

Vliv složení třecí vrstvy na tribologii kontaktu kola a kolejnice

Daniel Kvarda, Ing.

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

Brno, 26.2.2018



Obsah

ÚVOD

MOTIVACE

SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

ANALÝZA A ZHODNOCENÍ POZNATKŮ

PODSTATA A CÍLE

VĚDECKÉ OTÁZKY A PRACOVNÍ HYPOTÉZY

POSTUP ŘEŠENÍ

ZÁVĚR



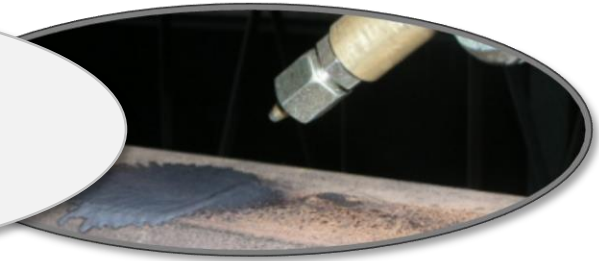
Úvod



Přírodní
kontaminanty



Modifikátory
tření



Mazání okolku



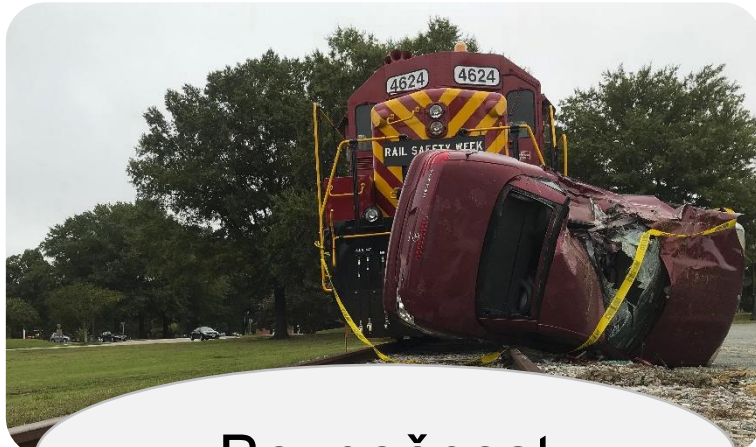
**Kontakt kola
a kolejnice**

Pískování



Motivace

- Vytíženost kolejové dopravy se každým rokem zvětšuje.
- „Friction management“ se stává stále více aktuálnějším tématem.
- Třecí vrstva zásadně ovlivňuje přenos trakčních a brzdných sil.
- Vývoj nových predikčních modelů je limitován neúplnými znalostmi základních fyzikálních procesů.



Bezpečnost



Ekonomičnost

Controlling friction delivers longer rail life

FRICION MANAGEMENT Reducing friction between wheel and rail at both the gauge face and top of rail is now a practical and successful approach to extending rail life. By maintaining target friction levels at the critical wheel-rail interface, metal loss through wear and rolling contact fatigue can be substantially reduced.

Extending the working life of trackbeds remains a challenge for many rail operators. In the case of rail, the cost of new rail can represent a major proportion of annual capital expenditure, so proactive measures can have a dramatic impact on capital spending requirements. Rail renewal is also time and labour-intensive process, requiring extended track possessions, which has a direct impact on railway operations; its effects on system capacity are immediate, measurable and direct.

Gauge face lubrication

Applying a high-performance lubricating medium (as a grease or in solid form) can keep friction at the interface between the wheel flange and the gauge face of the rail at low and predictable levels. Wear at this interface occurs almost exclusively on the high rail in curves, where the combination of high contact pressure and relative motion (sliding or creep) results in a significant dissipation of energy through elevated temperatures, noise and, most importantly, rail and wheel wear. By maintaining the coefficient of friction between the surfaces, the amount of energy expended and resulting wear is substantially reduced.

Lubrication at the gauge face/wheel flange can be implemented using either trackbed or vehicle-mounted systems. Trackbed lubrication typically uses a wheel sensor to detect passing traffic and dispense precise volumes of liquid lubricant from applicator boxes or blades mounted overhead in contact with the gauge face. This may involve the use of compliant materials

that allow for increased tolerance with passing trains, producing an active deposition of lubricant at the target interface.

Friction levels at the gauge face/wheel flange interface can also be established through the use of solid track lubrication. A spring-loaded applicator is mounted on the bogie with a lubricating stick applied to the wheel flange for subsequent transfer to the rail surface and following wheels. This

approach is widely used on passenger networks, and is particularly effective in closed systems such as metro where variations can be dialed out.

