

# Modifikace tření v kontaktu kola a kolejnice

**Radovan Galas**

**Školitel: prof. Ing. Martin Hartl Ph.D.**

**Školitel specialista: Ing. Milan Omasta Ph.D.**

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

Seminář Ústavu konstruování, FSI VUT v Brně  
18. 11. 2015



# Obsah prezentace

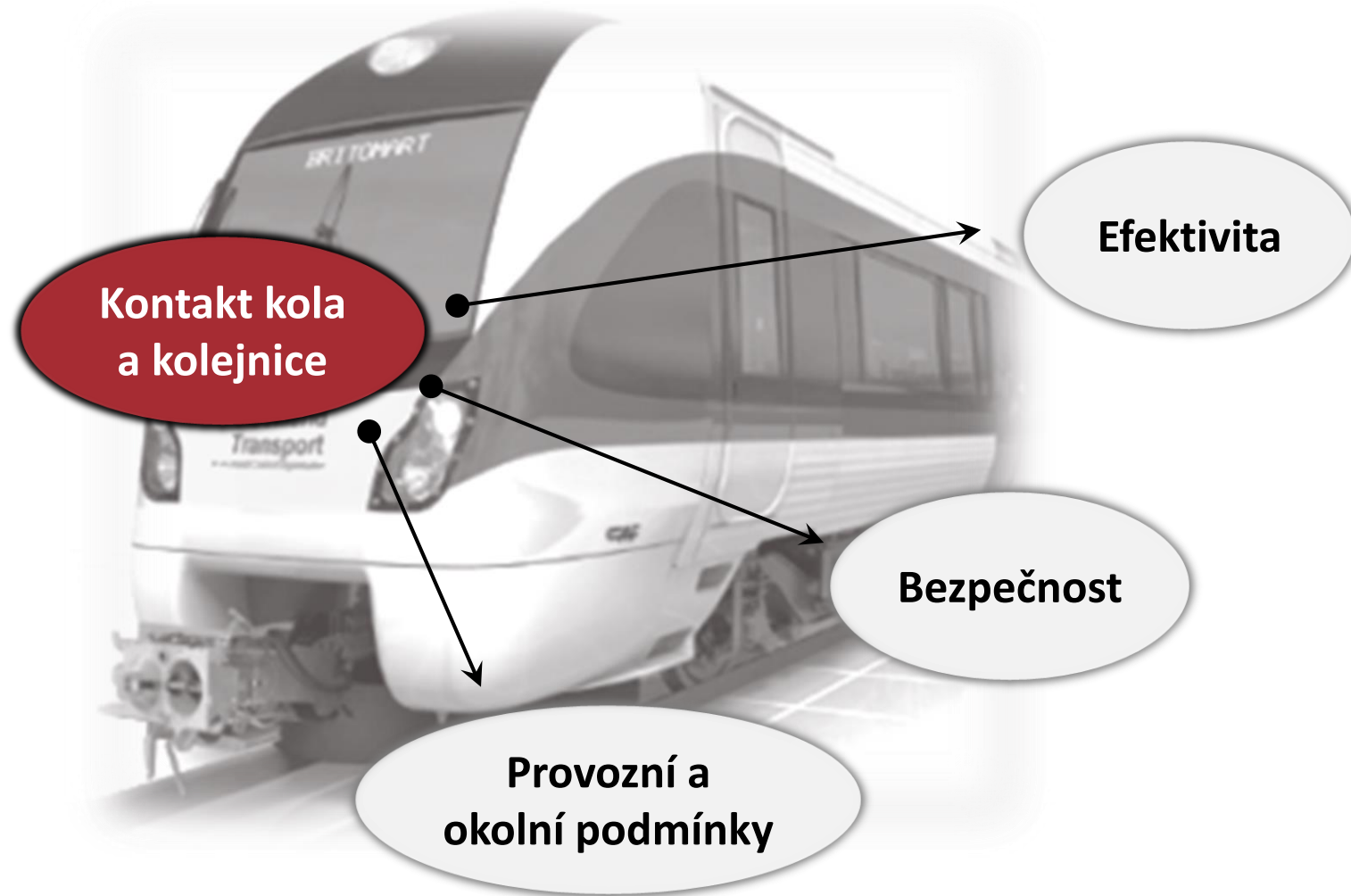
1. Úvod do problematiky
2. Shrnutí současného stavu poznání
3. Analýza a zhodnocení poznatků
4. Vymezení cílů dizertační práce
5. Současný stav řešení dizertační práce
6. Závěr



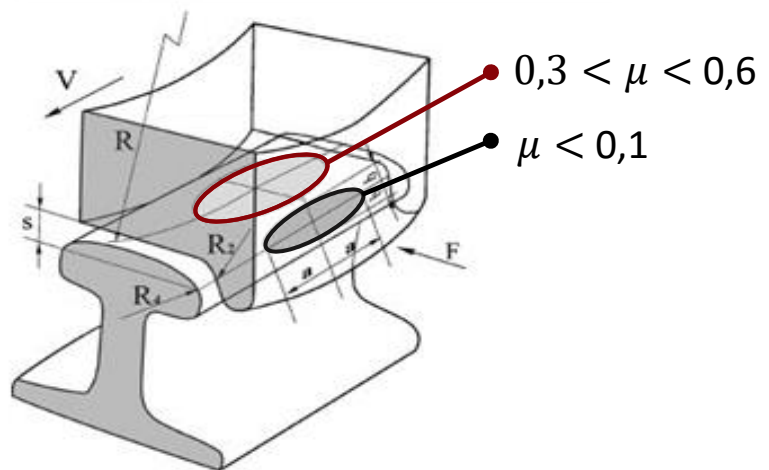
## Rail Track Worldwide per Country:

- 60 000 km
- 30 000 km < 59 999 km
- 20 000 km < 29 999 km
- 15 000 km < 19 999 km
- 10 000 km < 14 999 km
- 5 000 km < 9 999 km
- 0 km < 4 999 km

# Motivace



# 1. Úvod do problematiky



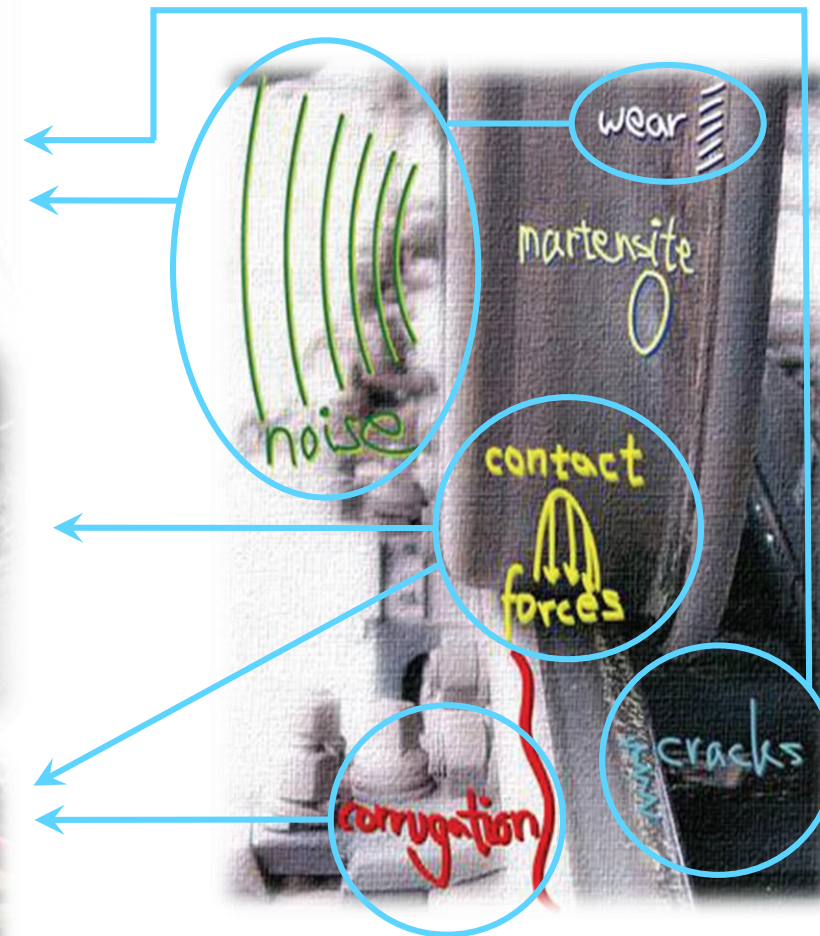
Mazání okolků



Pískování

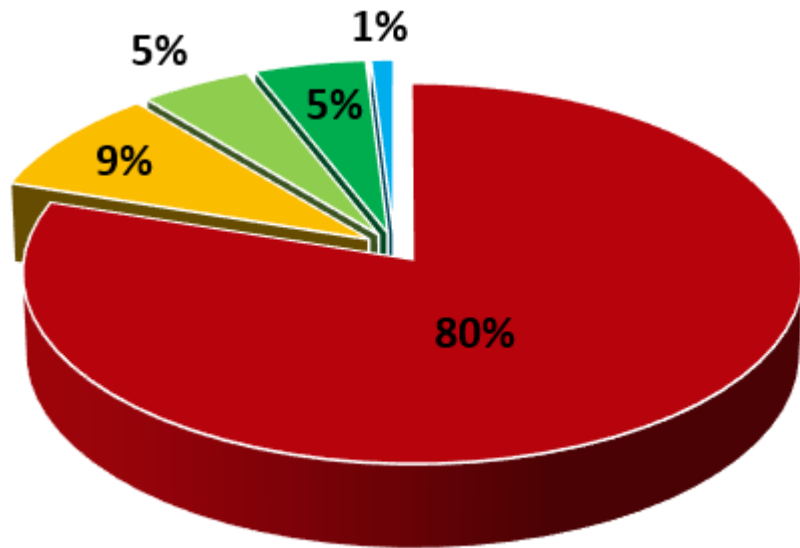


Modifikátory tření



# 1. Úvod do problematiky

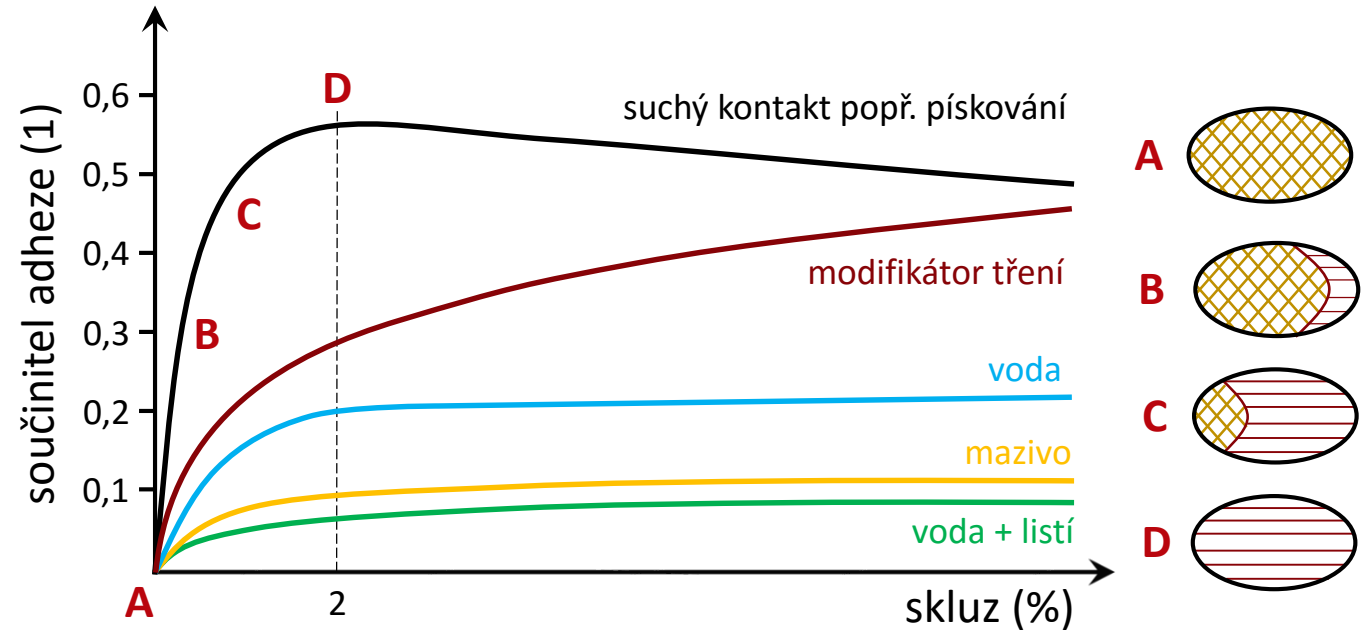
## Složení modifikátoru tření



- Základní báze (olej, voda)
- Částice pro modifikaci tření
- Zahušťovadlo
- Mazivo
- Další (protipěnovostní přísady, antioxidanty, biocidy aj.)

- Off-board systémy
- On-board systémy

## Trakční křivka



## 2. Shrnutí současného stavu poznání

- BEAGLEY, 1976. The rheological properties of solid rail contaminants and their effect on wheel/rail adhesion.
- HOU, 1997. Rheological model of solid layer in rolling contact.
- BAEK, 2007. An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling–sliding wheel/rail contacts under dry–wet conditions.
- BAEK, 2008. An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions.
- NAKAHARA, 2011. Relationship between surface oxide layer and transient traction characteristics for two steel rollers under unlubricated and water lubricated conditions.

- MATSUMOTO, 2002. Creep force characteristics between rail and wheel on scaled model.
- TOMEOKA, 2002. Friction control between wheel and rail by means of on-board lubrication.
- EADIE, 2002. The role of high positive friction (HPF) modifier in the control of short pitch corrugations and related phenomena.
- LU, 2005. Laboratory study of the tribological properties of friction modifier thin films for friction control at the wheel/rail interface.
- EGANA, 2005. Effect of liquid high positive friction (HPF) modifier on wheel-rail contact and rail corrugation.

- EADIE, 2006. Top-of-rail friction control for curve noise mitigation and corrugation rate reduction.
- EADIE, 2008. The effects of top of rail friction modifier on wear and rolling contact fatigue: Full-scale rail–wheel test rig evaluation, analysis and modelling.
