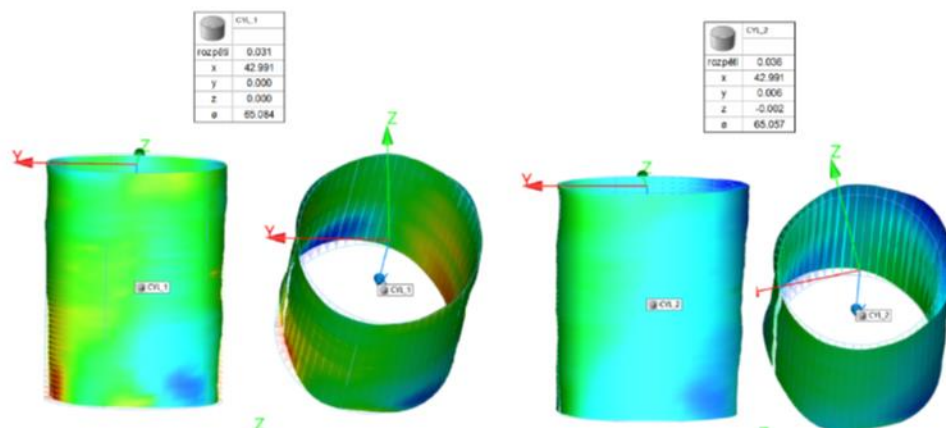
Skutečný tvar pístu



Skutečný tvar kroužku



Skutečný tvar vložky válce

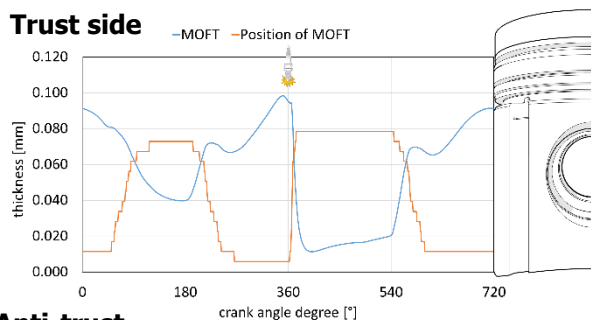


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

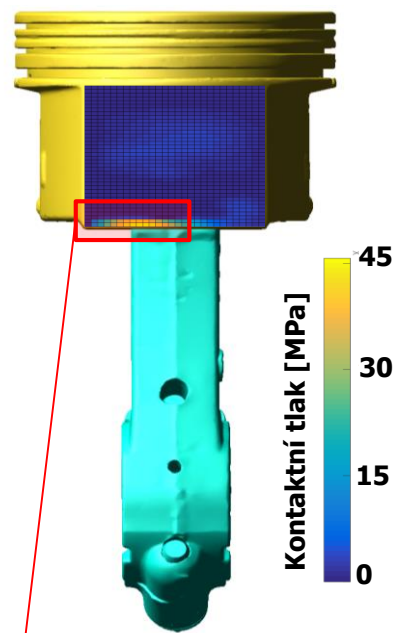
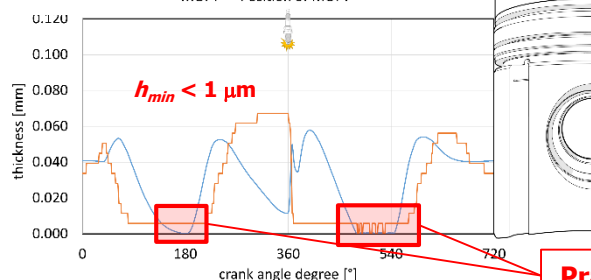
■ Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát mazací soustavy (VUT v Brně)

- Výpočtový model na bázi MBS kombinující dynamiku pružných těles, hydrodynamické mazání a kontaktní úlohu
- Paralelizace numerického řešení (výpočet Jacobiánu)