Gauge face/wheel flange lubrication has been standard practice on many railways for decades, and research continues to maximize and quantify the benefits for infrastructure life. The Canadian National Research Council's Centre for Surface Transportation Technology has been involved with the 100% Railzone Friction Management Initiative at Canadian Pacific (CP) 911 p66. On an 80 km section of CP's Thompson Subdivision, this demonstrated an 87% reduction in gauge



Illustration by Peter H. Johnson © 2012

Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

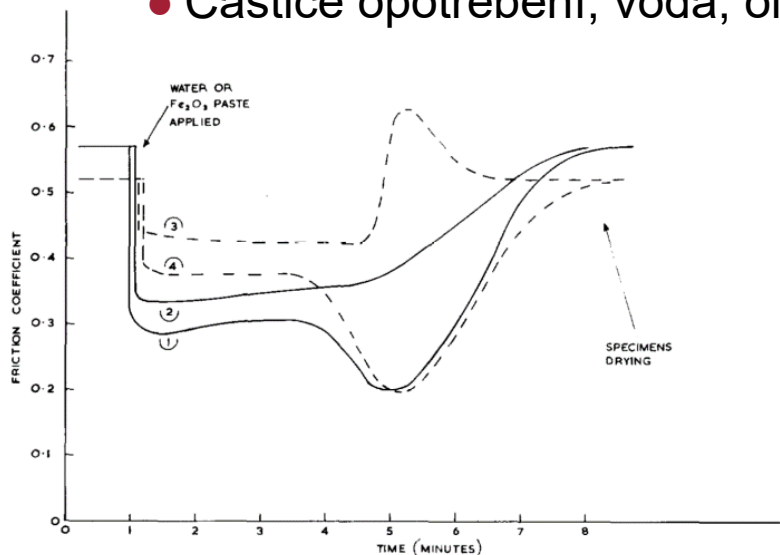
Beagley – Vliv kontaminantů na adhezi

Hou – Reologický model pevné vrstvy

- Studie motivovány problémem nízké adheze
- V kontaktu kola a kolejnice se běžně vyskytují kontaminanty přírodní i umělé

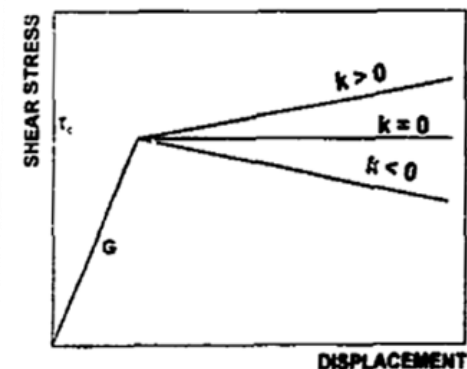
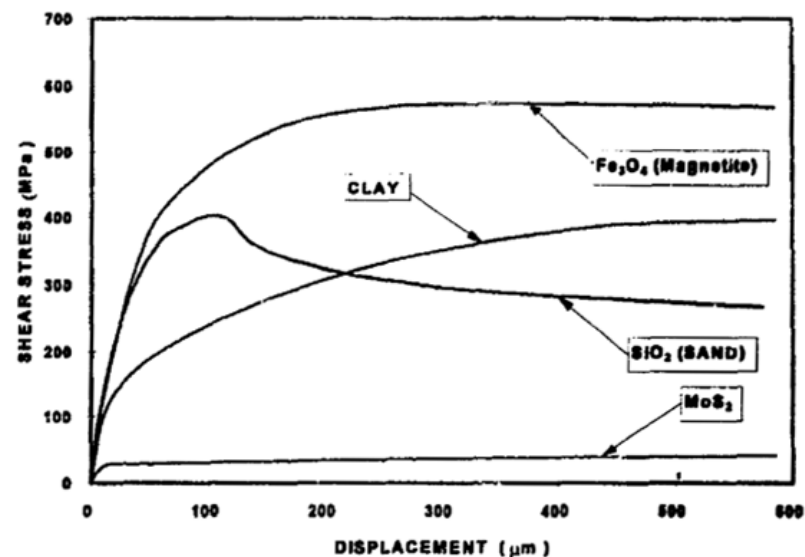
• Beagley a kol., 1975-1976

- Studium kontaminantů
- Částice opotřebení, voda, olej



• Hou a kol., 1997

- Studium pevných kontaminantů
- Odlišné průběhy smykového napětí
- Zjednodušený model reologického chování

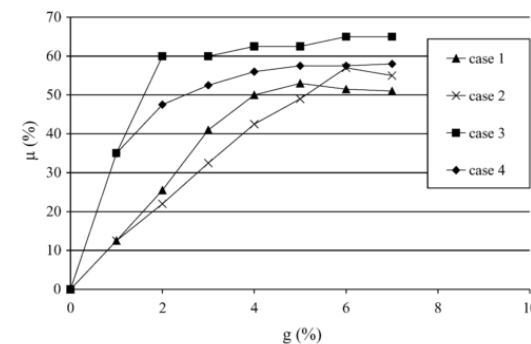
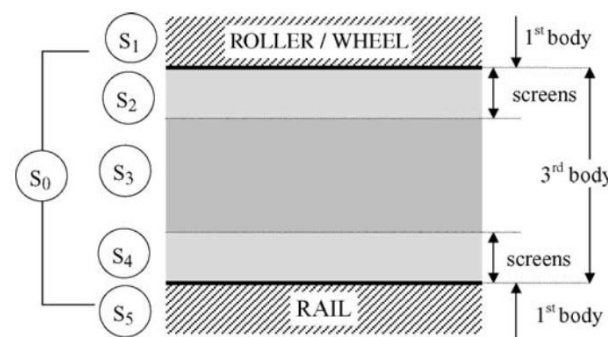
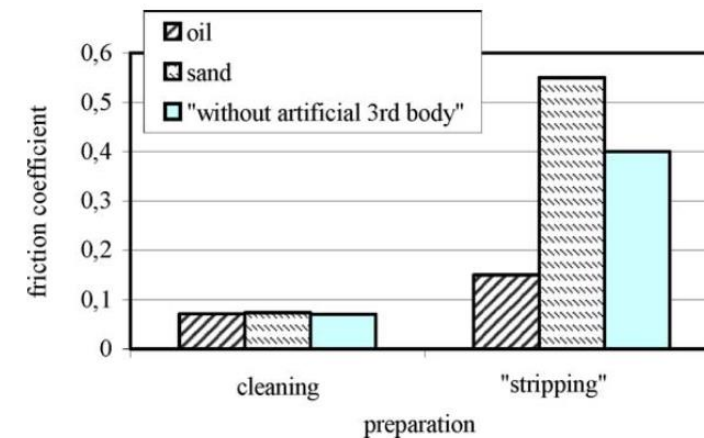
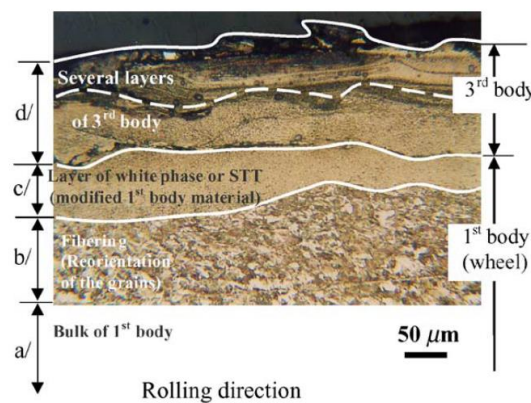


Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

Berthier, Descartes, Niccolini – Studium oxidace a třecích vrstev

- **Berthier a kol., 2004**
 - Vliv provozních parametrů na vznik oxidů
 - Popis mikrostrukturálních změn
- **Descartes a kol., 2005**
 - Popis mikrostrukturálních změn
 - Různé způsoby odstranění oxidické vrstvy
- **Niccolini a Berthier, 2005**
 - Odlišení různých fází třecí vrstvy
 - Vznik oxidických vrstev
 - Vliv tvrdých a měkkých oxidů na trakční křivku



Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

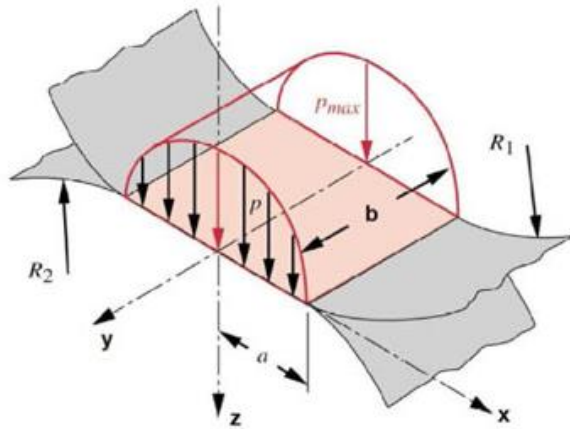
Model tření

Hertz – Kontaktní mechanika

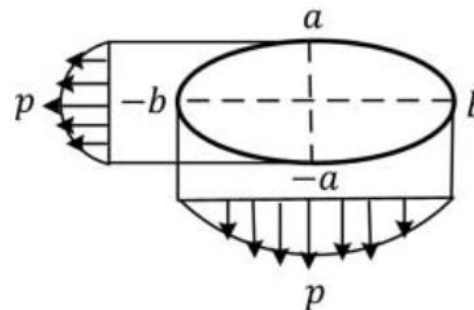
Kalker – Přenos trakčních sil

Axén, Popov, Psakhie – Vícefázové materiály

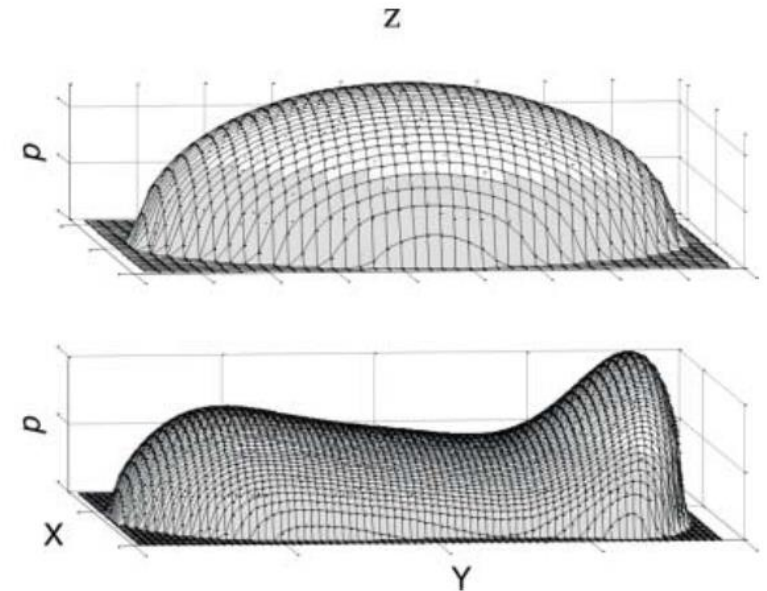
- Současné modely využívají nejčastěji Hertzovu teorii nebo MKP
- Hertzova teorie je pro modelové případy jednodušší na řešení
- Výstupem je **rozložení tlaku**



