

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, zodpovědná osoba doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze, G. Achtenová; ŠKODA AUTO a. s., B. Novotný.

Hlavní cíl balíčku

Cíle jsou a) komplexní výzkum metod snižování hluku a vibrací ozubení a jejich ověření. Bude vytvořena databáze příčin vzniku vibrací a hluku ozubení a zpracována metodika jejich možné eliminace; b) kompaktní a lehký řadicí mechanismus převodovky s ozubenými koly.

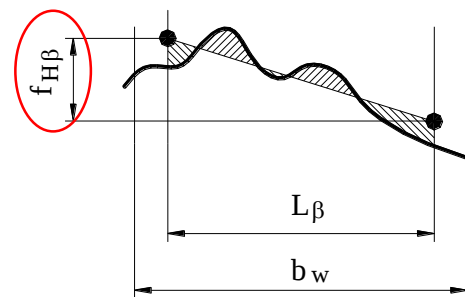
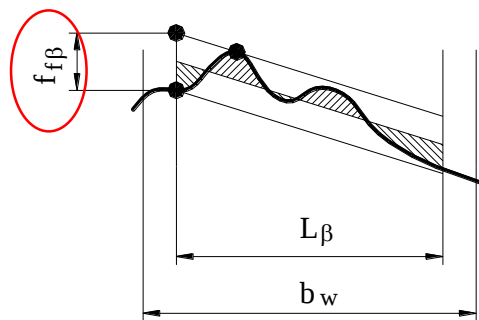
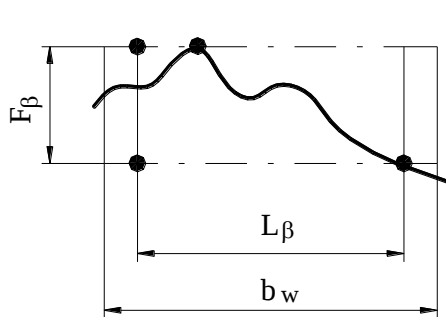
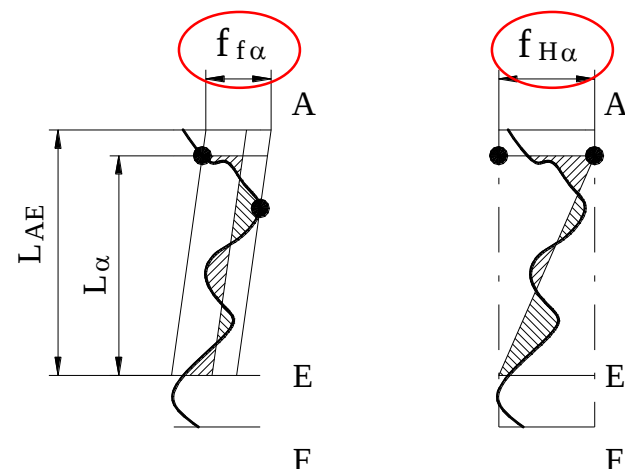
Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

Měření vlivu imperfekcí ozubení a uložení hřídelů na hluk a vibrace a tvorba databáze. Příprava měření chyby převodu celých převodovek. Realizace životnostních i funkčních zkoušek tradičních i netradičních mechanismů řazení.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

WP16C01: Databáze vlivu vybraných výrobních tolerancí ozubení a montážních chyb ve vztahu k jeho hluku a vibracím.

	Název úchytky	Označení	Váha úchytky V_x [%]
1	Úchylka tvaru profilu	f_{fa}	?
2	Úchylka úhlu profilu	f_{Ha}	?
3	Úchylka tvaru boků zubů	$f_{f\beta}$	?
4	Úchylka sklonu zubů	$f_{H\beta}$	?
5	Úchylka čelní rozteče	f_p	?
6	Úchylka sousedních roztečí	f_u	?
7	Součtová úchylka	F_p	?
8	Obvodové házení ozubení	F_r	?



Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

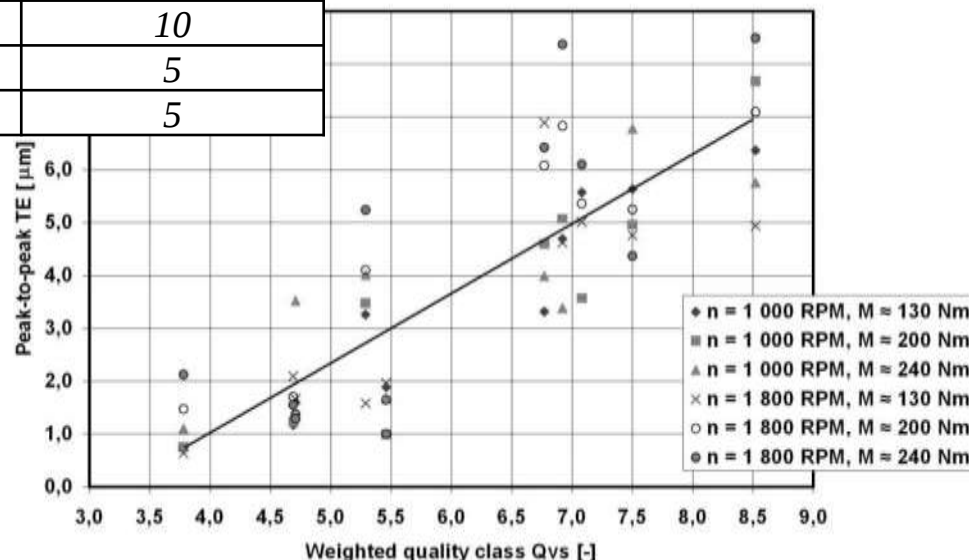
Hodnocení váženou třídou přesnosti Q_{VS}

	Název úchylky	Označení	Navržená váha úchylky V_x [%]
1	Úchylka tvaru profilu	f_{fa}	10
2	Úchylka úhlu profilu	$f_{H\alpha}$	20
3	Úchylka tvaru boků zubů	$f_{\beta\beta}$	10
4	Úchylka sklonu zubů	$f_{H\beta}$	20
5	Úchylka čelní rozteče	f_p	20
6	Úchylka sousedních roztečí	f_u	10
7	Součtová úchylka	F_p	5
8	Obvodové házení ozubení	F_r	5

$$Q_{VS} = 0,5(Q_{V1} + Q_{V2}),$$

$$Q_{V1} = \sum_{x=1}^8 f_{x1} \cdot \frac{V_{x1}}{100}$$

$$Q_{V2} = \sum_{x=1}^8 f_{x2} \cdot \frac{V_{x2}}{100}.$$

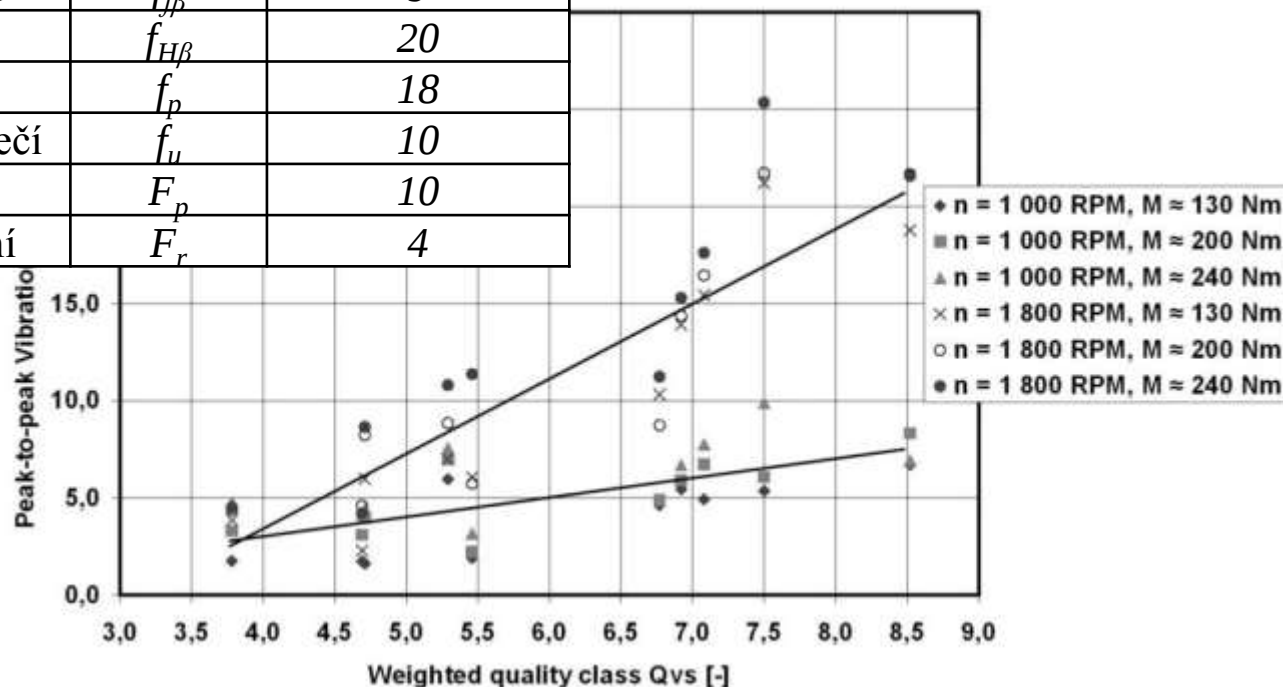


Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

	Název úchylky	Označení	Navržená váha úchylky V_x [%]
1	Úchylka tvaru profilu	f_{fa}	12
2	Úchylka úhlu profilu	f_{Ha}	22
3	Úchylka tvaru boků zubů	f_{β}	9
4	Úchylka sklonu zubů	$f_{H\beta}$	20
5	Úchylka čelní rozteče	f_p	18
6	Úchylka sousedních roztečí	f_u	10
7	Součtová úchylka	F_p	10
8	Obvodové házení ozubení	F_r	4