- LI, 2009. Rolling–Sliding Laboratory Tests of Friction Modifiers in Leaf Contaminated Wheel–Rail Contacts.
- ARIAS-CUEVAS, 2010. Rolling–sliding laboratory tests of friction modifiers in dry and wet wheel–rail contacts.
- STOCK, 2011. Influencing rolling contact fatigue through top of rail friction modifier application – A full scale wheel–rail test rig study.
- LEWIS, 2013. Effect of humidity, temperature and railhead contamination on the performance of friction modifiers: Pin-on-disk study.
- WANG, 2014. Influence of friction modifiers on improving adhesion and surface damage of wheel/rail under low adhesion conditions.

### Složení modifikátorů tření

- CHIDDICK, 2000. Solid Lubricants & Friction Modifiers for heavy Loads and Rail Applications, EP Patent No. EP 0 946 693 B1 - US Patent No. 6,136,757.

## 2. Shrnutí současného stavu poznání

- BEAGLEY, 1976. The rheological properties of solid rail contaminants and their effect on wheel/rail adhesion.
- HOU, 1997. Rheological model of solid layer in rolling contact.
- BAEK, 2007. An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling–sliding wheel/rail contacts under dry–wet conditions.
- BAEK, 2008. An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions.
- NAKAHARA, 2011. Relationship between surface oxide layer and transient traction characteristics for two steel rollers under unlubricated and water lubricated conditions.

- MATSUMOTO, 2002. Creep force characteristics between rail and wheel on scaled model.
- TOMEOKA, 2002. Friction control between wheel and rail by means of on-board lubrication.
- EADIE, 2002. The role of high positive friction (HPF) modifier in the control of short pitch corrugations and related phenomena.
- LU, 2005. Laboratory study of the tribological properties of friction modifier thin films for friction control at the wheel/rail interface.
- EGANA, 2005. Effect of liquid high positive friction (HPF) modifier on wheel-rail contact and rail corrugation.