Rozložení tlaku v liniovém kontaktu
(Muraro, 2012)



Rozložení tlaku dle Hertzovi teorie (vlevo) a MKP (vpravo)
(Meymand, 2016)



Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

Model tření

Hertz – Kontaktní mechanika

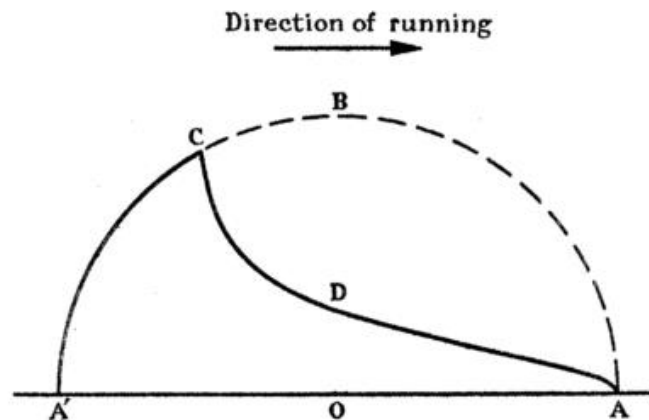
Kalker – Přenos trakčních sil

Axén, Popov, Psakhie – Vícefázové materiály

- Cílem výpočtu trakčních sil je určit jejich průběh v závislosti na skluzu
- Výstupem je **rozložení tečného napětí/součinitel adheze**

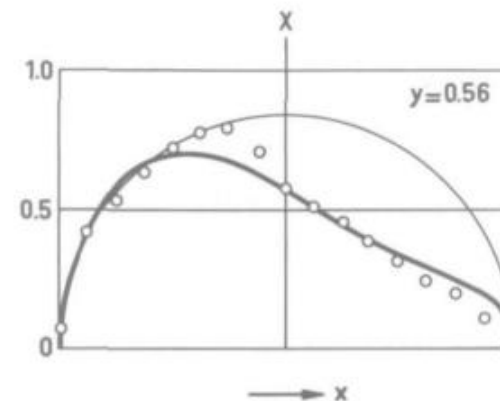
- **Carter a kol., 1926**

- Matematické odvození rozložení tečného napětí v kontaktu kola a kolejnice



- **Kalker, 1967, 1976**

- Matematický popis valivého kontaktu s třením
- Rozvoj numerických metod pro řešení problému valivého kontaktu
- Odvození zjednodušeného řešení



Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

Model tření

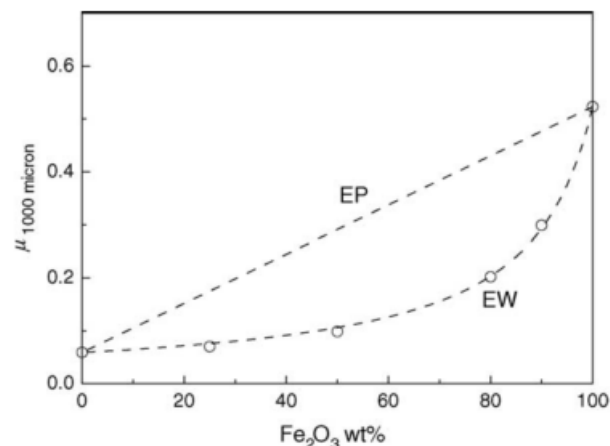
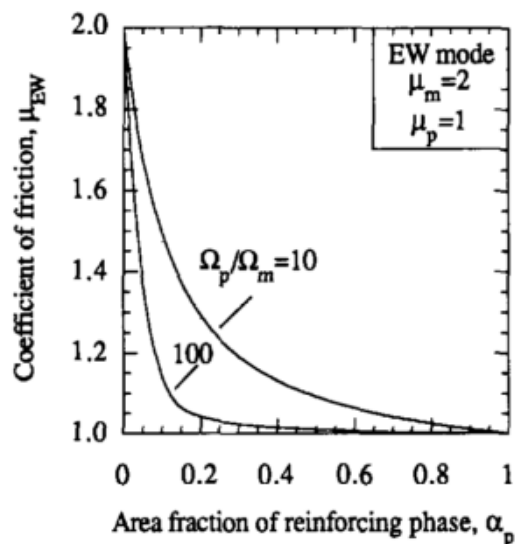
Hertz – Kontaktní mechanika

Kalker – Přenos trakčních sil

Axén, Popov, Psakhie – Vícefázové materiály

- Axén a kol., 1994, 1996

- Model tření pro multifázové materiály
- Tři módy závisující na objemu a otěruvzdornosti

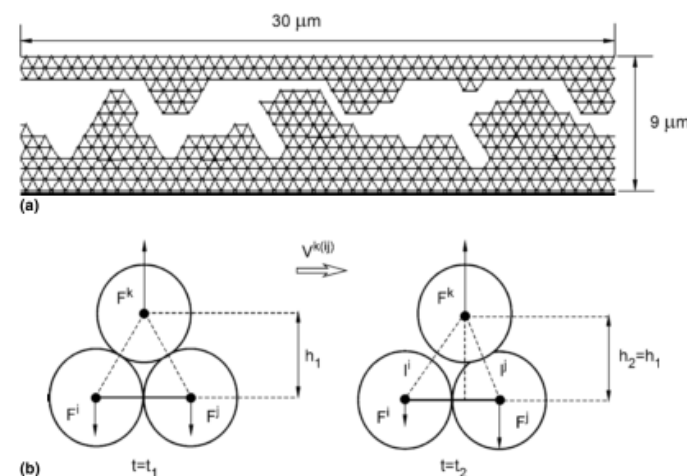


Porovnání modelu s experimentem (Lu, 2012)