Minimální tloušťka olejové vrstvy



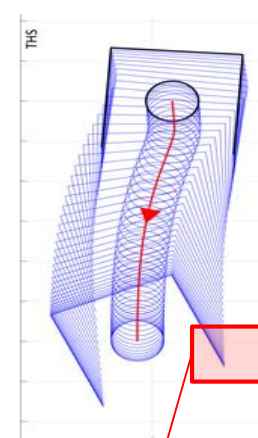
Anti-trust side



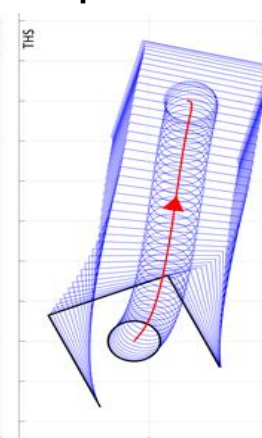
Pravděpodobnost zvýšeného opotřebení

Pohyb pístu

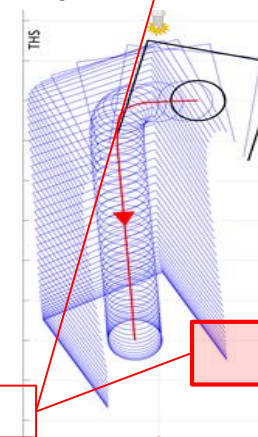
Sání



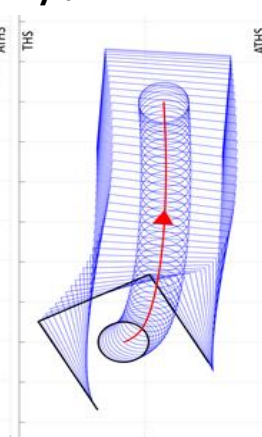
Komprese



Expanze



Výfuk

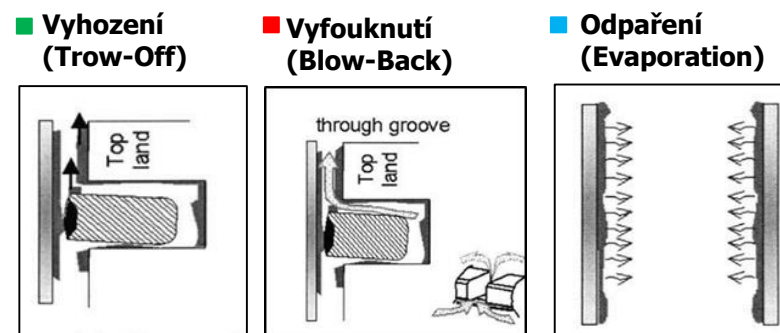
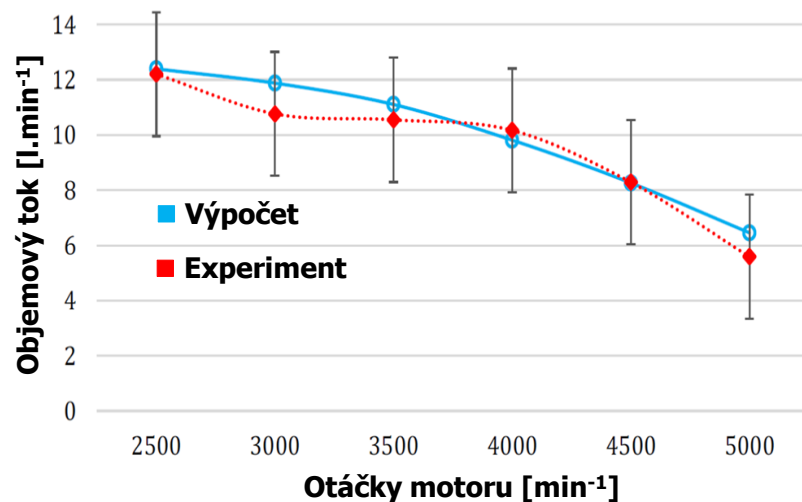