Úkolem je vhodně
určit váhy
jednotlivých úchylek

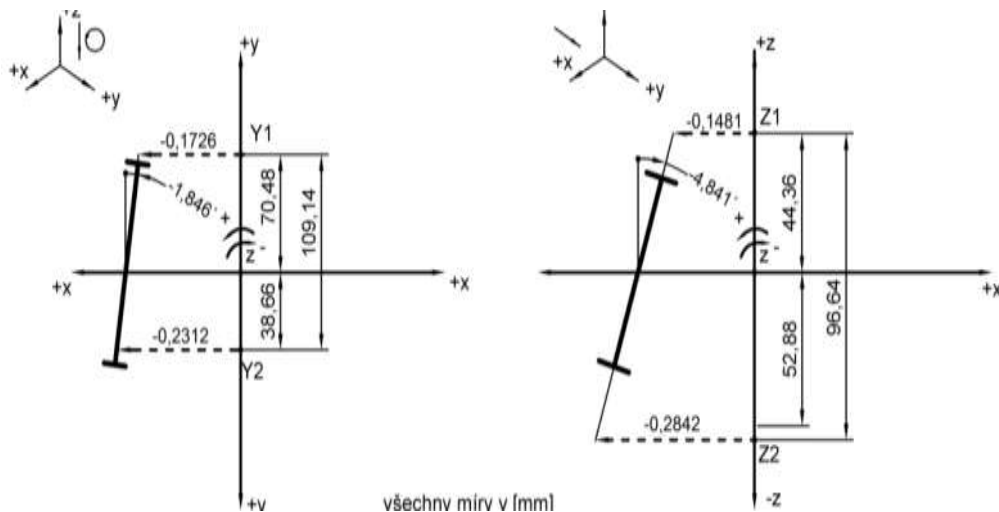
*Závislost
vibrací na
vážené
přesnosti Q_{VS}*



Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

WP16C02: Experimentální zkušební stand pro deformační zkoušky převodovek ke stanovení základních parametrů modifikací zubů ozubených kol

Mimo výrobní a montážní úchyly vznikají v ozubení úchyly z deformací hřídelů, ložisek a skříně převodovky.



Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.



Realizovaný stand osazený snímači posunu.

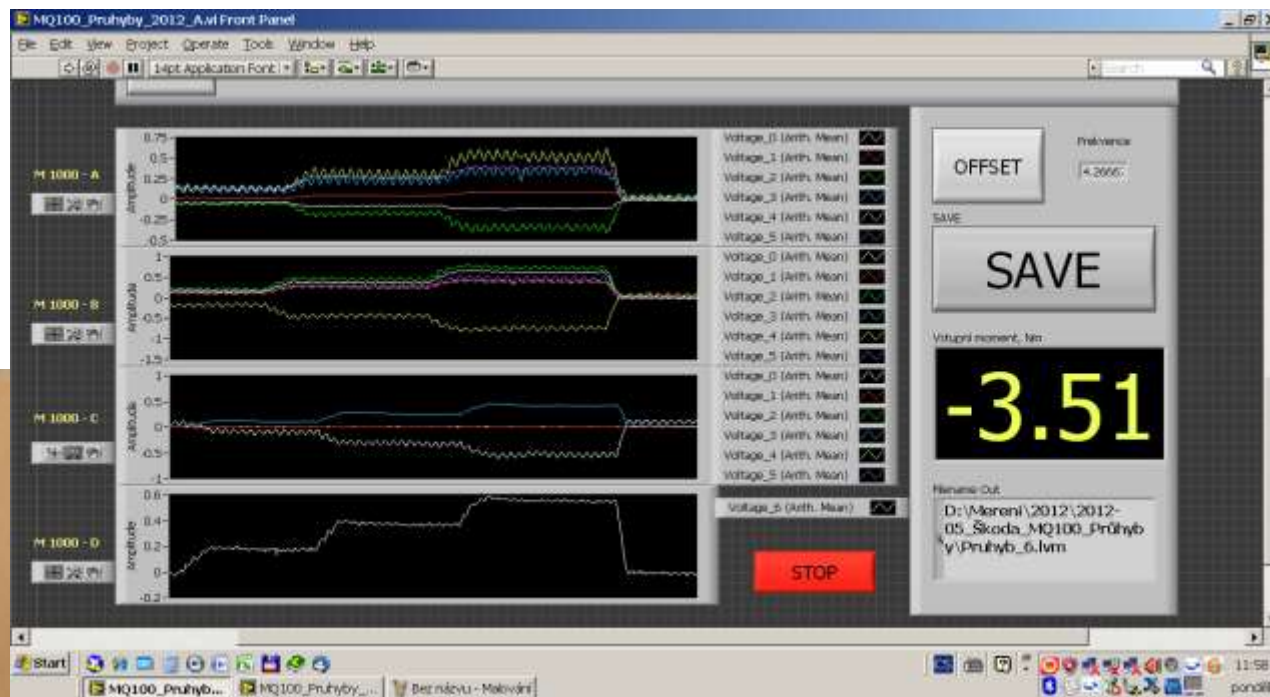
*Stand osazený snímači
posunu - foto bez podpěrné
konzoly převodovky.*



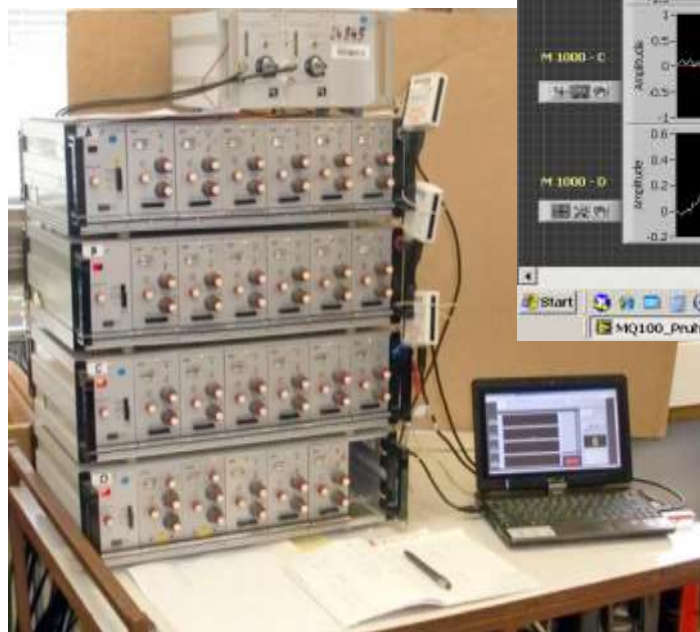
Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka

- AutoSympo a Kolokvium Božek 2014, Rostoky -

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.