- Psakhie a kol., 2001

- Popov a Psakhie, 2001

- Vývoj metody *Movable Cellular Automata*
- Aplikace na kompozitní materiály



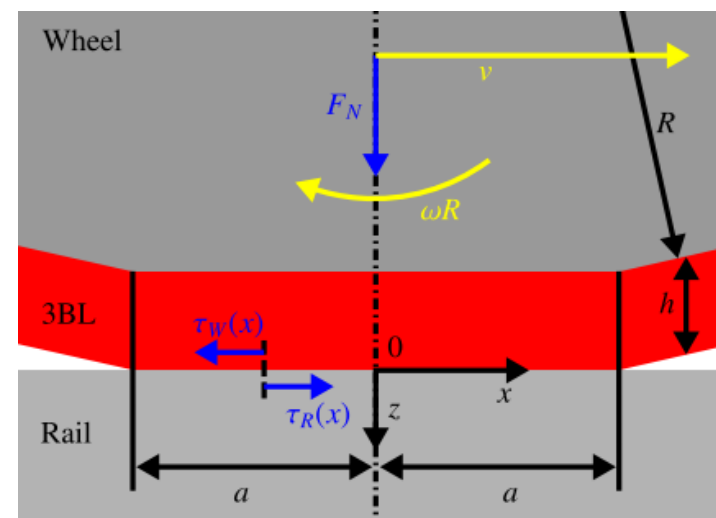
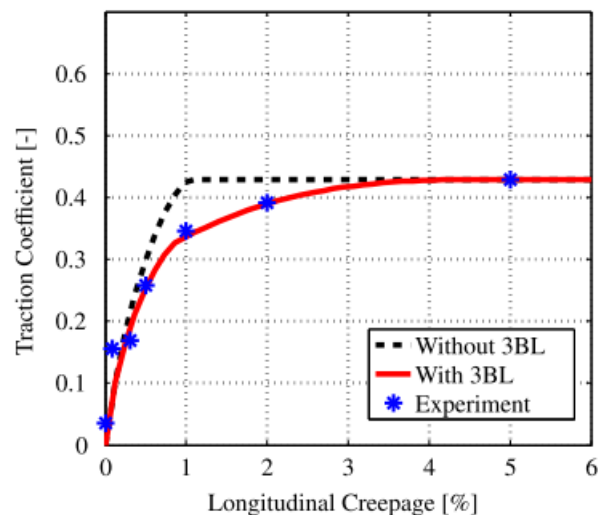
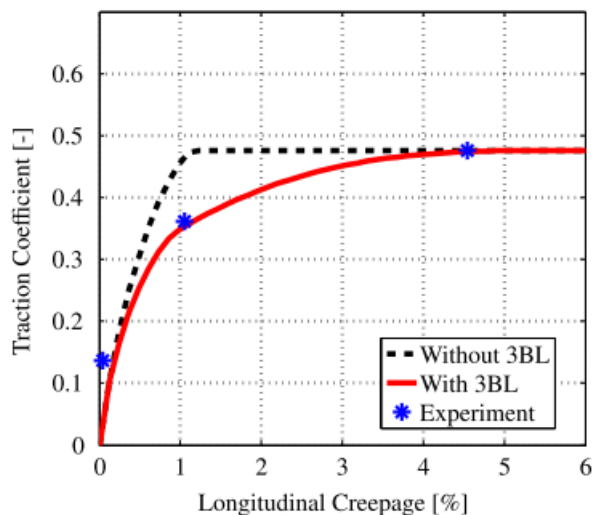
Současný stav poznání

Samostatné a komplexní třecí vrstvy

Model tření

Experimentální ověření

- Matematické modely obsahující třecí vrstvy doposud nebyly podrobeny dostatečnému experimentálnímu ověření
- **Meierhofer a kol., 2013**
 - Analytické řešení kontaktu s třecí vrstvou
 - Porovnání s experimentálními daty



Analýza a zhodnocení poznatků

Třecí vrstvy	Model tření	Experimentální ověření
<ul style="list-style-type: none">● Komplexní třecí vrstvy jsou doposud opomíjeny● Interakce jednotlivých složek není dostatečně popsána● Zaměření na oxidy, pevné částice a pevná maziva● Studium parametrů ovlivňujících smykové napětí	<ul style="list-style-type: none">● Matematický model založený na Hertzově a Kalkerově teorii● Popis a implementace modelu komplexních třecích vrstev● Využití parametrů jednotlivých složek pro predikci závislosti smykové napětí/deformace	<ul style="list-style-type: none">● Predikce zahrnující třecí vrstvu doposud nejsou dostatečně ověřeny● Pro ověření je potřeba porovnat trakční křivky z modelu a experimentu

Mezery v současném stavu řešení

- Studium komplexních třecích vrstev
- Modelování komplexních třecích vrstev a predikce součinitele adheze

Podstata a cíle disertační práce

- Podstatou je pochopení interakcí látek v kontaktu kola a kolejnice.
- Cílem je na základě studia třecích vrstev vyvinout model pro predikci součinitele adheze.
 - Vliv složení třecí vrstvy na závislost smykového napětí/deformace.
 - Matematický model zohledňující třecí vrstvy.
 - Experimentální ověření modelu.
- Přínos:
 - Nové poznatky z oblasti komplexních třecích vrstev.
 - Model reálněji popisující skutečný kontakt.
- Návaznost na zjednodušený model z publikace Meierhofer.
- Rozšíření současných matematických modelů (Meierhofer, Vollebregt).
- Doplnění poznatků ze studia třecích vrstev (Beagley, Hou).