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

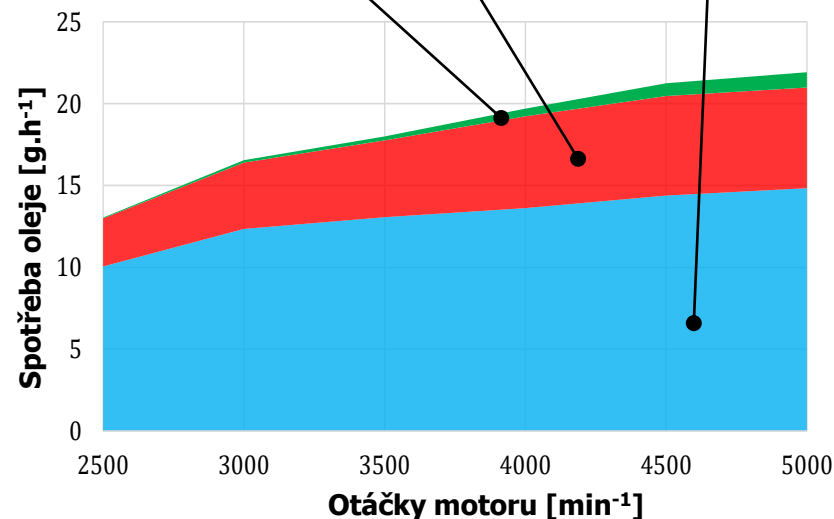
■ Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát mazací soustavy (VUT v Brně)

- Výpočtové nástroje pro stanovení profuku plynů a spotřeby oleje
- Aplikace na motor ŠKODA EA111

Profuk plynů pístní skupinou



Spotřeba oleje



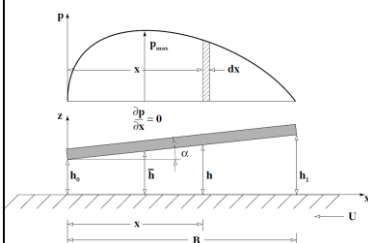
WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát mazací soustavy (VUT v Brně)

– Návrh ložisek dle různých přístupů

„Inženýrský“ přístup

Analytické řešení pro výpočet integrálních veličin. ✓



Únosnost

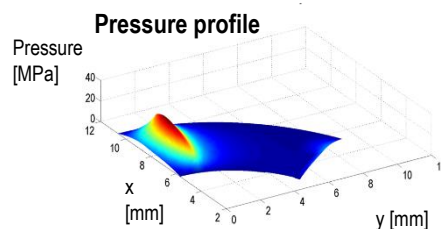
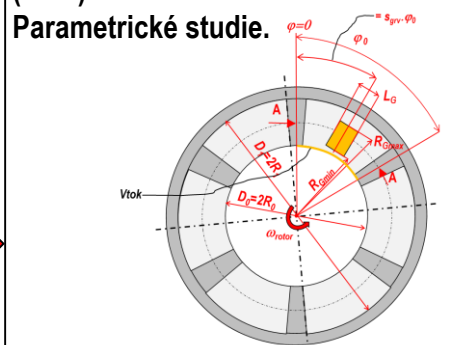
$$\frac{W}{L} = \frac{6U\eta B^2}{K^2 h_0^2} \left(-\ln(K+1) + \frac{2K}{K+2} \right)$$

Poměrná třecí síla

$$F_t^* = \frac{6}{K+2} + \frac{4\ln(K+1)}{K}$$

Parametrický přístup

Numerické řešení pro výpočet integrálních veličin (FDM).
Parametrické studie. ✓



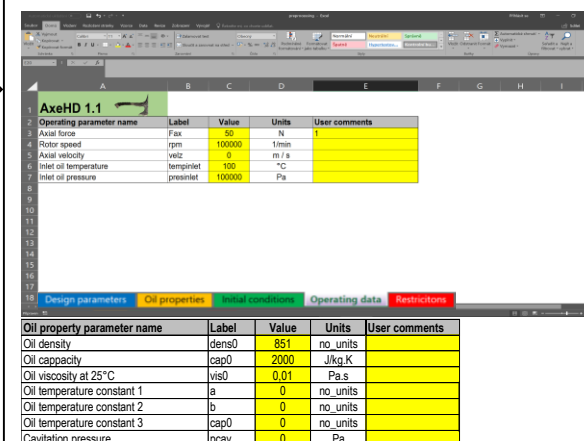
Optimalizační přístup

Numerické řešení pro výpočet integrálních veličin (FDM). ✓

Využití optimalizačních metod pro nalezení optimálních parametrů (Population-based Metaheuristic).

Samostatná aplikace.

GUI založeno na MS Excel.