- EADIE, 2006. Top-of-rail friction control for curve noise mitigation and corrugation rate reduction.
- EADIE, 2008. The effects of top of rail friction modifier on wear and rolling contact fatigue: Full-scale rail–wheel test rig evaluation, analysis and modelling.
- LI, 2009. Rolling–Sliding Laboratory Tests of Friction Modifiers in Leaf Contaminated Wheel–Rail Contacts.
- ARIAS-CUEVAS, 2010. Rolling–sliding laboratory tests of friction modifiers in dry and wet wheel–rail contacts.
- STOCK, 2011. Influencing rolling contact fatigue through top of rail friction modifier application – A full scale wheel–rail test rig study.
- LEWIS, 2013. Effect of humidity, temperature and railhead contamination on the performance of friction modifiers: Pin-on-disk study.
- WANG, 2014. Influence of friction modifiers on improving adhesion and surface damage of wheel/rail under low adhesion conditions.

### Složení modifikátorů tření

- CHIDDICK, 2000. Solid Lubricants & Friction Modifiers for heavy Loads and Rail Applications, EP Patent No. EP 0 946 693 B1 - US Patent No. 6,136,757.

## 2. Shrnutí současného stavu poznání

1997

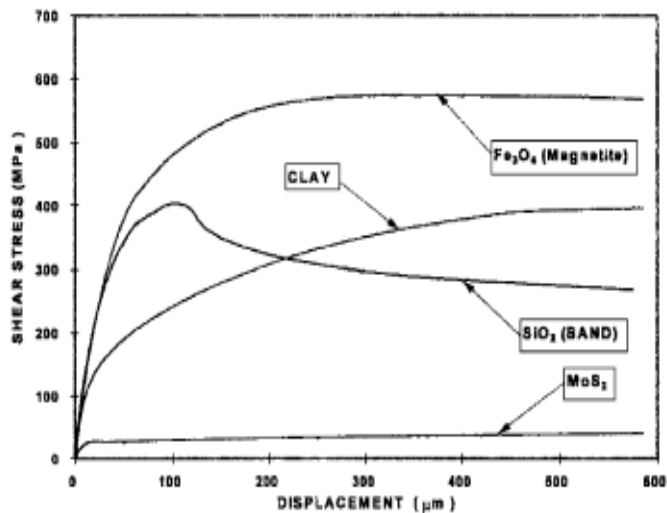
(29 citací dle WoK)

**HOU.** Rheological model of solid layer in rolling contact.

- Popis utváření třecí vrstvy a její reologie.

$$\tau = G \cdot \gamma \quad \tau \leq \tau_c$$

$$\tau = \tau_c + k \cdot (\gamma - \gamma_c) \quad \tau > \tau_c$$

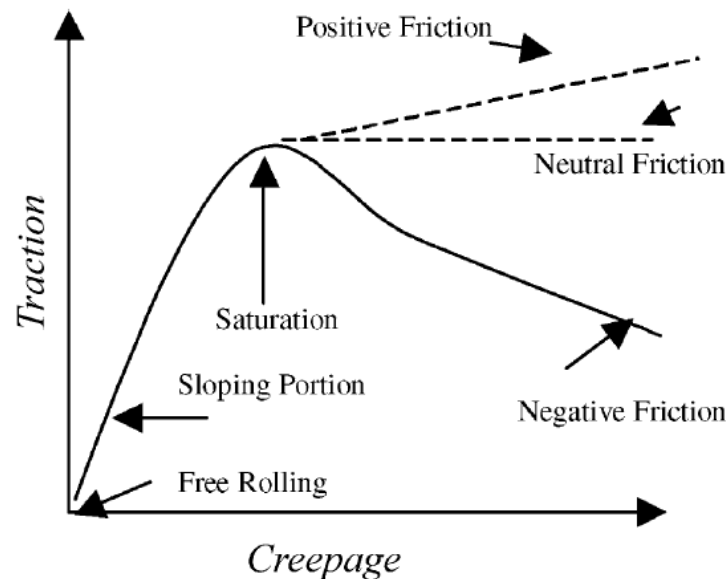


2002

(51 citací dle WoK)

**EADIE.** The role of high positive friction (HPF) modifier in the control of short pitch corrugations and related phenomena.

- Článek zabývající se popisem vzniku vlnkovitého opotřebení.

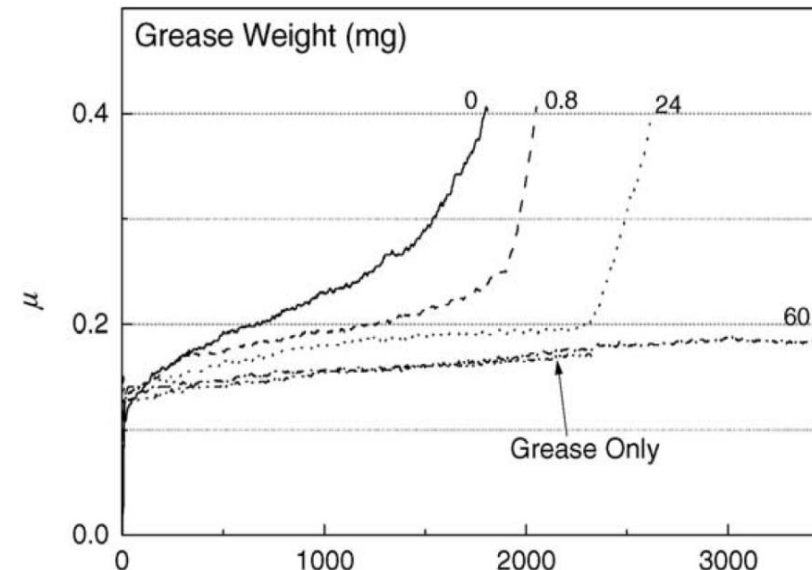


2005

(26 citací dle WoK)

**LU.** Laboratory study of the tribological properties of friction modifier thin films for friction control at the wheel/rail interface.