Vědecké otázky a pracovní hypotézy



- **Vědecká otázka**

„Jaké charakteristiky třecích vrstev nejvýznamněji ovlivňují závislost mezi smykovým napětím a deformací vrstvy?“



- **Pracovní hypotéza**

„Závislost mezi smykovým napětím a deformací třecí vrstvy je nejvíce ovlivněna materiálovými vlastnostmi, dále velikostí a tvarem částic. Mezi nejdůležitější materiálové vlastnosti patří tvrdost, otěruvzdornost a smyková pevnost.“

- **Vědecká otázka**

„Jakými způsoby lze modifikovat třecí vrstvu, aby bylo dosaženo požadovaných třecích vlastností?“



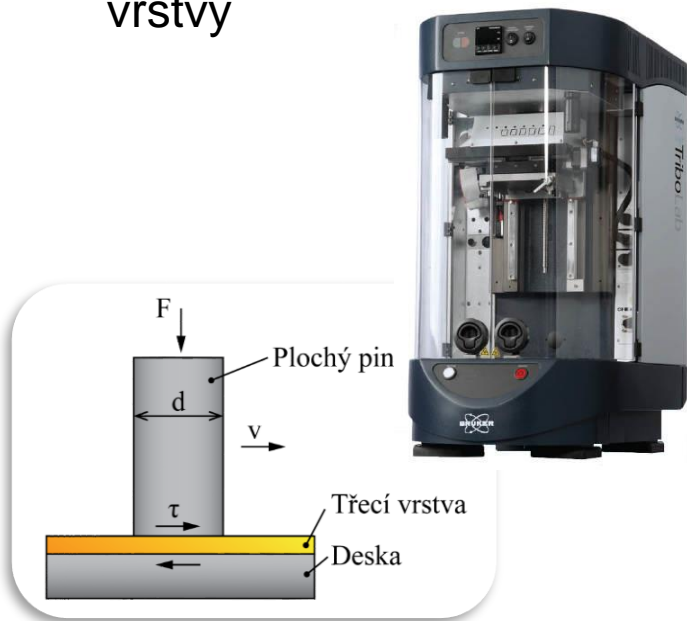
- **Pracovní hypotéza**

„Dosažení požadovaných třecích vlastností lze docílit přidáním materiálu s vhodnou smykovou pevností, tvrdostí a velikostí částic do kontaktu. Množství přidaného materiálu ovlivní velikost poklesu nebo nárůstu smykové pevnosti a tedy součinitele adheze.“

Postup řešení

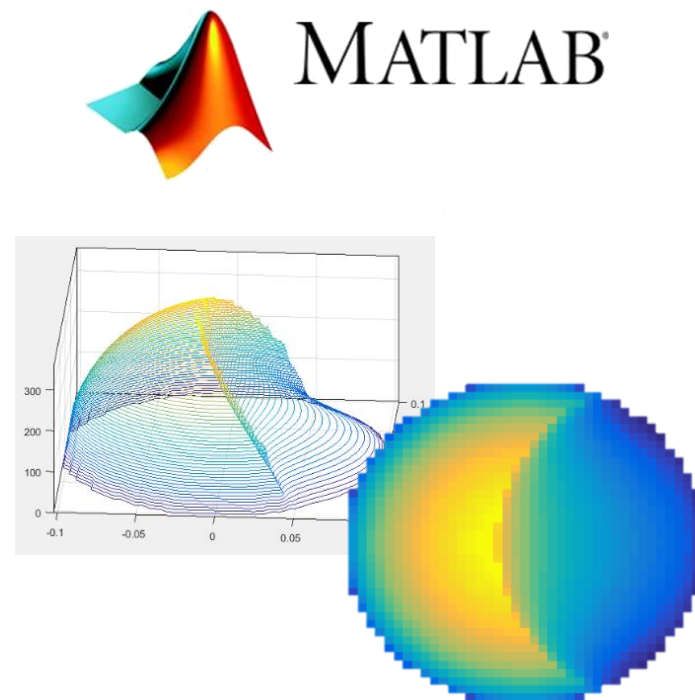
Studium třecích vrstev

- Pin-on-plate konfigurace
- Písek, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , MoS_2
- Smykové napětí/deformace
- Parametry složek třecí vrstvy