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Výsledky dle RIV

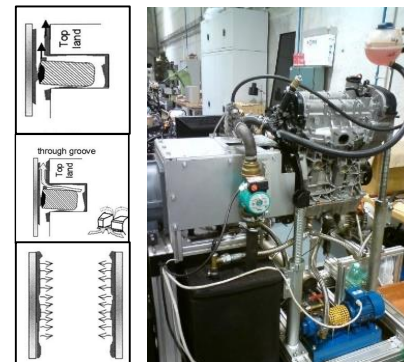
- WP08V003: Určení přínosu vybraných konstrukčních změn na snížení celkových mechanických ztrát motoru. **Splněno:** VOŽENÍLEK, R., BEROUN, S. A A. DITTRICH. Měření pasivních odporů pístového motoru protáčením se zvyšováním tlaku ve válci. In *KOKA 2017*, Liberec, 2017.

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Cíle a výstupy

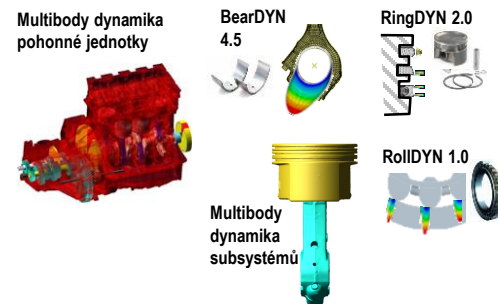
→ WP08C01: Soubor výsledků řešení problematiky pístní skupiny spalovacího motoru.

- ✓ Výpočtové přístupy s využitím MBD sw a vlastních funkcí s experimentálním ověřením (VUT v Brně)
- ✓ Experimentální stav pro měření třecích ztrát čtyřválcového spalovacího motoru TUL
- ✓ Disertační práce: Ing. Peter Raffai, Ph.D., téma Ph.D. práce – Modeling the Impact of Piston Rings on Oil Consumption of Internal Combustion Engines, 2017
- ✓ Disertační práce: Ing. Jozef Dlugoš, téma Ph.D. práce Pokročilé řešení dynamiky pístové skupiny, dokončení 12/2017



→ WP08C02: Soubor výsledků řešení problematiky mazací soustavy pohonné jednotky.

- ✓ Výpočtové přístupy pro analýzu a návrh prvků mazací soustavy (BearDYN, RingDYN, RollDYN)
- ✓ Experimentální ověření na vybraných úlohách.
- ✓ Disertační práce: Ing. Ondřej Maršálek, Ph.D., téma Ph.D. práce – Advanced Methods for the Solution of Journal Bearing Dynamics, 2015



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

- **Děkuji za pozornost.**

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

Hlavní výstupy 2017

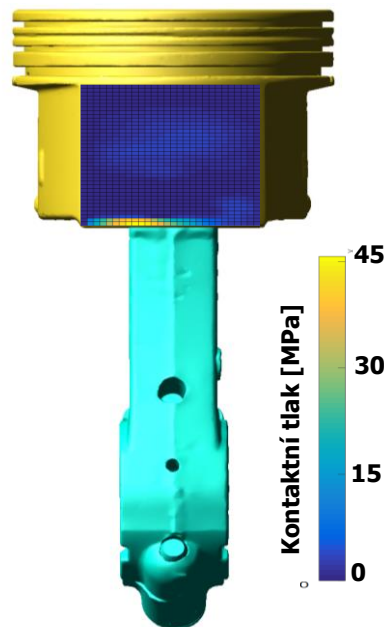
Specializované výpočtové přístupy

- ✓ Pistní kroužky v kontaktu s vložkou válce
- ✓ Stanovení spotřeby oleje
- ✓ Podmínky smíšeného mazání
- ✓ Kontakty nerovností
- ✓ Vliv nerovností na mazání



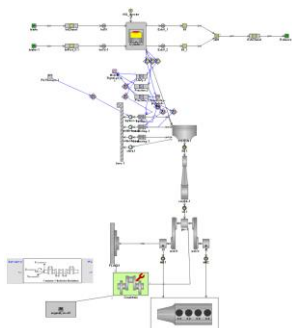
3D výpočtové přístupy na bázi MBS

- ✓ Dynamika tuhých a pružných těles (3D)
- ✓ Podmínky smíšeného mazání
- ✓ Obecný pohyb
- ✓ Vliv na dynamiku a NVH



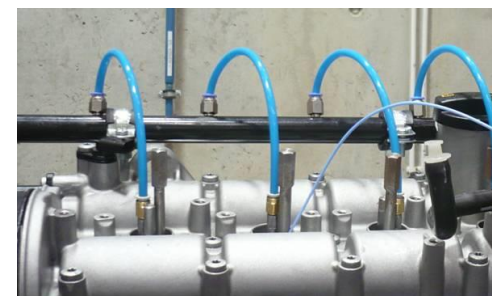
Výpočtové přístupy na bázi diskrétních modelů v GT Crank

- ✓ Rozšířený mechanicko - termodynamický model



Specializované experimentální zařízení – maketa motoru

- ✓ Experimentální čtyřválcový spalovací motor
- ✓ Systém pro zvýšení tlaku ve válcích pro makety čtyřválcového spalovacího motoru.



WP08: Reducing of Powertrain Mechanical Losses

Main Results 2017

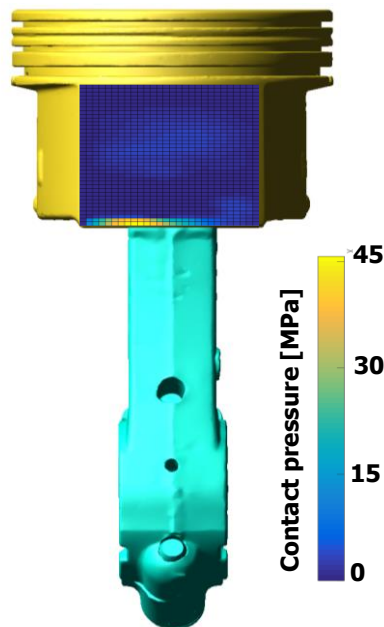
Specialized computational approaches

- ✓ Mixed lubrication conditions
- ✓ Surface roughness contacts
- ✓ Lubrication influenced by surface roughness



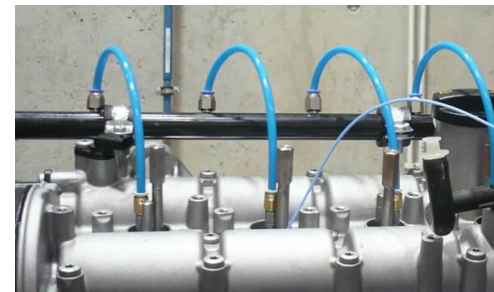
3D computational models based on MBS

- ✓ Flexible bodies based on FEM discretisation
- ✓ Mixed lubrication conditions



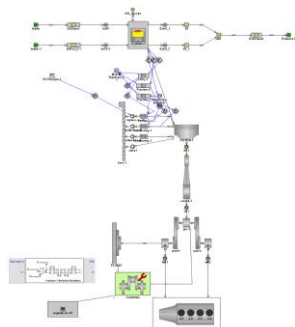
Specialized experimental engine benches

- ✓ Experimental SI engine
- ✓ System for pressure increase in combustion chamber



Discrete computational approaches based on GT Crank

- ✓ Extended mechanical-thermal model

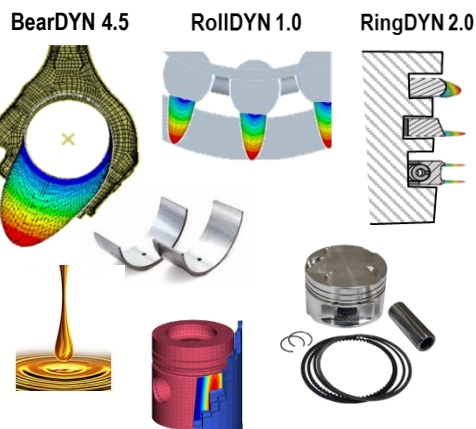


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

Hlavní výstupy 2012 – 2017

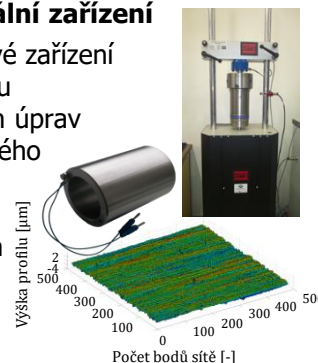
Specializované výpočtové přístupy

- Detailní řešení pro kluzná a valivá ložiska, pístní kroužky, píst, profuky pístní skupinou atd.
- Podmínky smíšeného mazání
- Kontakty nerovností
- Vliv nerovností na mazání
- Proměnné vlastnosti maziv



Specializované elementární experimentální zařízení

- Jednúčelové zařízení
- Ověření vlivu povrchových úprav nebo tepelného zpracování
- Ověření výpočtových modelů



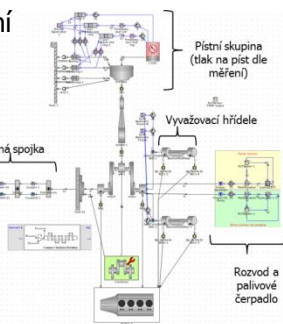
Specializované experimentální zařízení – makety motorů

- Ověření nových konstrukčních prvků spalovacích motorů
- Porovnání konstrukčních variant
- Ověření výpočtových modelů



Výpočtové přístupy na bázi diskrétních modelů v GT Crank

- Rychlé, robustní řešení
- Podmínky smíšeného mazání
- Multi-fyzikální modely
- Koordinace s technickými experimenty



3D výpočtové přístupy na bázi MBS

- Dynamika tuhých a pružných těles (3D)
- Podmínky smíšeného mazání
- Obecný pohyb
- Vliv na dynamiku a NVH



Jednoválcový experimentální motor

- Vývoj dílčích konstrukčních skupin v reálných podmínkách
- Porovnání konstrukčních variant
- Ověření výpočtových modelů



Metodika pro sériové motory

- Ověření finálních řešení
- Dlouhodobé zkoušky
- Ověření výpočtových modelů

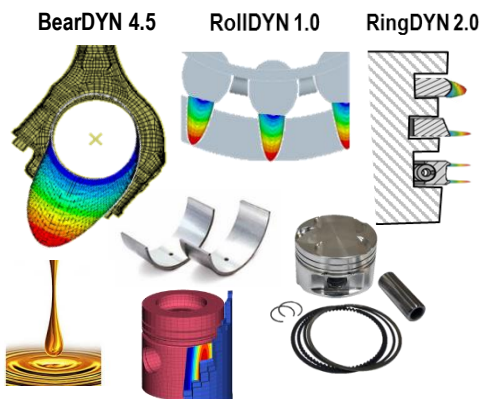


WP08: Reducing of Powertrain Mechanical Losses

Main Results 2012 – 2017

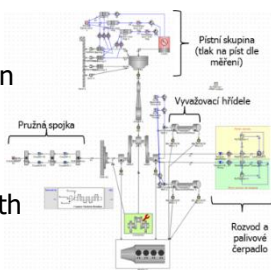
Specialized computational approaches

- Detailed solution of slide and rolling bearings, piston rings, piston assembly, blow-by etc.
- Mixed lubrication conditions
- Surface roughness contacts
- Lubrication influenced by surface roughness



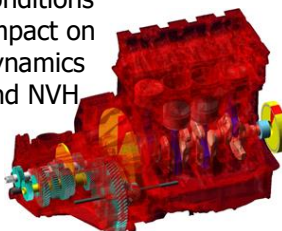
Discrete computational approaches based on GT Crank

- Fast and robust solution
- Mixed lubrication conditions
- Multi-physical solutions
- Coordination with technical experiments



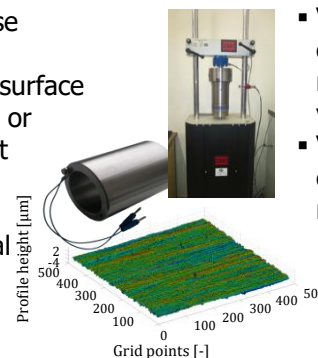
3D computational approaches based on MBS

- General dynamics of 3D flexible bodies
- Mixed lubrication conditions
- Impact on dynamics and NVH



Specialized elementary experimental test benches

- Single purpose equipment
- Validation of surface modifications or chemical-heat treatments
- Validation of computational models



Specialized experimental motor benches

- Verifications and comparisons of new design variant
- Validation of computational models



Tests on single-cylinder experimental engine

- Research and development of engine subsystems in real conditions
- Comparison of design variants
- Validation of computational models



Methodology for series engines

- Validations of final solutions
- Long term tests
- Validations of computational models

