

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

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

Tým – Ing. Ondřej Maršálek, Ing. Peter Raffai, Ing. Lubomír Drápal

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

Výzkum a vývoj výpočtových metod pro řešení mechanických ztrát pístní skupiny a kluzných ložisek 12/2014.

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

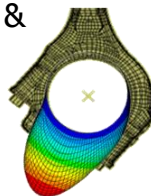
▪ Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek (VUT v Brně)

**Počáteční
konstrukční návrh,
prototyp pohonné
jednotky**

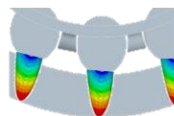


**Specializované
výpočtové přístupy**

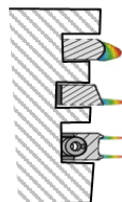
BearDYN 3.1
Dynamika &
tribologie
kluzných
ložisek



RoIIDYN 1.0
Dynamika &
tribologie
valivých
ložisek

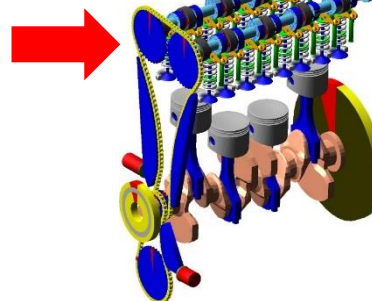


RingDYN 2.0
Dynamika &
tribologie
pístní
skupiny



**Výpočtové
přístupy na
bázi MBS**

Virtuální
pohonná
jednotka



Ověření
navržených
řešení

**Inovovaný
konstrukční návrh,
prototyp pohonné
jednotky**



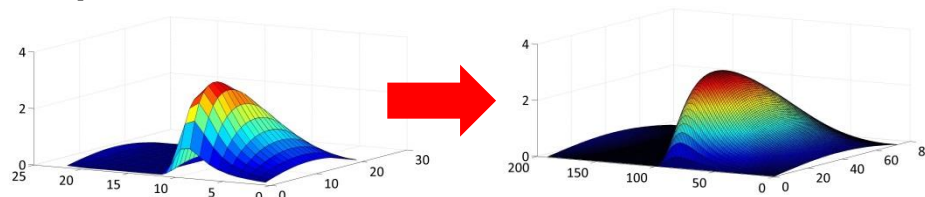
WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Vývoj numerických algoritmů pro řešení dílčích tribologických problémů (VUT v Brně)

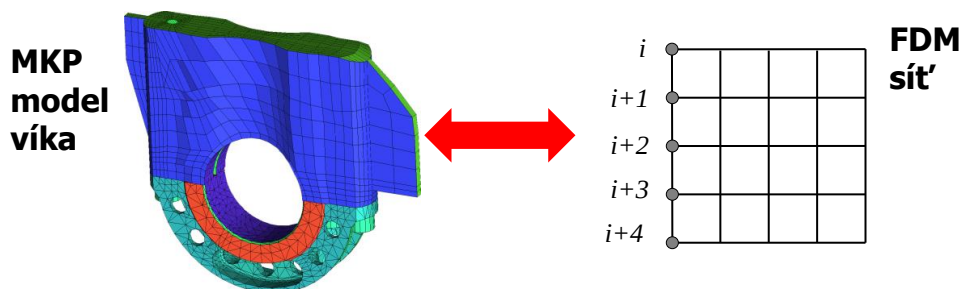
- Vývoj rychlého algoritmu pro převzorkování dat

Lagrangeův interpolační polynom třetího stupně

$$L_3(x) = f(x_0) \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)} + \dots$$



- MKP síť pro řešení strukturálního problému (koordinace **WP07**)
- MKD síť pro řešení hydrodynamického problému



- Testování a rychlostní optimalizace mezi-síťových operací

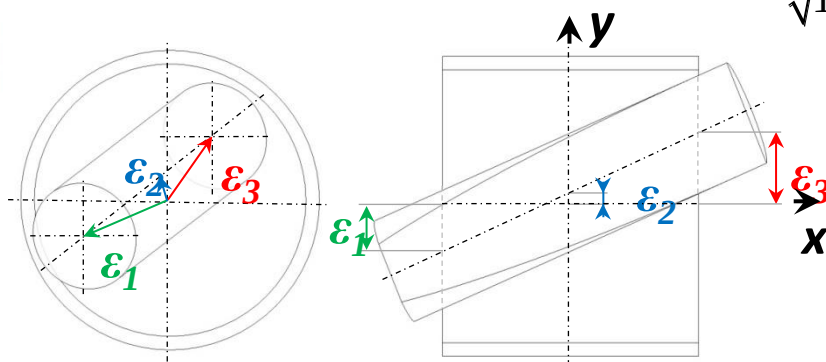
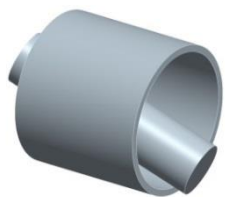
WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Vývoj numerických algoritmů pro řešení dílčích tribologických problémů (VUT v Brně)

– Vývoj nové teorie popisu výšky mazací mezery

- Klopný úhel v rovině nejmenší mazací mezery: $\gamma = \left(\frac{\varepsilon_{32} - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)$

- Klopný úhel v rovině kolmé na rovinu nejmenší mazací mezery: $\delta = \frac{\varepsilon_{3\perp}}{\sqrt{1 - (\varepsilon + \gamma \cdot (1 - \varepsilon))^2}}$



- Výsledná podoba vztahu pro určení výšky mazací mezery:

$$H = 1 + (\varepsilon - Z \cdot \gamma \cdot (1 - \varepsilon)) \cdot \cos \varphi + \delta \cdot Z \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{1 - (\varepsilon + (1 - \varepsilon) \cdot |\gamma|)^2}$$

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Vývoj numerických algoritmů pro řešení dílčích tribologických problémů (VUT v Brně)

– Testování variant stanovování výšky mazací mezery

- Rebbert – odvození naklopeného stavu čepu ze stavu nenaklopeného, klopení uvažováno pouze v rovině nejmenší mazací mezery

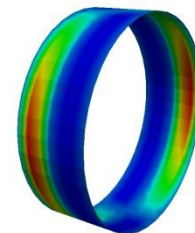
$$H = 1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi, P = P / (1 + \gamma \cdot Z)^3$$

- Novotný – uvažování dvou klopných rovin

$$H = 1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi + Z \cdot (-\gamma \cdot \cos \varphi + \gamma \cdot \cos \varphi \cdot \varepsilon - \delta \cdot \sin \varphi)$$

- Maršálek – uvažování dvou klopných rovin, eliminace nereálných stavů pozice čepu vůči pánvi

$$H = 1 + (\varepsilon - Z \cdot \gamma \cdot (1 - \varepsilon)) \cdot \cos \varphi + \delta \cdot Z \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{1 - (\varepsilon + (1 - \varepsilon) \cdot |\gamma|)^2}$$

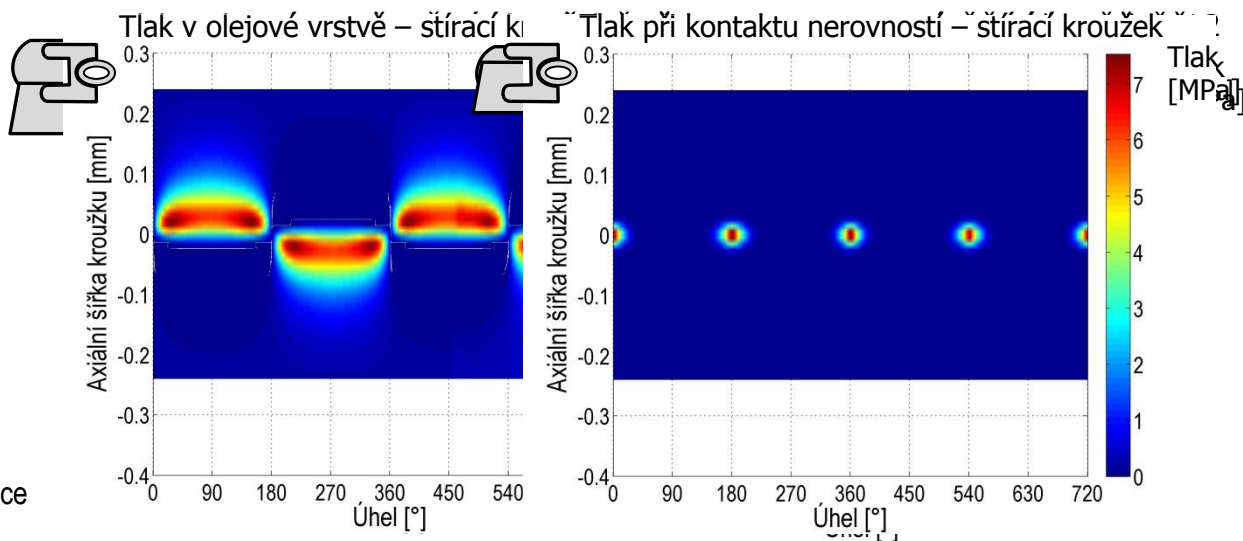
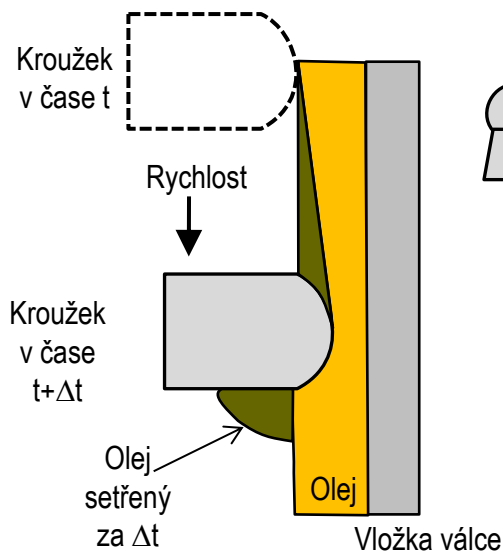
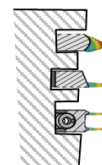


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Rozšíření modelu pro řešení dynamiky pístních kroužků (VUT v Brně)

- Numerické řešení s adaptabilním integračním krokem
- Model pro stanovení množství setřeného oleje
- Postprocesor pro vizualizaci rozložení tlaku (hydrodynamika. & kontakty nerovností)

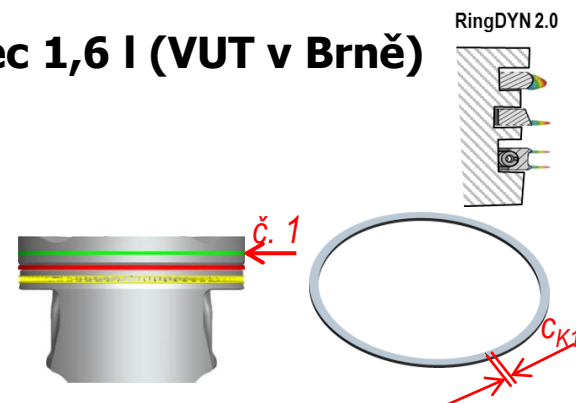
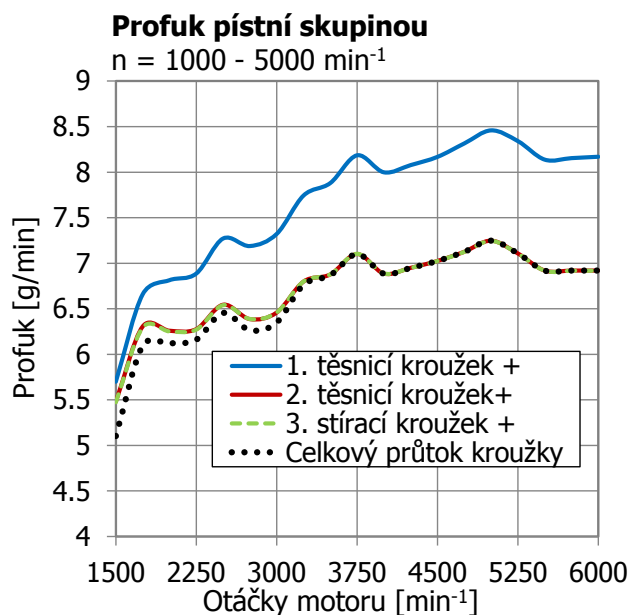
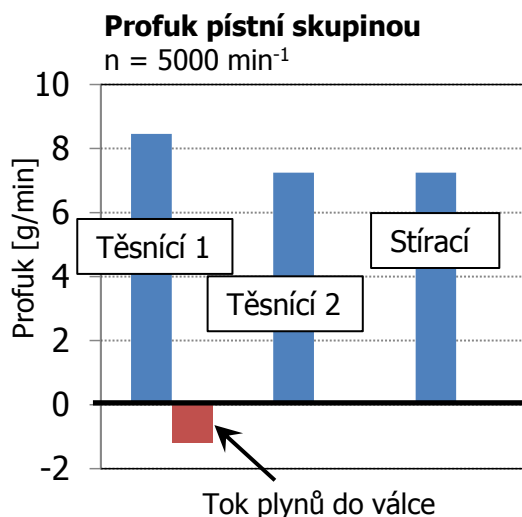
RingDYN 2.0



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Aplikace RingDYN – nepřepřlňovaný zážehový čtyřválec 1,6 l (VUT v Brně)

– Vliv konstrukčních parametrů na profuk pístní skupinou

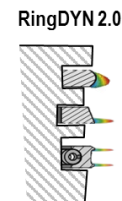


Matice vlivu parametrů

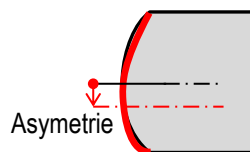
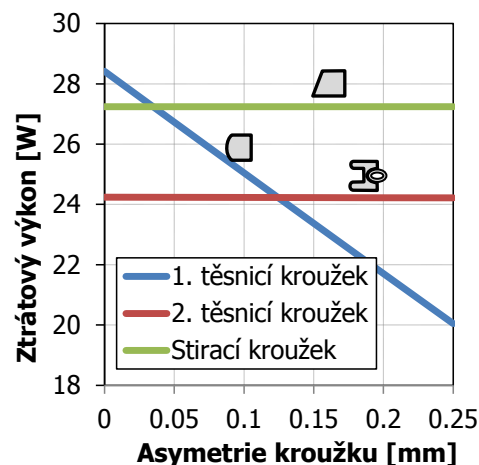
Veličina	Průtok	Tlak za kroužky		
		1. těsnící kroužek	2. těsnící kroužek	3. stírací kroužek
c_1	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný
c_2	velký +	velký +	velký +	velký +
c_3	střední +	velký +	velký +	velký +
c_4	0 pro VS			
c_5	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný
c_6	střední +	zanedbatelný	malý -	malý -
c_7	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný	zanedbatelný
h_1	zanedbatelný	velký +	zanedbatelný	zanedbatelný
h_3	zanedbatelný	zanedbatelný	velký +	velký +
h_5	střední +	zanedbatelný	zanedbatelný	střední +

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

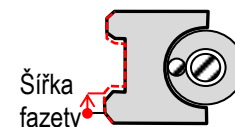
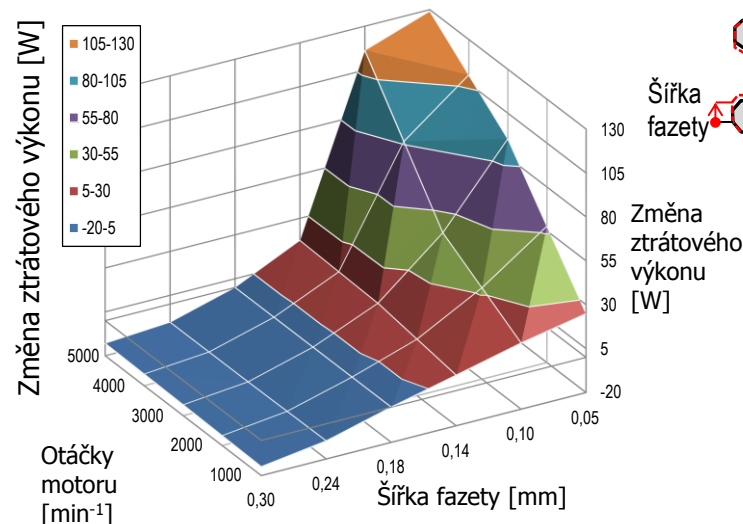
- **Aplikace RingDYN – nepřepřítňovaný zážehový čtyřválec 1,6 l (VUT v Brně)**
– Vliv konstrukčních parametrů na třecí ztráty pístních kroužků



Vliv asymetrického profilu těsnícího kroužku



Vliv šířky fazety stíracího kroužku

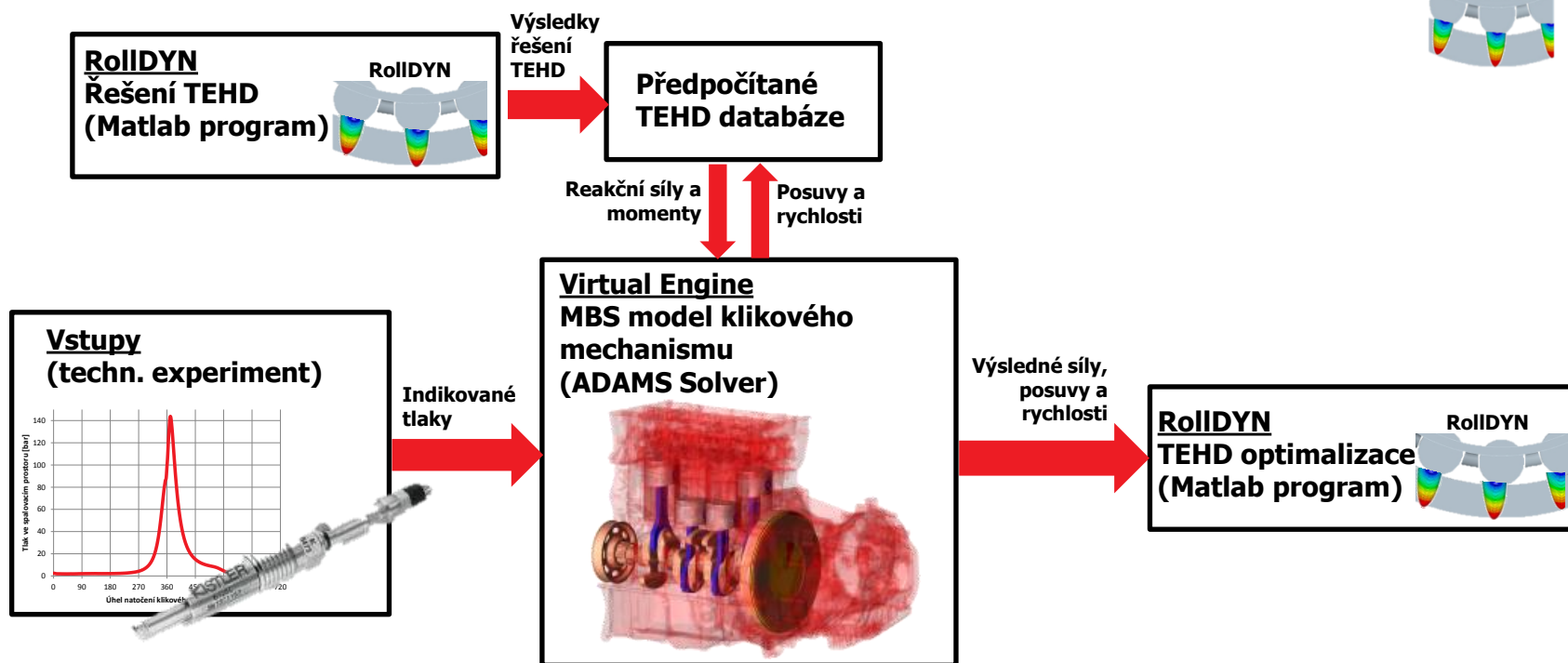
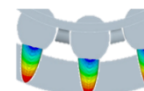


Pozn.: Pro vyjádření změn je použita hodnota šířky fazety 0,18 mm.

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Strategie výpočtového modelování valivých ložisek (VUT v Brně)

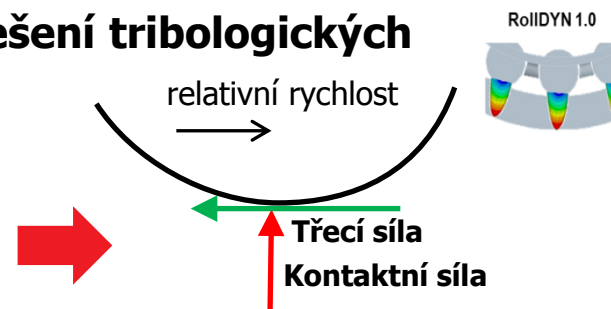
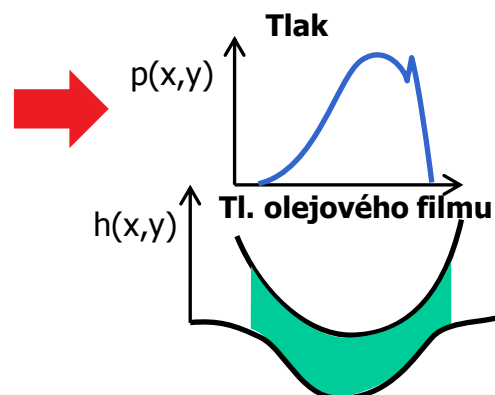
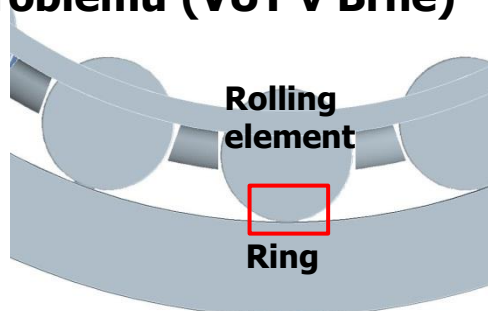
RollIDYN 1.0



- Analytické řešení HD
- Numerické řešení EHD (Grubinovo řešení)
- Koordinace s **WP07 a WP10**

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Další postup - vývoj numerických algoritmů pro řešení tribologických problémů (VUT v Brně)



▪ Uvažované vlivy

- Kontaktní geometrie
- Hustota závislá na tlaku
- Viskozita závislá na teplotě a tlaku
- Drsnost povrchu
- Elastické deformace

Reynoldsova rovnice (neustálené proudění)

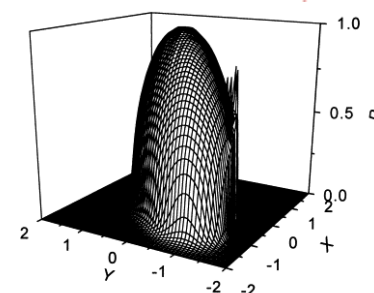
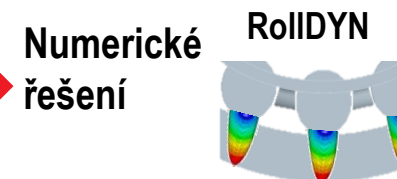
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) - u_m \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

Tloušťka olej. filmu – elastické deformace

$$h(x, y) = h_0 + \frac{x^2}{2R_x} + \frac{y^2}{2R_y} + \frac{2}{\pi E'} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{p(x', y') dx' dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}}$$

Rovnováha sil

$$w = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x', y') dx' dy'$$



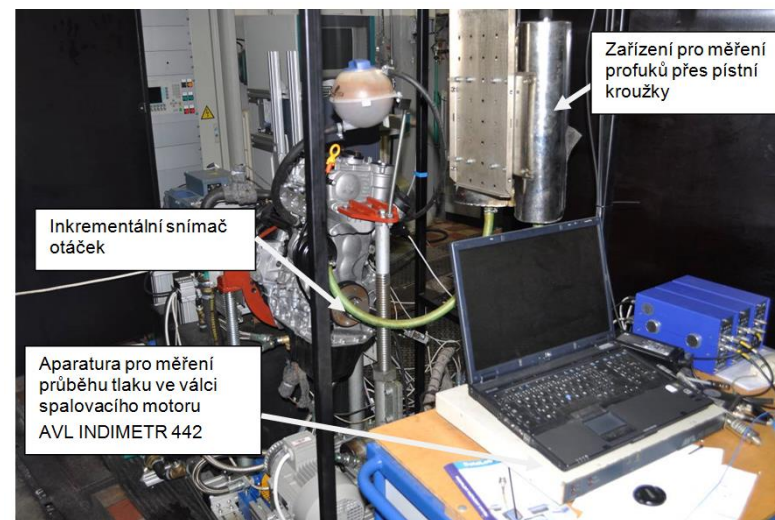
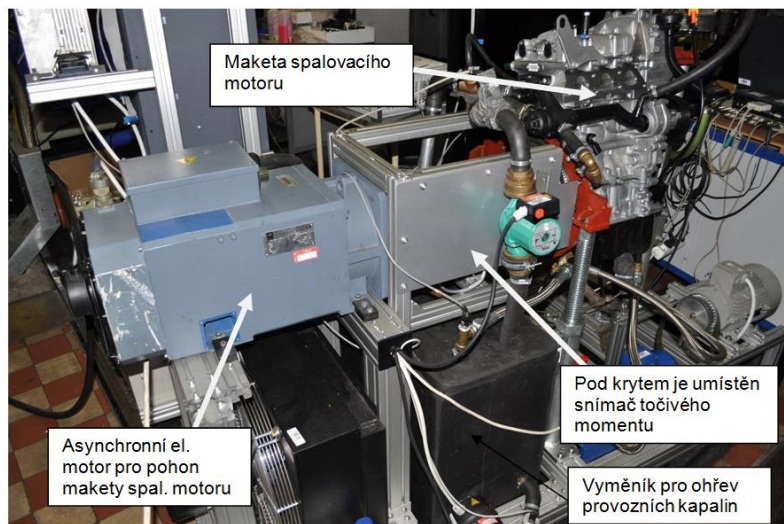
▪ Numerické řešení 6/2014

▪ Koordinace WP10

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

- **Experimentální určení podílu hlavních konstrukčních skupin na celkových mechanických ztrátách motoru v různých provozních podmínkách (TU Liberec)**
 - Profuk přes pístní kroužky (AVL 442 BLOW BY METER)
 - Indikace tlaků ve všech válcích motoru (AVL 619 INDIMER)

Zkušební stanoviště

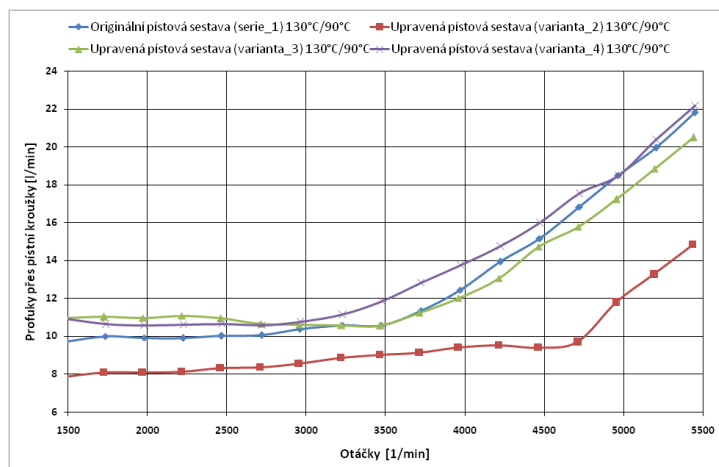


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

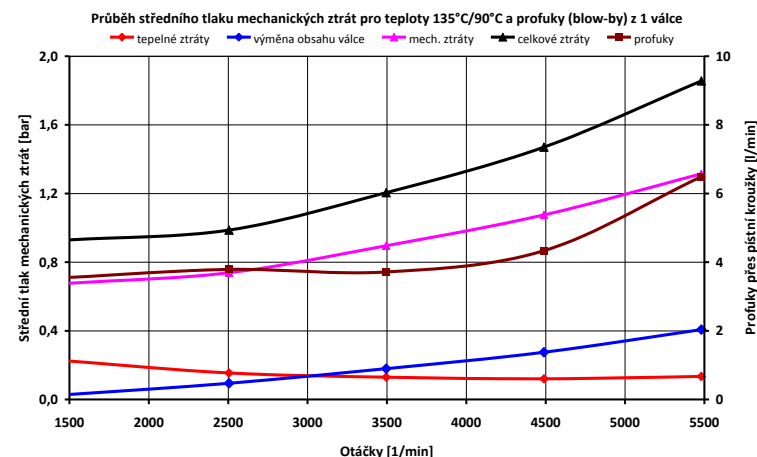
▪ Experimentální určení podílu hlavních konstrukčních skupin na celkových mechanických ztrátách motoru v různých provozních podmínkách (TU Liberec)

- Profuk přes pístní kroužky (AVL 442 BLOW BY METER)
- Indikace tlaků ve všech válcích motoru (AVL 619 INDIMER)

Měření profuků při protáčení motoru



Termodynamická analýza změřeného průběhu tlaku ve válci



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

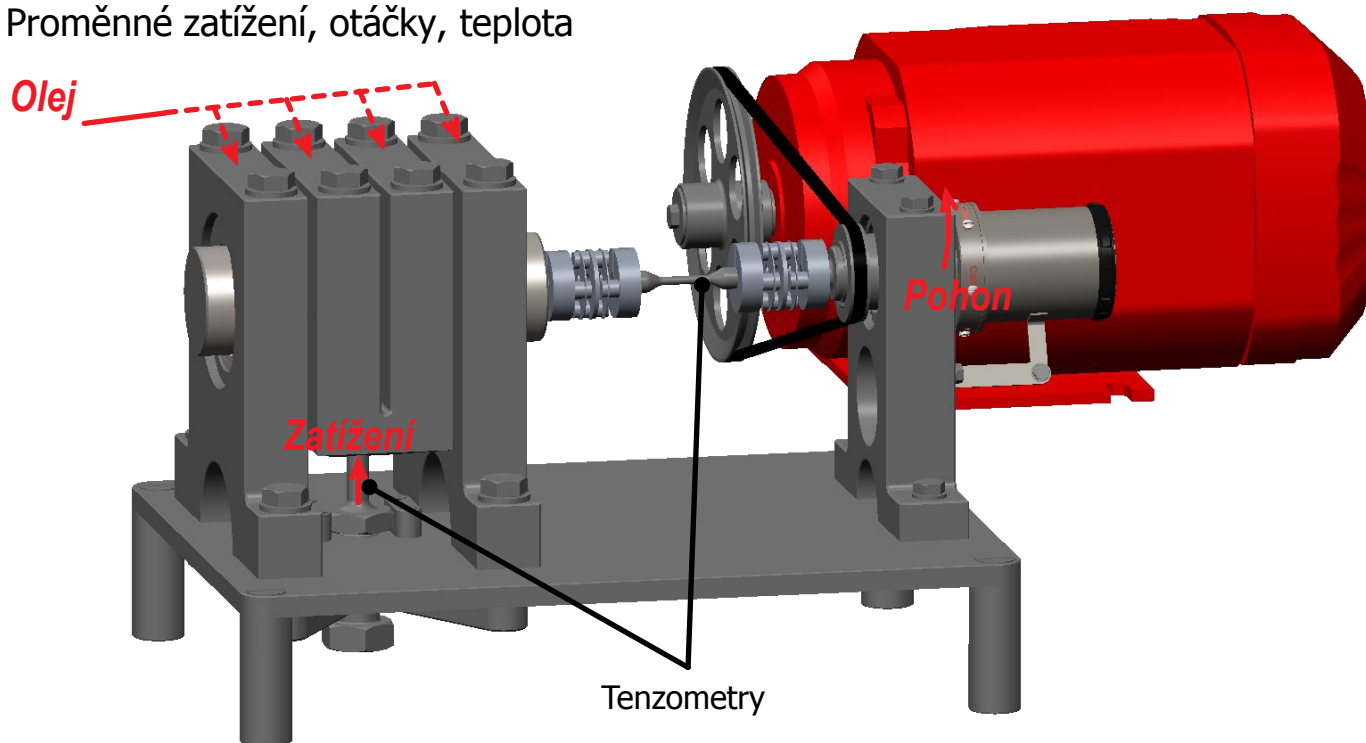
▪ Hlavní výsledky

- Rychlý algoritmus řešení HD problému – aplikace v FEV Virtual Engine (VUT v Brně)
- Realizace výpočtových přístupů k řešení dynamiky kluzného ložiska – software BearDYN 3.1 (VUT v Brně)
- Realizace výpočtových přístupů k řešení dynamiky pístní skupiny – software RingDYN 2.1 (VUT v Brně)
- Realizace výpočtových přístupů k řešení dynamiky valivého ložiska – software RollDYN 1.0 (VUT v Brně)
- Experimentální určení podílu konstrukčních skupin spalovacího motoru tzv. „Odstrojovací metoda“ v koordinaci s výpočtovými přístupy (VUT v Brně)
- Experimentální určení podílu hlavních konstrukčních skupin (pístní skupina) na celkových mechanických protáčeních motoru (TU Liberec)

WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

▪ Další postup - příprava dílčích experimentů nutných k ověření výpočtových metod (VUT v Brně)

- Návrh konstrukce přesného testovacího zařízení ložisek
- Proměnné zatížení, otáčky, teplota

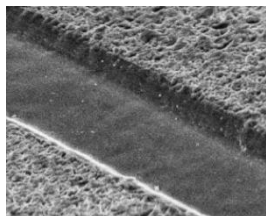


WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

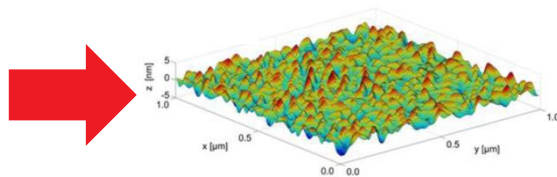
▪ Další plánované postupy (VUT v Brně)

- Pokračování vývoje jednotlivých dílčích výpočetních kódů
- Vývoj komplexního řešiče kluzných ložisek (mixed lubrication)
- Vývoj a testování zkušebního stavu ložisek
- Aplikace nabytých znalostí ve spolupráci na vývoji nových kluzných materiálů a povrchů, umožňujících dosažení nižších emisí CO₂ u spalovacích motorů

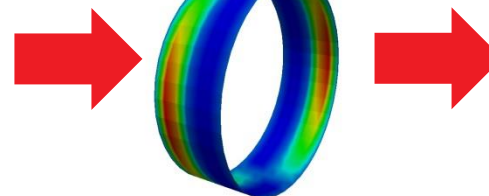
Reálné povrchy



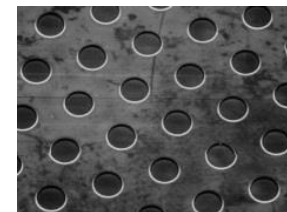
Statistický popis



**Řešení hydrodynamiky
s vlivem nerovnosti
povrchů**



**Cílená topografie
povrchu**



WP08: Snižování mechanických ztrát pohonných jednotek

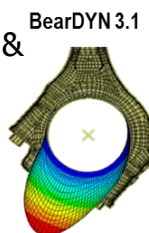
Hlavní výstupy

**Počáteční
konstrukční návrh,
prototyp pohonné
jednotky**

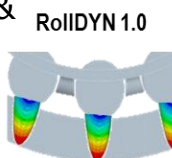


**Specializované
výpočtové přístupy**

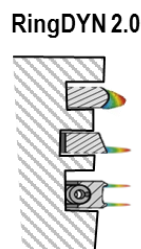
Dynamika &
tribologie
kluzných
ložisek



Dynamika &
tribologie
valivých
ložisek

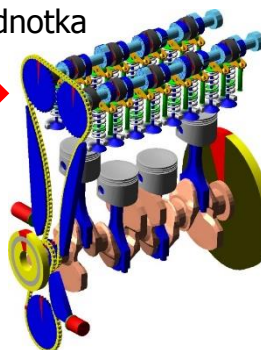


Dynamika &
tribologie
pístních
kroužků



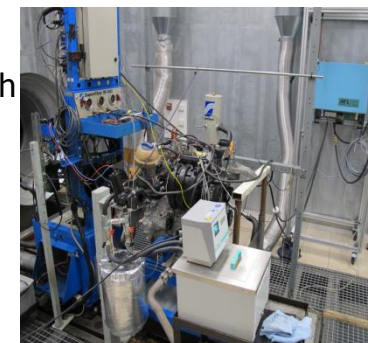
**Výpočtové
přístupy na
bázi MBS**

Virtuální
pohonná
jednotka



Ověření
navržených
řešení

**Inovovaný konstrukční
návrh, prototyp
pohonné jednotky**



WP08: Reducing of powertrain mechanical losses

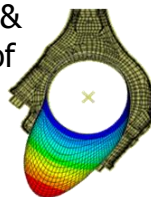
Current Main Results

Initial design or prototype of powertrain

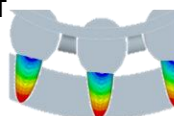


Specialized computational models

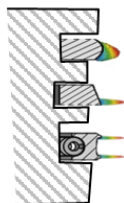
BearDYN 3.1
Dynamics & tribology of slide bearings



RoIIDYN 1.0
Dynamics & tribology of roller bearings

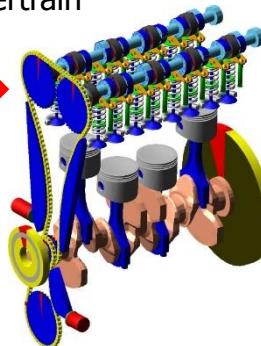


RingDYN 2.0
Dynamics & tribology of piston assembly



Computational models based on MBS

Virtual powertrain



Powertrain prototype, final verification

Validation of proposed solutions