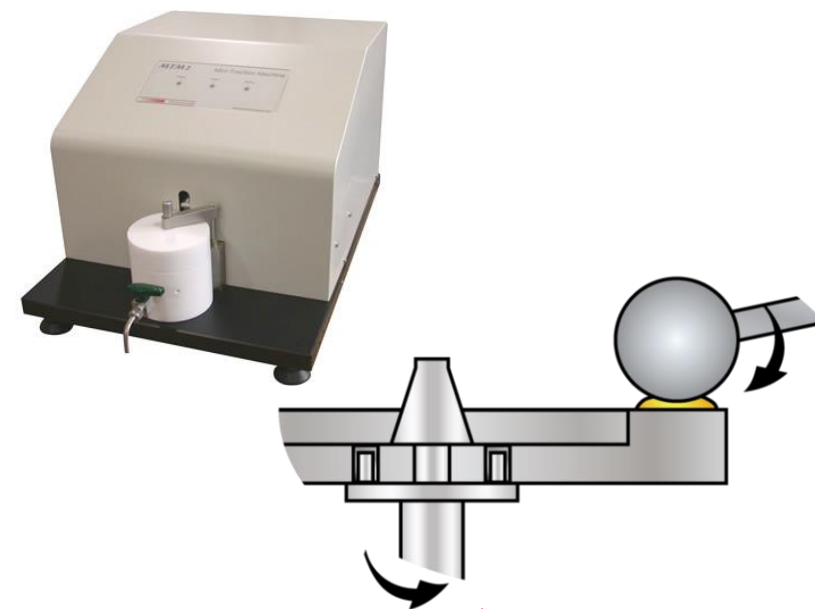
Vývoj matematického modelu

- Hertzův kontaktní model
- Kalkerův model tečného napětí
- Model komplexních třecích vrstev dle Axéna



Experimentální ověření

- Ball-on-disc konfigurace
- Testování modelových případů
- Porovnání naměřených a predikovaných trakčních křivek