- Popsán tzv. *N-shape* chování.
- Vliv plastického maziva.



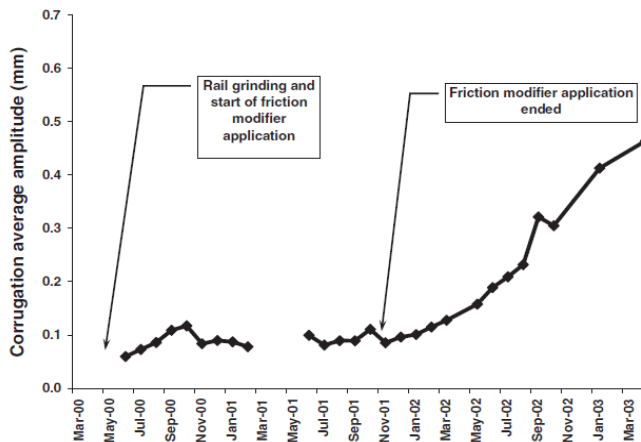
## 2. Shrnutí současného stavu poznání

2006

(12 citací dle WoK)

**EADIE.** Top-of-rail friction control for curve noise mitigation and corrugation rate reduction.

- Experimenty na reálné trati pro pět dopravních systémů.
- Redukce hluku až o 20 dB.

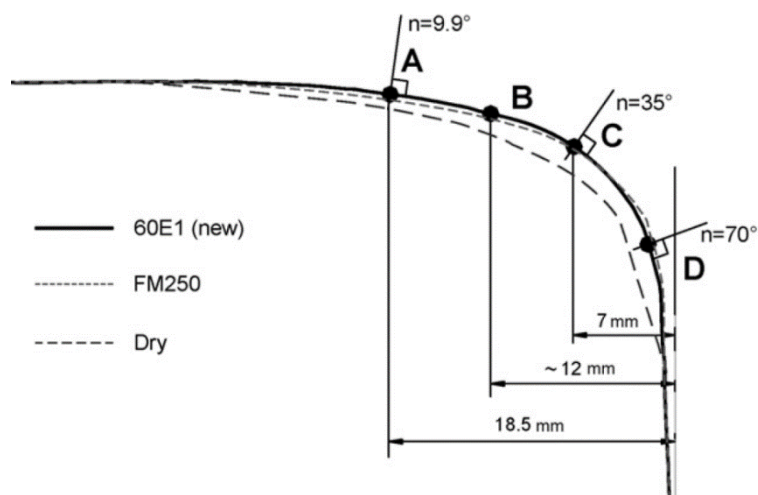


2008

(23 citací dle WoK)

**EADIE.** The effects of top of rail friction modifier on wear and rolling contact fatigue: Full-scale rail-wheel test rig evaluation, analysis and modelling.

- Pozitivní vliv na kontaktní únavu.

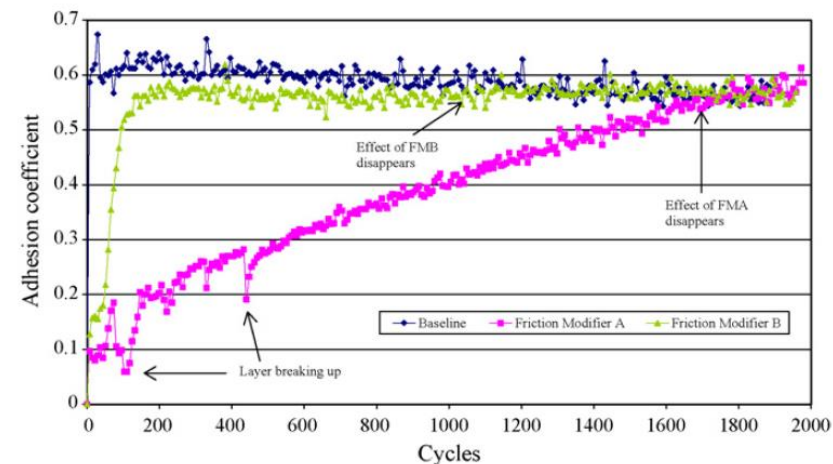


2010

(22 citací dle WoK)

**ARIAS-CUEVAS.** Rolling-sliding laboratory tests of friction modifiers in dry and wet wheel-rail contacts.

- „Výkonnost“ modifikátorů na bázi vody.



### 3. Analýza a zhodnocení výsledků

#### Experimenty na reálné trati

- ✓ Potlačení vlnkovitého opotřebení
- ✓ Redukce hlukové emise
- ✓ Redukce sil působících v kontaktu

✗ Chování modifikátoru tření na olejové bázi na reálné trati.

✗ Vliv jednotlivých složek modifikátorů tření na adhezi a utváření mazacího filmu

#### Experimenty v laboratorních podmínkách

- ✓ Popis utváření třecí vrstvy (oxidy)
- ✓ „Výkonnost“ modifikátorů tření na bázi vody pro široké spektrum provozních podmínek (teplota, kontaminanty aj.)
- ✓ Redukce kontaktní únavy a míry opotřebení

✗ „Výkonnost“ modifikátorů tření na olejové bázi.

# 4. Vymezení cílů dizertační práce

## Hlavní cíl dizertační práce

- Cílem dizertační práce je experimentálně objasnit závislost složení modifikátorů tření na trakční vlastnosti a utváření mazacího filmu.

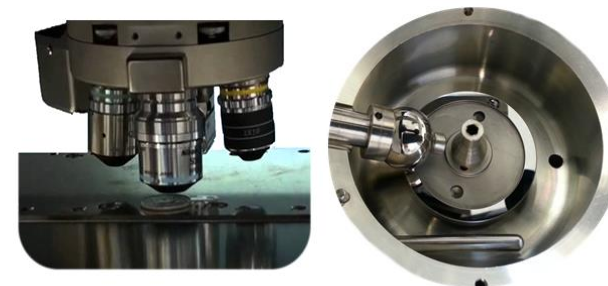
## Dílčí cíle dizertační práce

- Modifikace experimentální aparatury.
- Úvodní experimenty pro různé stavy kontaktu – verifikace metody.
- Provedení experimentů s komerčně dostupnými modifikátory tření za účelem stanovení vhodné metodologie experimentu.
- Posouzení vlivu jednotlivých složek modifikátorů tření na trakci a utváření mazacího filmu.
- Analýza a zobecnění získaných výsledků.

## 4. Vymezení cílů dizertační práce

### Číslo publikace 1 – předpokládaný termín odeslání 11/2015

<b>Cíl publikace</b>	Popis chování modifikátorů tření na olejové bázi v kontaktu kola a kolejnice
<b>Aparatura</b>	Ball-on-disk tribometr, optický profilometr
<b>Časopis</b>	Wear
<b>Impact faktor</b>	1,862



### Číslo publikace 2 – předpokládaný termín odeslání 8/2016

<b>Cíl publikace</b>	Posouzení vlivu jednotlivých složek modifikátorů tření na trakci a utváření mazacího filmu
<b>Aparatura</b>	Dvoudiskové zařízení, optický tribometr, optický profilometr
<b>Časopis</b>	Tribology International
<b>Impact faktor</b>	2,124



### Číslo publikace 3 – předpokládaný termín odeslání 5/2017

<b>Cíl publikace</b>	Posouzení vlivu modifikátoru tření na opotřebení, vlnkovitost a hlukovou emisi
<b>Aparatura</b>	Reálná tramvajová trať v Brně
<b>Časopis</b>	Wear
<b>Impact faktor</b>	1,862



## 4. Vymezení cílů dizertační práce

### Vědecká otázka

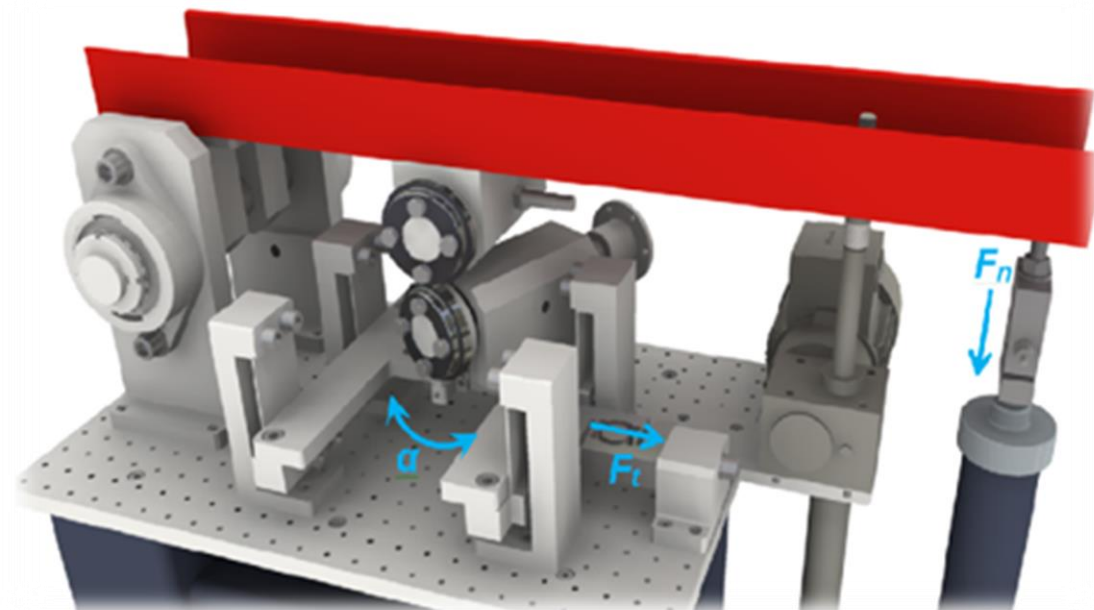
- *Jaká je závislost mezi složením modifikátorů tření, trakci a formováním mazacího filmu mezi povrchy?*

### Pracovní hypotézy

- *„Hodnota trakce je podmíněna zejména velikostí, tvrdostí a smykovou pevností pevných částic vstupujících do kontaktu.“*
- *„V poměru k velikosti kontaktní oblasti existuje mezní hodnota velikosti částic, při které již částice nevstupují do kontaktu.“*
- *„V případě modifikátorů tření na olejové bázi je chování kontaktu ovlivňováno zejména viskózním chováním kapaliny, zatímco u modifikátorů tření na vodní bázi se chování kontaktu odvíjí od vlastností tuhých těles modifikátoru tření.“*

# 5. Současný stav řešení dizertační práce

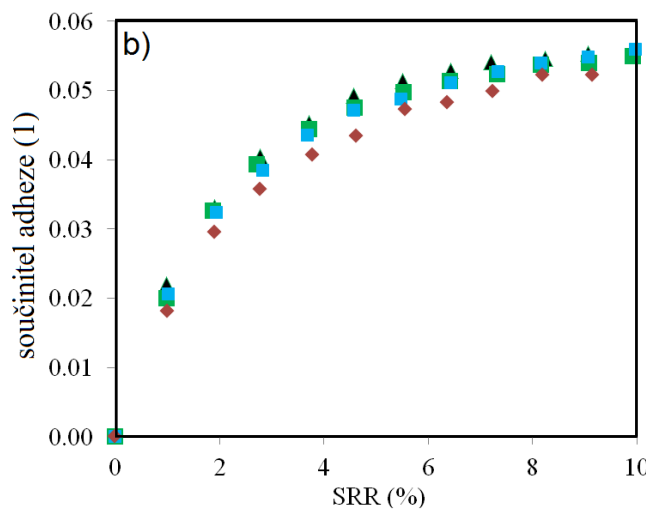
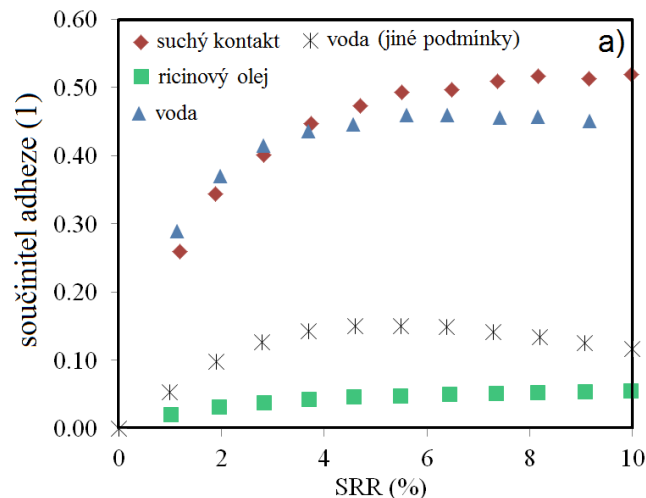
## Modifikace experimentální aparatury



Měřitko	Průměr disků (mm)	Tloušťka (mm)	Velikost oblasti (mm)	Tlak (GPa)
<b>Stávající 1:3</b>	320	50	2,3 x 2,7	1
<b>1:12</b>	80	10	0,28	0,8
<b>1:12</b>	80	8	0,31	0,9
<b>1:12</b>	80	6	0,36	1

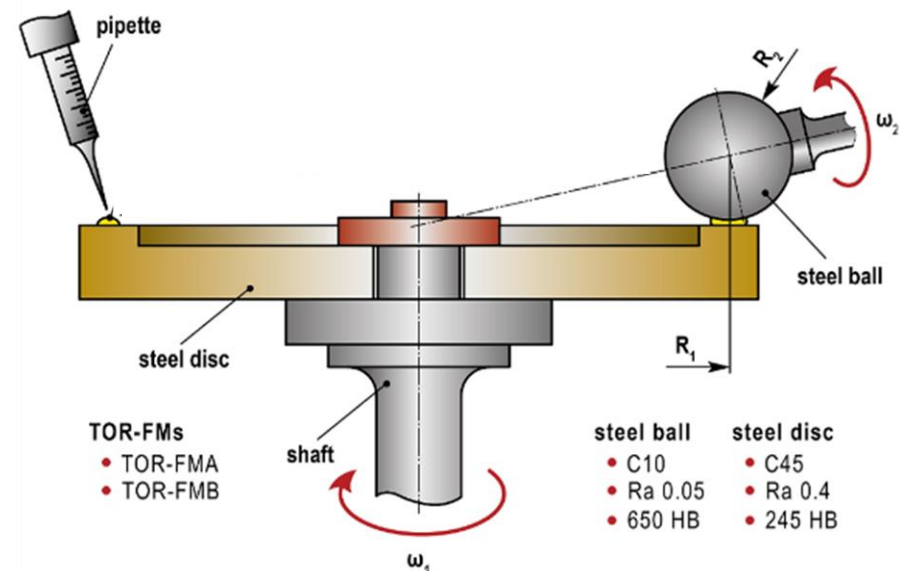
# 5. Současný stav řešení dizertační práce

## Verifikační experimenty

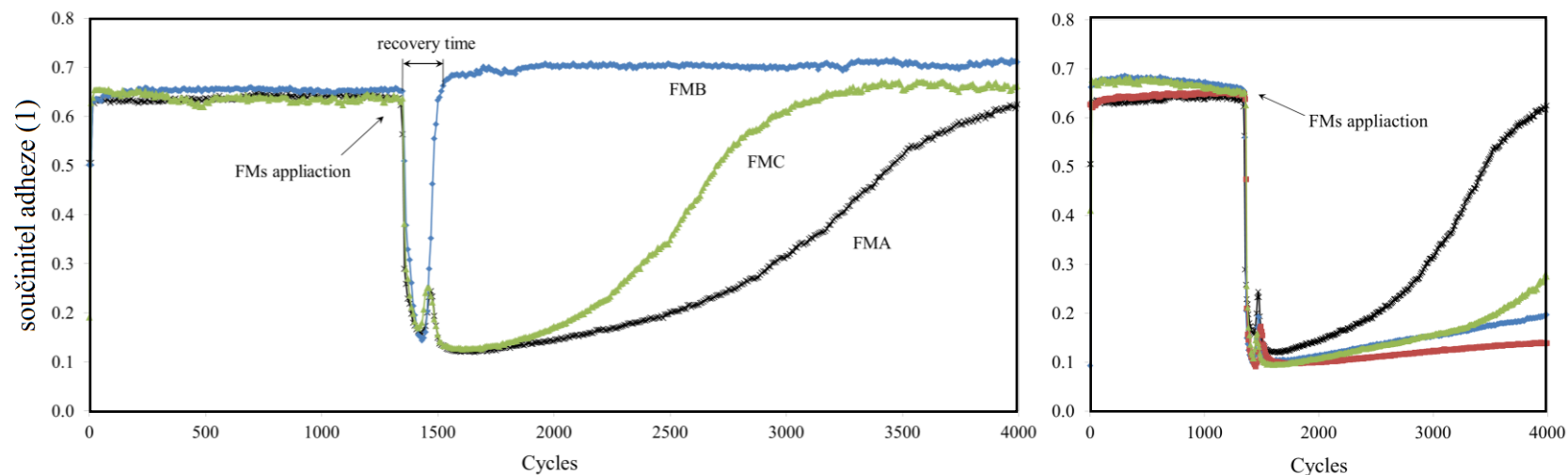


## Experimentální podmínky

- Kontaktní tlak 0,75 GPa
- Rychlost 300 mm/s
- Skluz 5 %
- Modifikátory tření (vodní báze) FMA, FMB, FMC



## Experimenty s modifikátory tření na vodní bázi



# 5. Současný stav řešení dizertační práce

## Experimentální podmínky

- Kontaktní tlak 0,75 GPa
- Rychlost 300 mm/s
- Skluz 1-10 %
- Množství 1-4  $\mu\text{l}$
- Modifikátory tření *TOR-FMA*  
(olejová báze) *TOR-FMB*

## Časové a trakční křivky

article in press

article in press

## Vliv aplikovaného množství










article in press

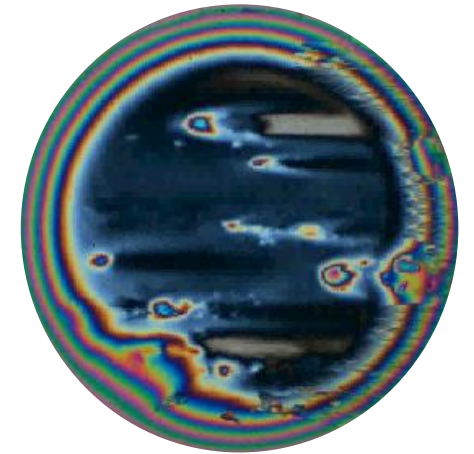
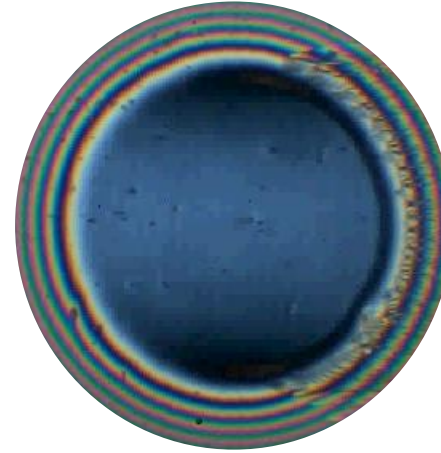
## Studium opotřebení

article in press

article in press

## 5. Současný stav řešení dizertační práce

- Shrnutí současného stavu poznání 
- Experimentální aparatura 
- Metodologie experimentu 
- Realizace úvodních (verifikačních) experimentů  
- Experimenty s modifikátory na olejové bázi 
- Experimenty zaměřené na popis utváření mazacího filmu 
- Experimenty na reálné trati 
- Analýza a interpretace výsledků 



# 5. Současný stav řešení dizertační práce – publikace

## Články v konferenčních sbornících

- GALAS, R.; OMASTA, M.; KŘUPKA, I.; HARTL, M. *Effect of Friction Modifiers on Adhesion in Wheel- Rail Contact*. Tokyo: Japanese Society of Tribologists, 2015. s. 973-974.
- GALAS, R.; OMASTA, M. The Effect of Friction Modifier on the Wheel- Rail Contact. In *55th International Conference of Machine Design Departments*. 2014. s. 123-128. ISBN: 978-80-01-05542- 7.

## Články v časopise

- GALAS, R.; SMEJKAL, D.; OMASTA, M.; HARTL, M. Twin-Disc Experimental Device for Study of Adhesion in Wheel- Rail Contact. *Engineering Mechanics*, 2014, roč. 21, č. 5, s. 329-334. ISSN: 1805- 4633.
- GALAS, R.; OMASTA, M; KŘUPKA, I.; HARTL, M. The Rolling-sliding Laboratory Tests of Oil Based Friction Modifier in Dry Wheel-Rail Contact. *Wear*.  
*předpokládané datům odeslání 11/2015*



# 6. Závěr

## Rok 2015

- Pojednání ke SDZ obsahuje shrnutí poznatků v oblasti modifikace tření v kolejové dopravě, zejména pak studie zaměřené na modifikátory tření.
- Zprovoznění a verifikace dvoudiskového zařízení
- Experimenty vyplývající s projektu TA ČR
- Odeslání impaktovaného článku

## Rok 2016

- Studium zabývající se utvářením mazacího filmu - publikace
- Experimentální výzkum na reálné trati - publikace

## Rok 2017

- Sepsání dizertační práce
- 5ti-měsíční stáž na *Southwest Jiaotong University*



Děkuji vám za pozornost

**Radovan Galas**

[galas@fme.vutbr.cz](mailto:galas@fme.vutbr.cz)

<http://uk.fme.vutbr.cz/>

 **ústav  
konstruování**