Měřicí software

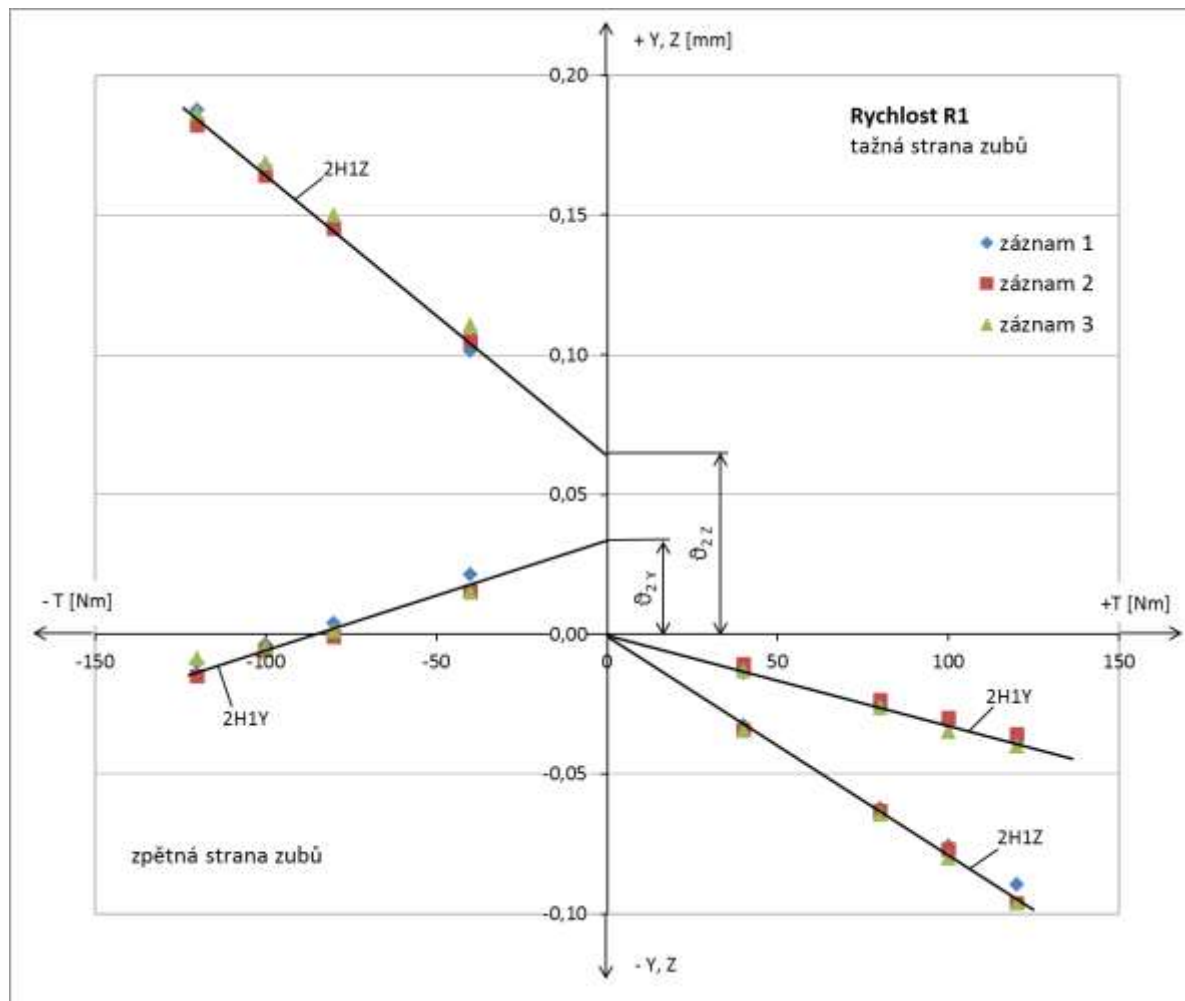


Měřicí stanoviště

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

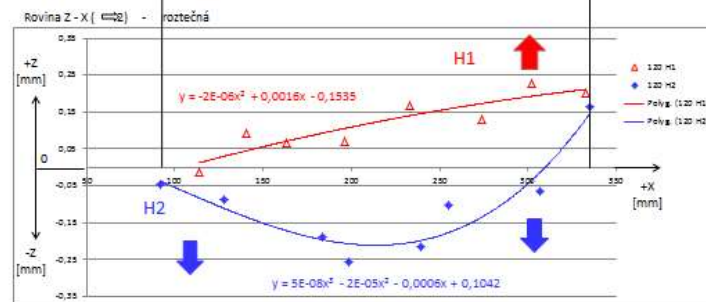
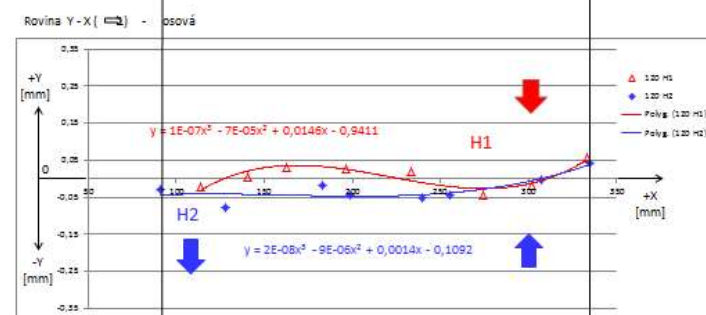
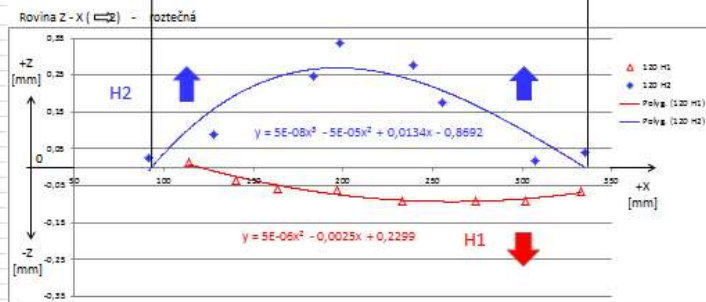
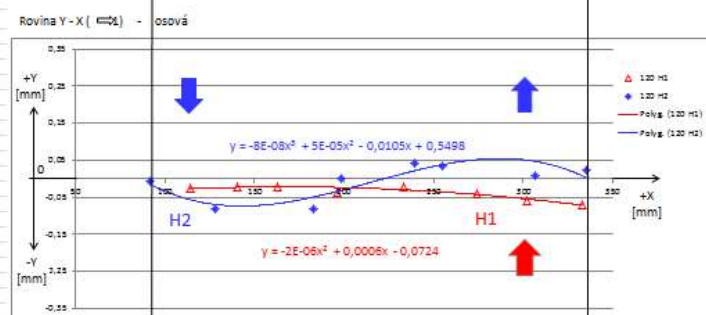
*Průhyby hřídelů
pro:*

- rychlostní stupeň 1,
- momenty 40, 80, 100 a 120 Nm,
- tažná i zpětná strana zubů.

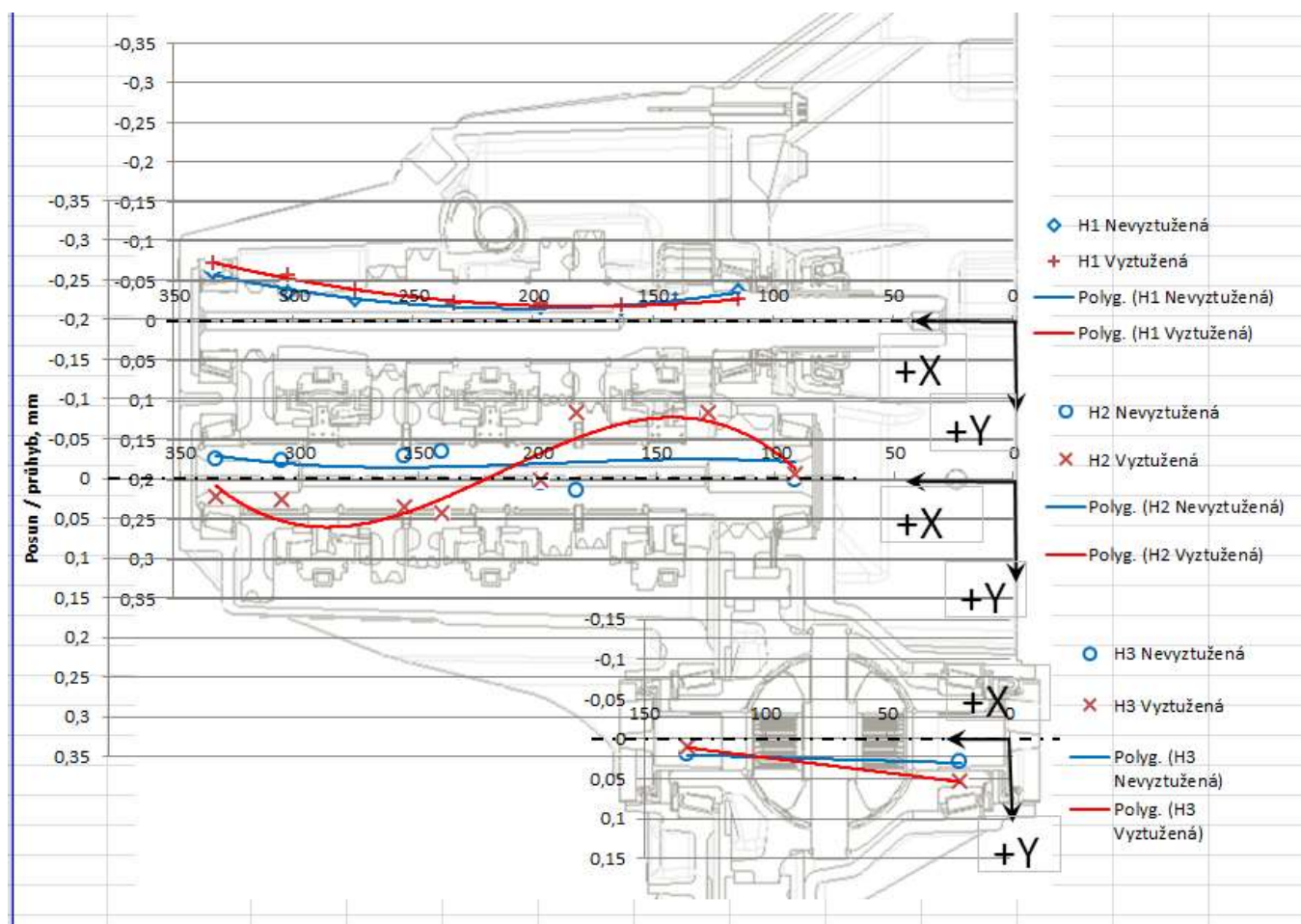


Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

*Průhyby
hřídelů pro
rychlostní
stupeň 1 a
moment
120 Nm*



*Průhyby hřidelů
pro rychlostní
stupeň 1 a
moment 120 Nm*



Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

WP16C03: Definování struktury dat pro databázi DASY

Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 - část 4 © M.Němček VŠB-TU Ostrava

Typ ozubení
☒ Čelní
☐ Kuželové
☐ Hřeben

z_1 20
 z_2 40
 β 0 [°]
 T_1 500 [N·m]
 Ψ_m 15
Schéma 3
 $K_{H\beta}$ 1.117
 K_A 1.5
 σ_{Hlim}^0 400 [MPa]
 σ_{Hlim} 700 [MPa]
 V_{HV} 200

$m_n = 6.730$ [mm]
 $b = 101.0$ [mm]

OHYB
 $m_n = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot T_1}{\Psi_m \cdot z_1 \cdot \sigma_{FP}}}$
 $f_F = 18$
 $K_F = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{FP} = 0,6 \cdot \sigma_{Hlim}^0$
 $m_{n\ ohyb} = 4.079$ [mm]

DOTYK
 $d_1 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_1}{\Psi_{d1} \cdot \sigma_{HP}^2}}$
 $f_H = 770$ ($\beta = 0^\circ$)
 $f_H = 690$ ($\beta > 0^\circ$)
 $K_H = K_A \cdot K_{H\beta}$
 $\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim}^0$
 $\Psi_{d1} = \Psi_m \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$
 $u = \frac{z_2}{z_1}$
 $m_n = d_1 \cdot \frac{\cos \beta}{z_1}$
 $m_{n\ dotyk} = 6.730$ [mm]

<http://www.347.vsb.cz/staff/nemcek/SOFTWARE/CZ/1.htm>

Program *NÁVRH*

Návrhový výpočet ozubení podle ČSN 01 4686 - část 4			
Vstupy do návrhového výpočtu :			
Typ ozubení	Vnější		
Počet zubů pastorku z1	20		
Počet zubů kola z2	40		
Sklon zubů β	0.000	[°]	
Moment na pastorku T1	500	[N·m]	
Poměrná šířka Ψ_{sim}	15.000		
Číslo schématu převodu	3		
KHbeta (vypočteno)	1.117		
KA	1.500		
Mez únavy v dotyku	700	[MPa]	
Mez únavy v ohybu	400	[MPa]	
Tvrdost boku zubů VHV	200		
Výsledky návrhového výpočtu :			
Modul z dotyku	6.730	[mm]	
Modul z ohybu	4.079	[mm]	
Odpovídající šířka kola b	101.0	[mm]	
Roztečný průměr pastorku d1	134.608	[mm]	

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

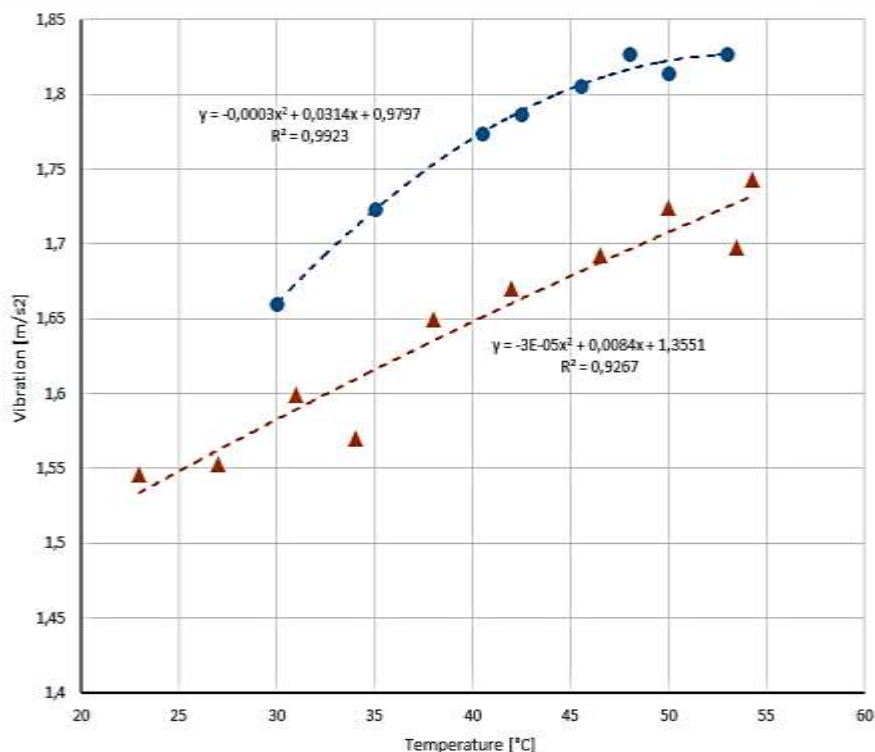
WP16C04: Databáze vlivu součinitele záběru profilu a součinitele záběru krokem evolventního ozubení ve vztahu k hluku a vibračním standardního a nestandardního profilu (2015).



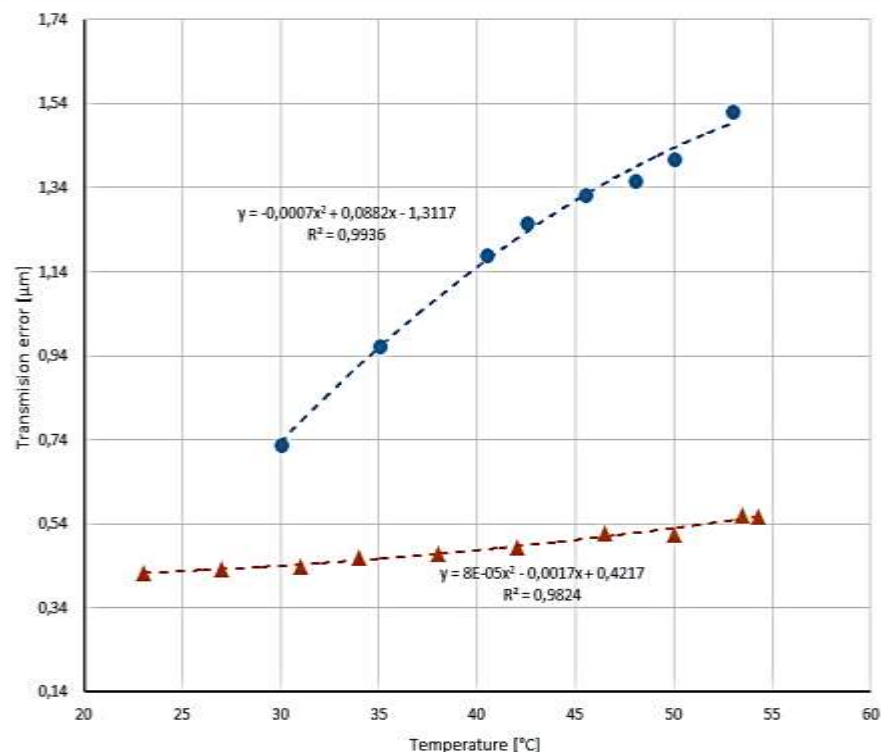
Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Gear 01

Temperature dependence



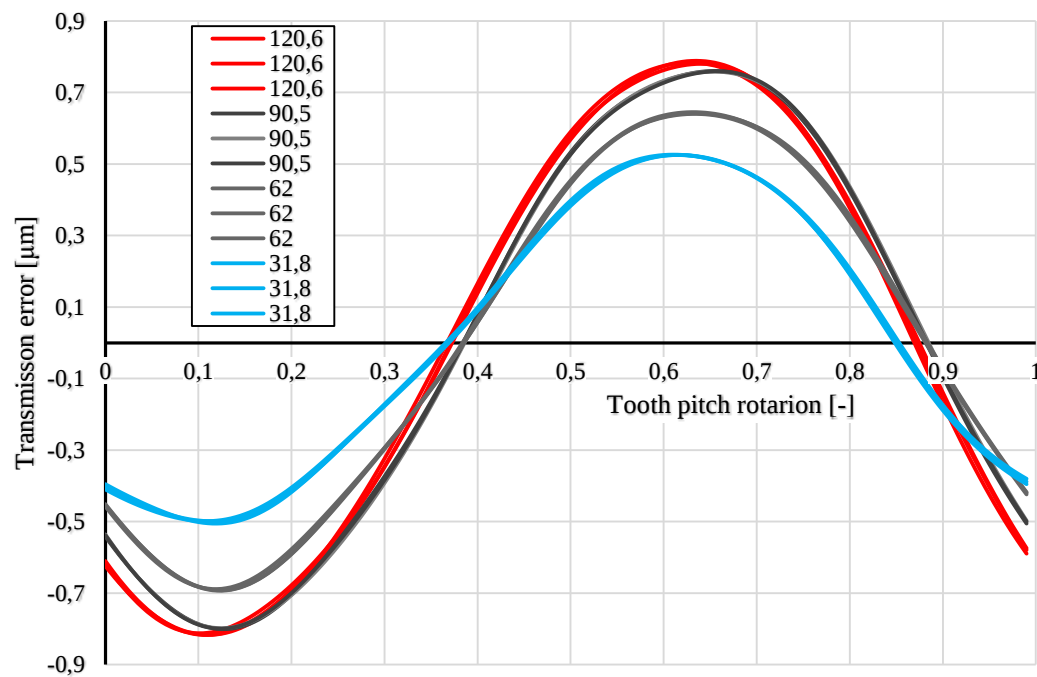
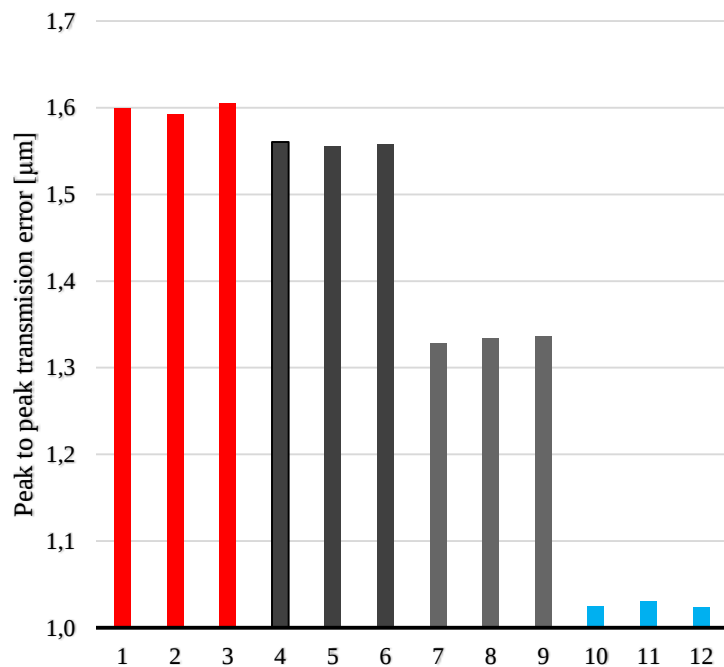
Závislost vibrací na teplotě oleje



Závislost chyby převodu na teplotě oleje

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

*Měření na 4 hladinách točivého momentu 120 Nm, 90 Nm 60 Nm a 30 Nm
Maximální chyba měření na každé hladině 1%*

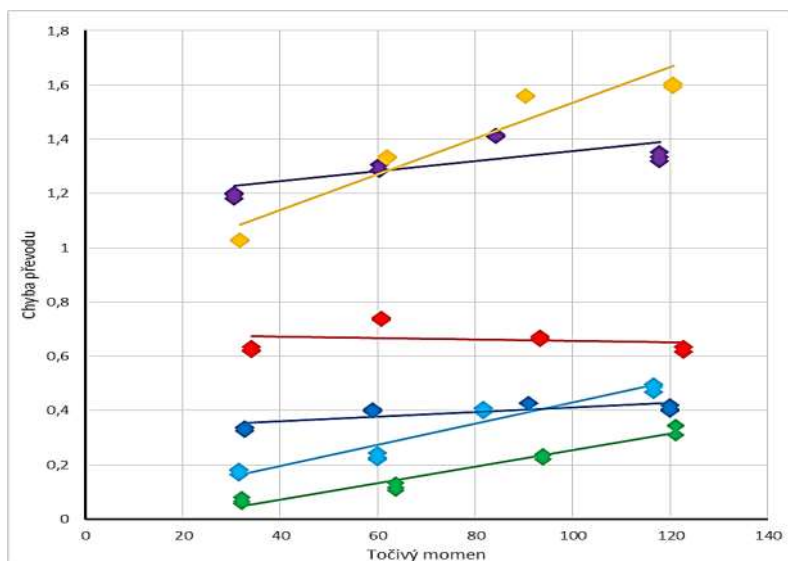


Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

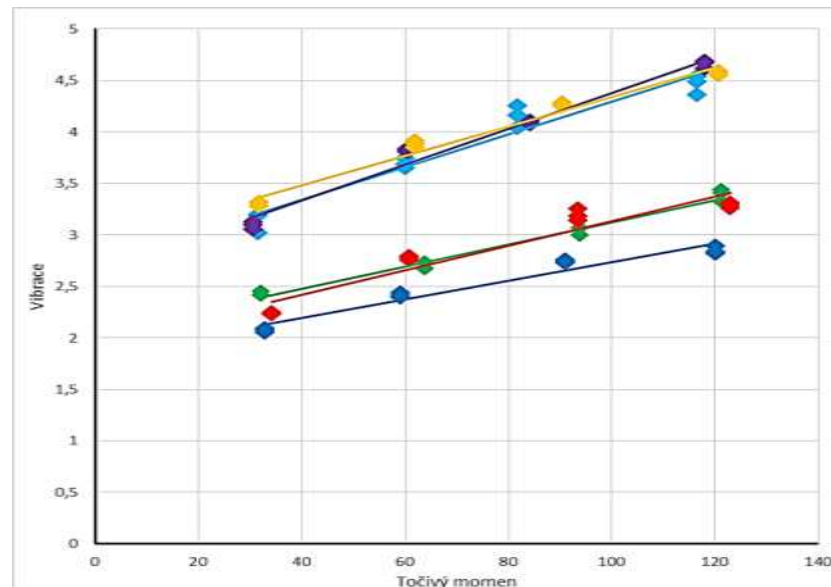
Měření na 4 hladinách točivého momentu 120 Nm, 90 Nm 60 Nm a 30 Nm
Maximální chyba měření na každé hladině 1%

☒ Gear 01 - 1500 min-1, Left, Type 0	☐ Gear 01 - 3000 min-1, Left, Type 0
☒ Gear 01 - 1500 min-1, Left, Type 1	☐ Gear 01 - 3000 min-1, Left, Type 1
☒ Gear 01 - 1500 min-1, Right, Type 0	☐ Gear 01 - 3000 min-1, Right, Type 0
☐ Gear 01 - 1500 min-1, Right, Type 1	☐ Gear 01 - 3000 min-1, Right, Type 1

☒ Gear 01 HCR - 1500 min-1, Left, Type 0	☐ Gear 01 HCR - 3000 min-1, Left, Type 0
☒ Gear 01 HCR - 1500 min-1, Left, Type 1	☐ Gear 01 HCR - 3000 min-1, Left, Type 1
☒ Gear 01 HCR - 1500 min-1, Right, Type 0	☐ Gear 01 HCR - 3000 min-1, Right, Type 0
☐ Gear 01 HCR - 1500 min-1, Right, Type 1	☐ Gear 01 HCR - 3000 min-1, Right, Type 1



Závislost chyby převodu na momentu



Závislost vibrací převodu na momentu

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Výhled 2015: Zařízení na stabilizaci teploty ozubených kol (oleje).



Ilustrační foto podobného agregátu.

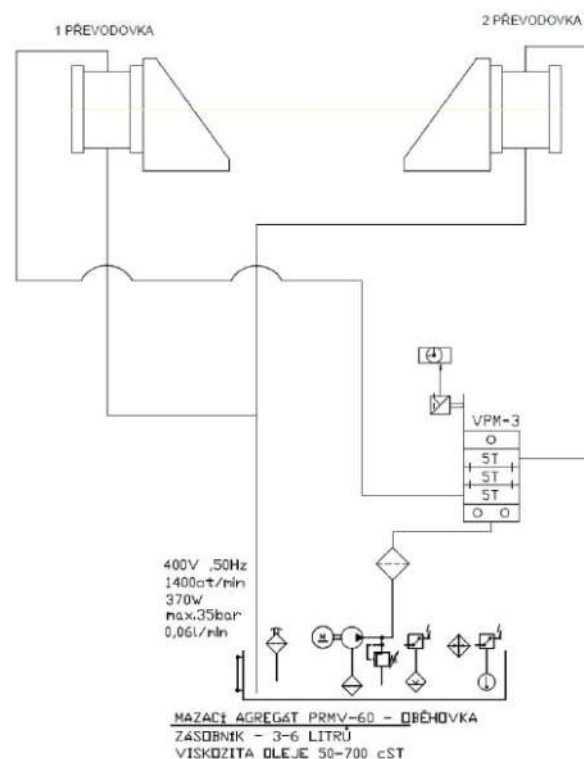


Schéma zapojení

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

WP16C08: Nový interní mechanismus řazení (2016).



Etapa: Návrh a zkoušky netradičních systémů řazení.

Postavení a zprovoznění nového setrvačnickového zkušebního stavu pro zkoušky řadicích mechanismů ručně řazených převodovek v laboratořích ČVUT v Praze na Julisce.

Převodovka pevně přišroubována k rámu. Pohon od setrvačnicku na výstupní hřídel převodovky. Zablokování diferenciál.

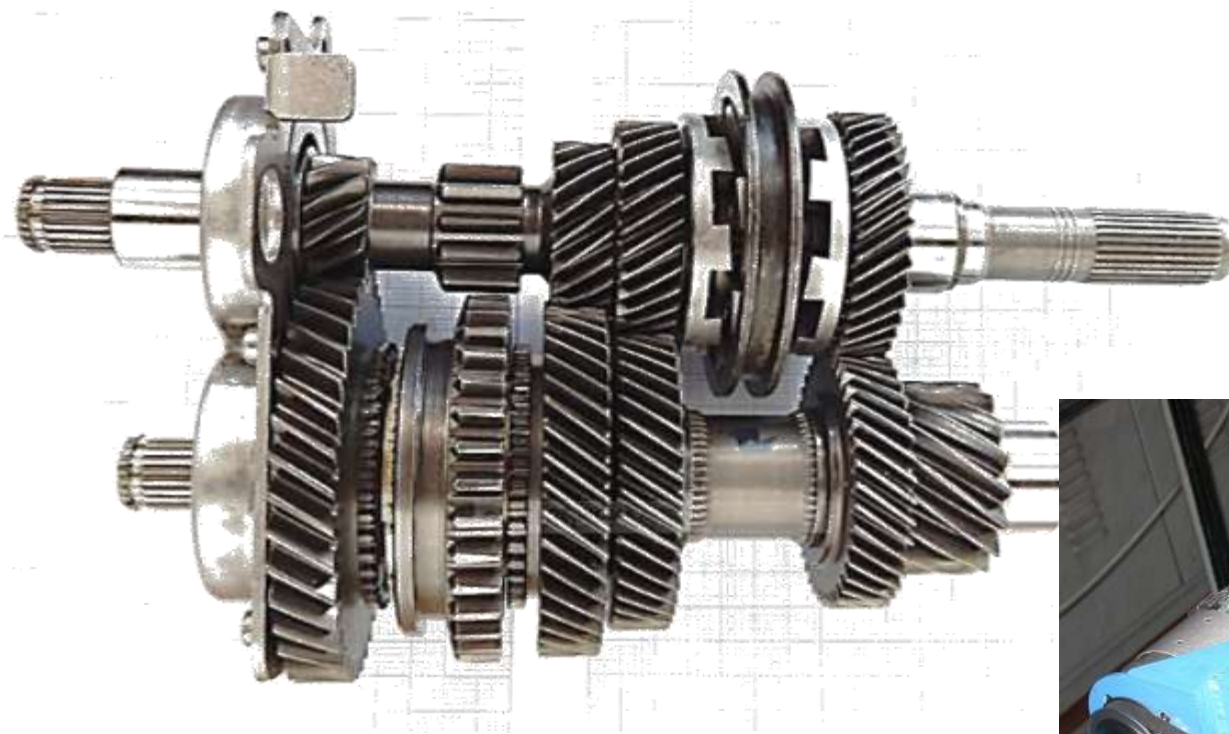
Vnější mechanismus řazení totožný se skutečným provedením ve vozidle. Namísto kulisy řadicí páky pneumatický robot řazení.

Na vstupní hřídeli převodovky nasazena lamela spojky.

Konstrukce stavu: Ing. Jiří Pakosta.

Za WP 16: Gabriela Achtenová, ČVUT.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

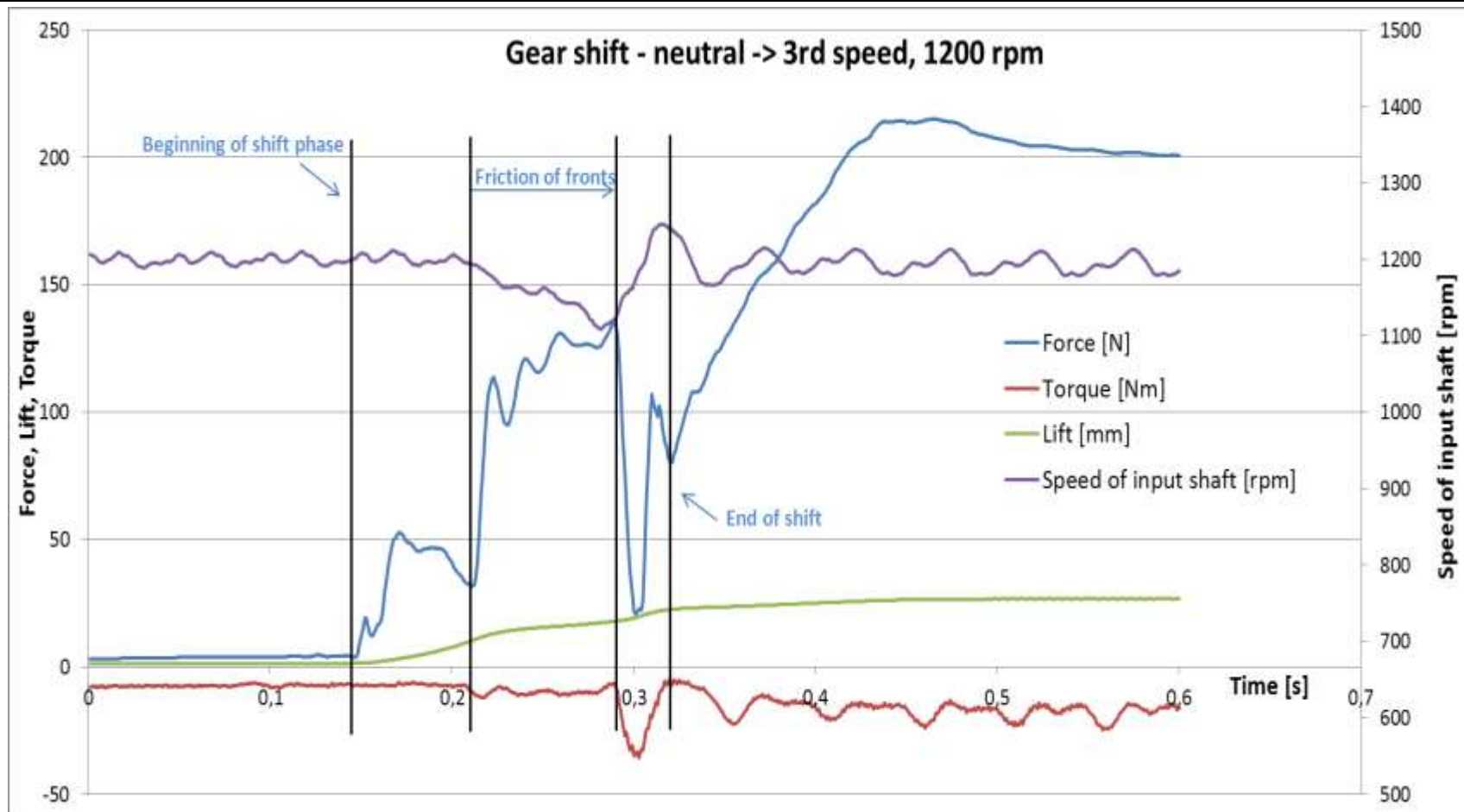


Náhrada synchronizační spojky 3. a 4. stupně za zubovou spojku Maybach

Převodovka MQ200 se systémem vnější synchronizace

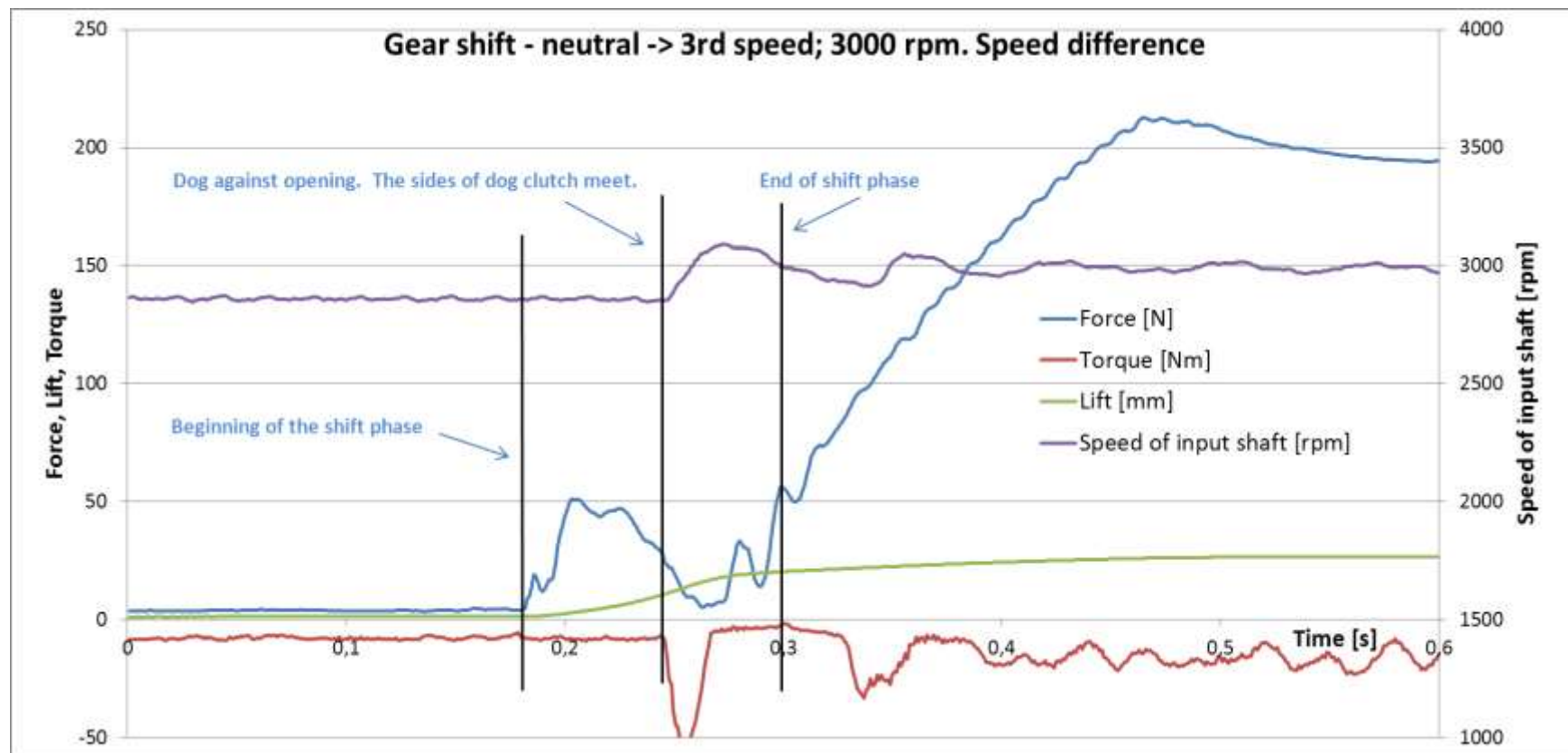


Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.



Stejná rychlost volně otočného kola a hřídele.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.



Rozdíl rychlosti mezi volně otočným kolem a hřídelem = 150 1/min.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Plnění dílčích cílů, milníků a výstupů

WP16M01: Databáze vlivu vybraných výrobních tolerancí ozubení a montážních chyb ve vztahu k jeho hluku a vibracím. (VŠB-TUO) 12/2014.

Splněno, Výzkumná zpráva.

WP16M02: Experimentální zkušební stand pro deformační zkoušky převodovek pro stanovení základních parametrů modifikací zubů ozubených kol. (VŠB-TUO) 12/2014.

Splněno, stand zrealizován, proběhla řada měření.

WP16M03: Databáze vlivu součinitele záběru profilu a součinitele záběru krokem evolventního ozubení ve vztahu k hluku a vibracím standardního a nestandardního profilu. (VŠB-TUO) 12/2015.

Plněno, vyvinuta a ověřena metodika měření, připravena další zkušební soukolí.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

WP16V002: Databáze vlivu vybraných výrobních tolerancí ozubení a montážních chyb ve vztahu k jeho hluku a vibracím.

- **Pro účastníky CK bude k dispozici výzkumná zpráva** (D09-347/2014 - druh výsledku V).

WP16V003: Experimentální zkušební stand pro deformační zkoušky převodovek.

- **Stand zhotoven** (druh výsledku G).
- **Proběhlo měření, zpracovávána zpráva o metodice měření a vyhodnocení průhybů.** (Výzkumná zpráva č. F19-347/2014 - druh výsledku V).

WP16V004: Databáze vlivu součinitele záběru profilu a součinitele záběru krokem evolventního ozubení ve vztahu k hluku a vibracím ozubení.

- **Zpracována a ověřena metodika měření, zpracovávána výzkumná zpráva.** (M06-347/2014 - druh výsledku V).

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Přehled splatných výsledků a jejich plnění

Článek ve sborníku (druh výsledku D)

- Němček, M.: *Calculation of internal gearing tooth profile coordinates In the form suitable for fem analysis*. Proceedings of ICAME 2014 International Conference on Automotive and Mechanical Engineering, January 14-15 2014, Zurich, Switzerland
- Burian, M., Trochta, M., Havlík, M.: *HCR Gears in the Industrial Gearbox*. Proceedings of the 55th International Conference of Machine Design Departments, September 9-12, 2014, Beroun, Czech Republic.
- Němček, M.: *Note to an Undercut Limit in Involute Gearing*. Proceedings of the 55th International Conference of Machine Design Departments, September 9-12, 2014, Beroun, Czech Republic.
- Trochta, M., Foltá, Z., Burian, M.: *Contribution to the Methodology of Measuring Transmission Error*. Proceedings of the 55th International Conference of Machine Design Departments, September 9-12, 2014, Beroun, Czech Republic.
- Achtenová G., Pakosta J.: *Dog clutch gearshift mechanism for automatised passenger car gearbox*. F2014-TMH-056. FISITA, Maastricht, 2014
- Achtenová G., Pakosta J., El Morsy M.: *Smoothness of Maybach dog clutch shift in the automotive gearbox*. CTI Symposium. Berlin, 2014.

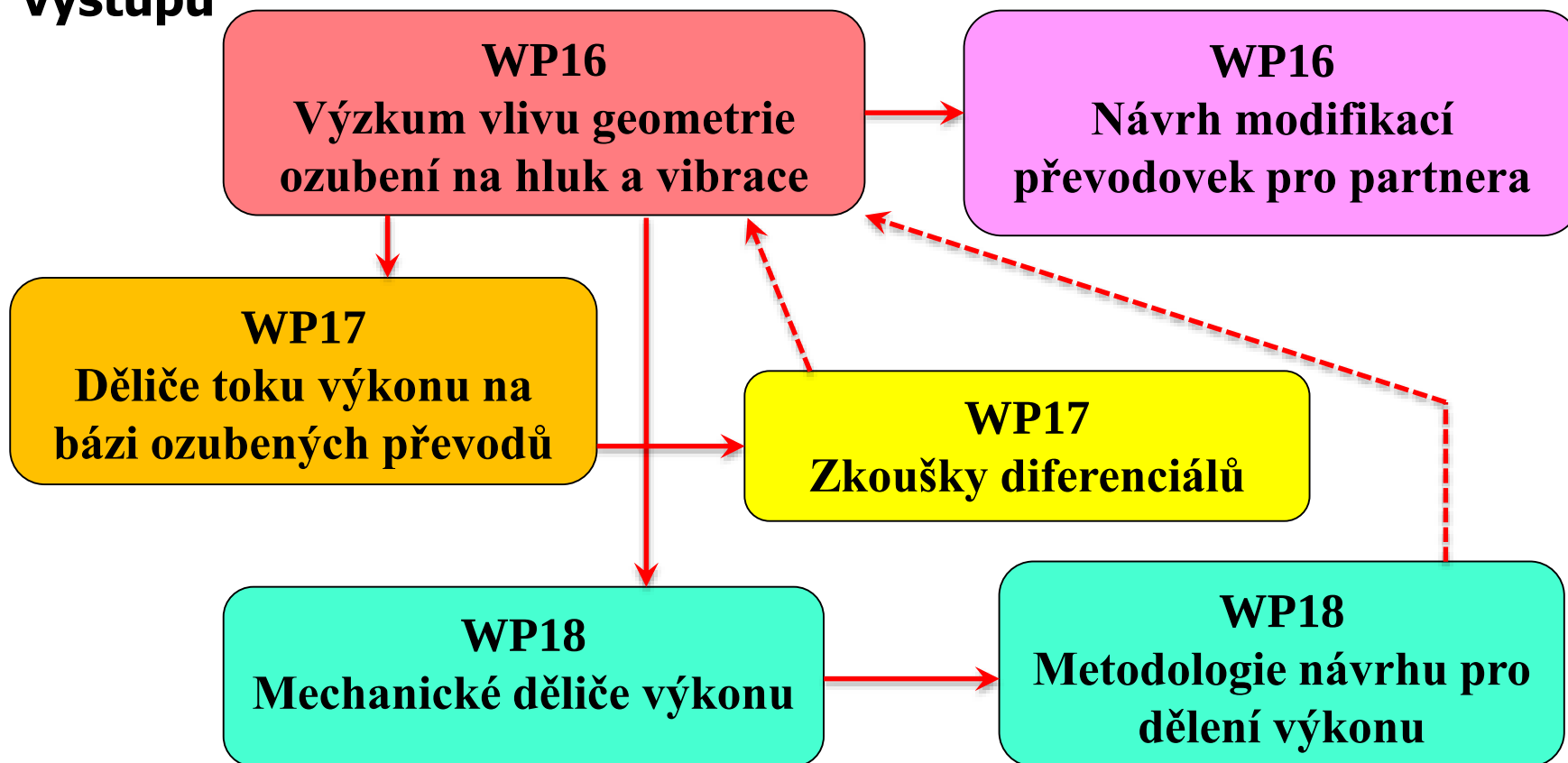
Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Návrh dalšího postupu včetně návrhů na spolupráci a realizaci výstupů

- Výzkum dalších vlivů způsobujících hluk a vibrace ozubených kol.
- Testovací stand pro měření chyby převodu ozubení pro různé typy pohonného agregátu.
- Návrh modifikací ozubení pro převodovky partnera vedoucí ke snížení hluku a vibrací ozubení a zvýšení životnosti.
- Spolupráce v rámci WP17 na měření účinnosti diferenciálů a jejich návrhu.

Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Návrh dalšího postupu včetně návrhů na spolupráci a realizaci výstupů



Popis obsahu balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Děkuji za pozornost



Výsledky balíčku WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk – Dosaženo 2012-2014.

Hlavní výsledky 2012-2014

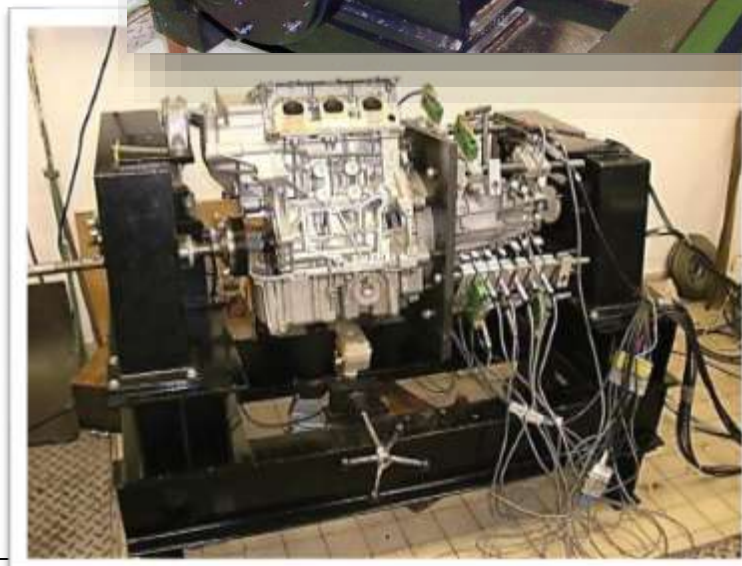


Experimentální testovací stand pro nekonvenční systémy řazení (ČVUT in Prag).

Testovací stand s uzavřeným tokem výkonu pro měření chyby převodu, hluku a vibrací (VŠB-TU Ostrava).



Experimentální stand pro měření deformací převodovek (VŠB-TU Ostrava).



Results of WP16: Improvements of the gears for increased durability, low weight and low noise – Achieved 2012-2014.

The main results 2012-2014



*Experimental test stand for non-conventional shift systems
(ČVUT in Prag).*

*Testing stand with
closed power circuit
for transmission
error and vibration
of the pair of gears
measurement
(VŠB-TU Ostrava).*

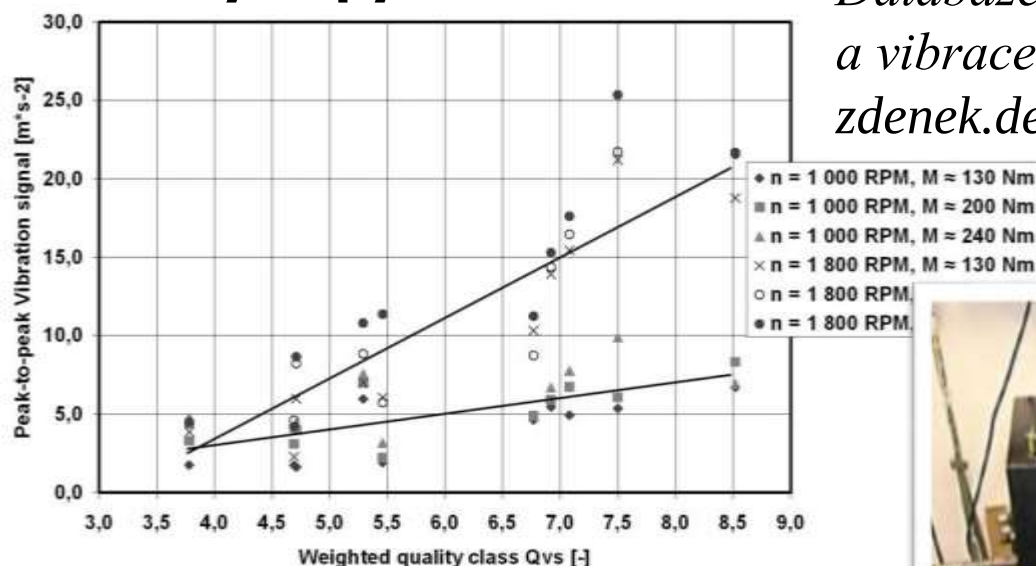


*The experimental test stand for
testing gearbox deformation
(VŠB-TU Ostrava).*



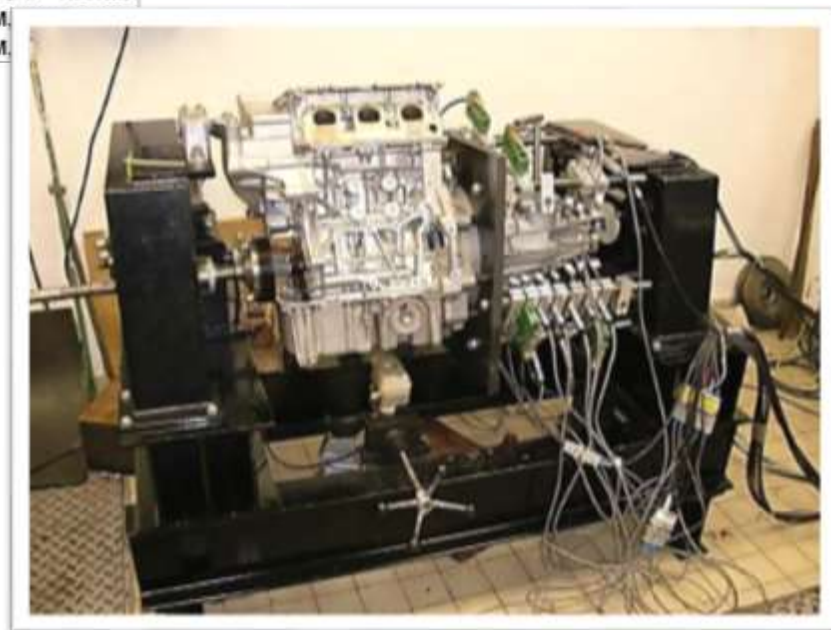
Výťah z provedených prací na WP16: Zdokonalení ozubených převodů pro vyšší trvanlivost, nízkou hmotnost a nízký hluk.

Hlavní výstupy 2014



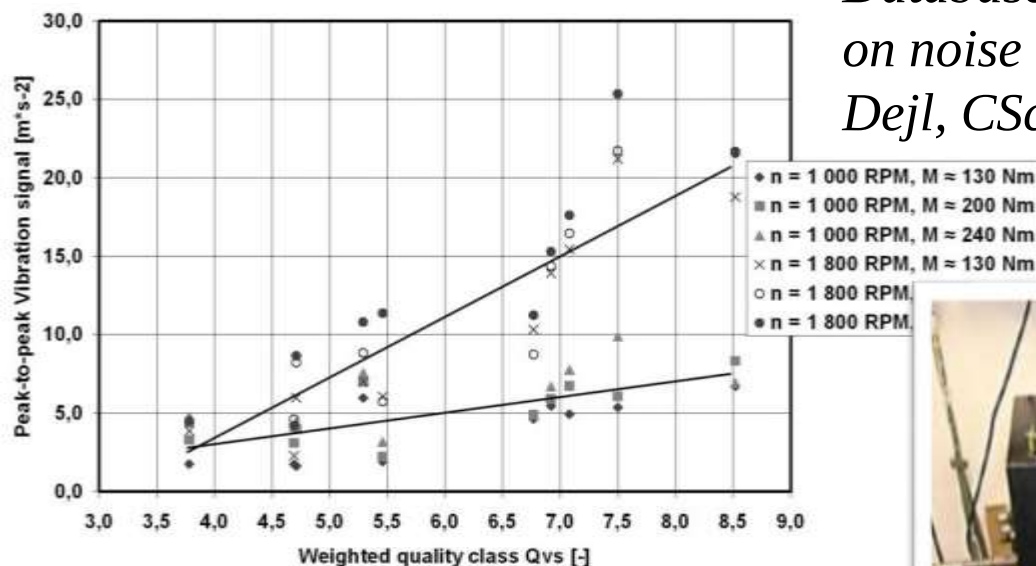
Databáze vlivu úchylek ozubení na hluk a vibrace. Prof. Ing, Zdeněk Dejl, CSc., zdenek.dejl@vsb.cz.

Experimentální zkušební stand pro deformační zkoušky převodovek. Doc. Ing. Zdeněk Folta, Ph.D., zdenek.folta@vsb.cz.



Abstract of WP16: Improvements of the gears for increased durability, low weight and low noise.

Main results 2014



Database of gearing deviations influence on noise and vibration. Prof. Ing, Zdeněk Dejl, CSc., zdenek.dejl@vsb.cz.

The experimental test stand for testing gearbox deformation. Doc. Ing. Zdeněk Folta, Ph.D., zdenek.folta@vsb.cz.