Postup řešení

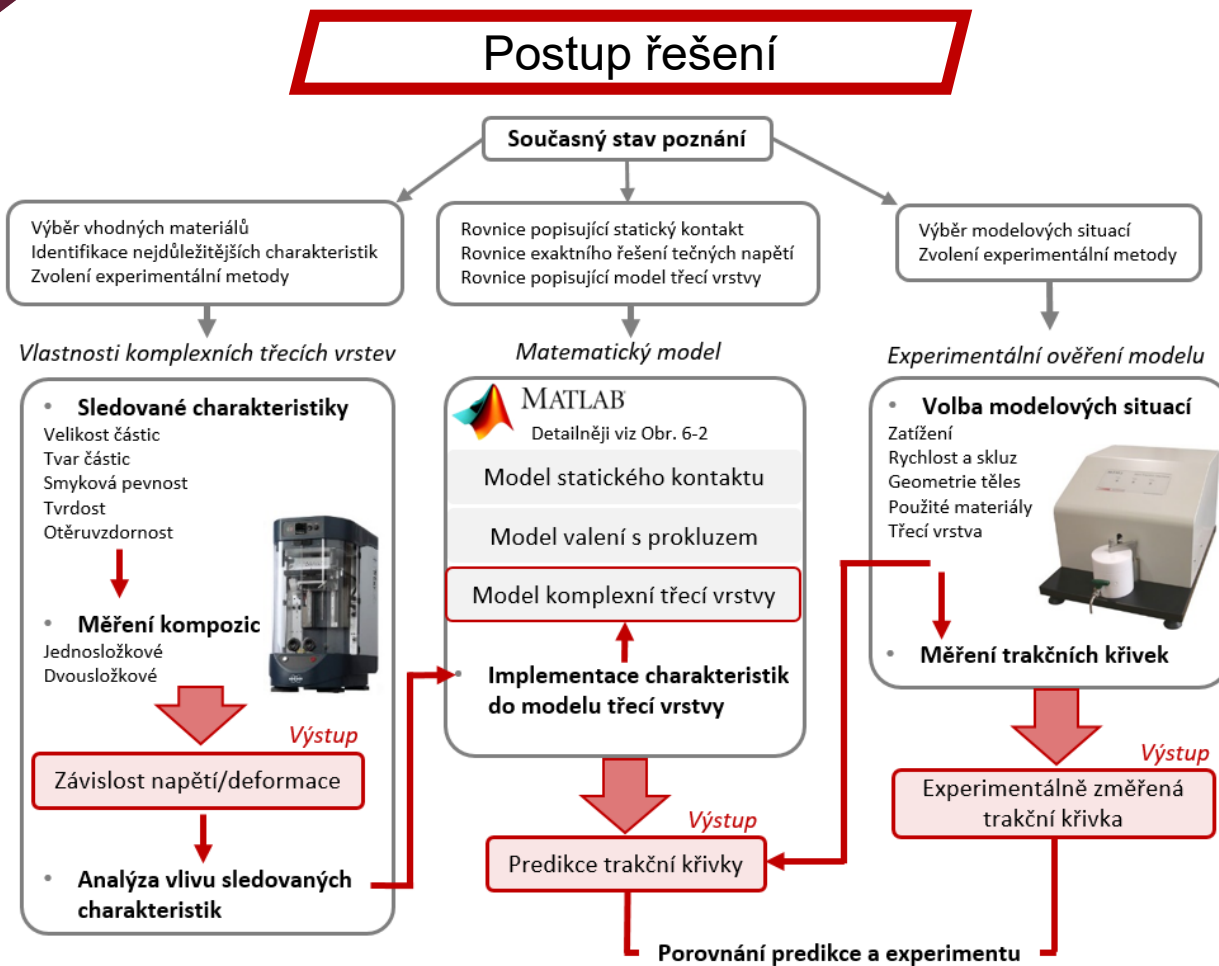
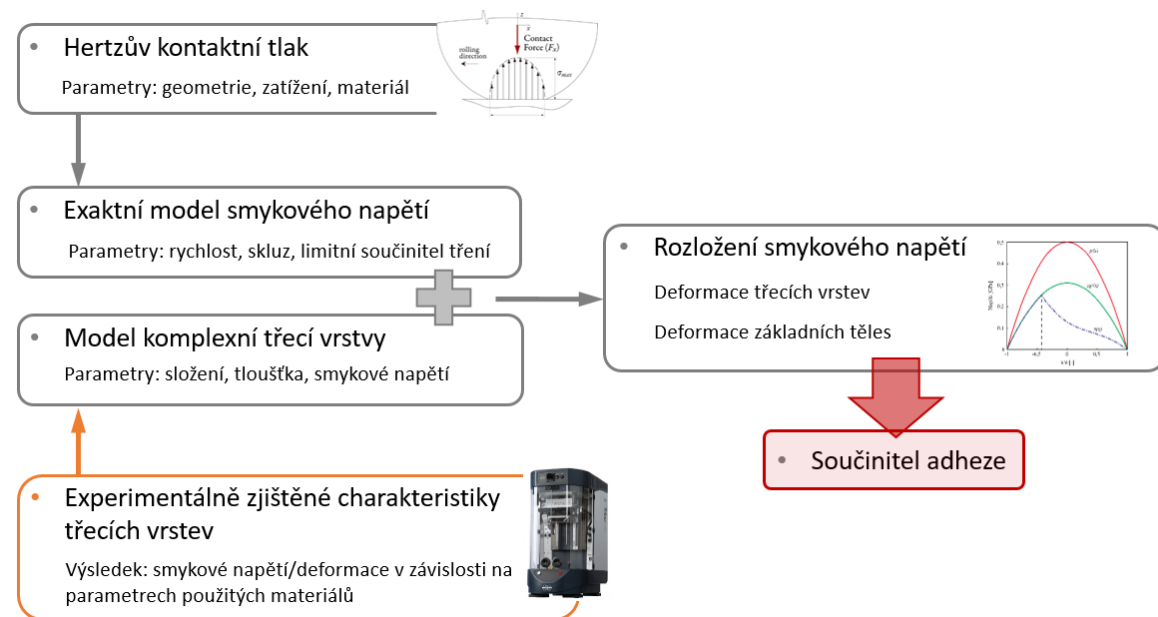
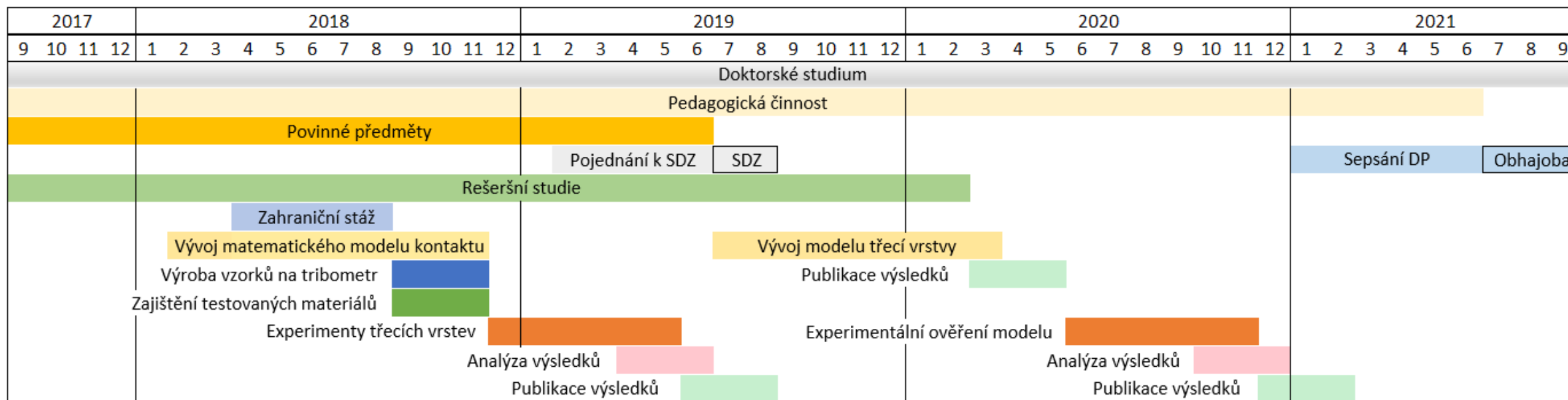


Schéma modelu



Postup řešení



Závěr

- Získané znalosti třecích vrstev bude možné využít při návrhu modifikátorů tření.
- Vyvinutý matematický model bude umožňovat predikci trakčních křivek pro kontaminovaný kontakt.
- Výstupy modelu mohou v praxi pomoci systémům řídicím adhezi (pískování, modifikátory tření).
- Přesná predikce součinitele adheze je důležité pro dynamické simulace kolejových vozidel.
- Předpokládanými výstupy jsou:
 - Matematický model
 - Publikace v impaktovaných časopisech



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Daniel Kvarda, Ing.

Daniel.Kvarda@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz