

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo–kolejnice s využitím  
kladkového stavu

Diplomová práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Bílek**  
Osobní číslo: **D20527**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**  
Téma práce: **Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice s využitím kladkového stavu**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

## Zásady pro vypracování

Jedním ze současných směrů výzkumu kontaktu kola a kolejnice je rozvoj metod pro hodnocení maziv a modifikátorů tření aplikovaných do kontaktu. Důležitým příspěvkem k tomuto výzkumu je srovnávání podmínek a výsledků zkoušek na různých zkušebních zařízeních, zejména takových, která jsou reálnému železničnímu provozu blíže než klasické vybavení tribologických laboratoří.

Z toho vychází hlavní cíl diplomové práce, kterým je uzpůsobit existující kladkový stav pro testování tuhých maziv a modifikátorů tření, provést a vyhodnotit experimenty a srovnat jejich výsledky s poznatky z literatury, příp. dřívějších zkoušek na dvoukotoučovém stroji.

Vypracujte:

1. stručný přehled problematiky tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice a metodiky jejich hodnocení;
2. rozbor požadavků a z nich vycházející návrh přípravku pro aplikaci tuhých maziv na kolo kladkového stavu, včetně výkresové dokumentace;
3. plán zkoušek pro zkoušení účinku vybraných tuhých maziv na adhezní vlastnosti;
4. vyhodnocení výsledků zkoušek.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 16028. Železniční aplikace – Řízení tření mezi kolem a kolejnici – Maziva pro aplikace na vozidle a na trati. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [2] FLETCHER, D. I., LEWIS, S. Creep curve measurement to support wear and adhesion modelling, using a continuously variable creep twin disc machine. In *Wear*, 2013, 298–299, s. 57–65. ISSN 0043-1648.
- [3] GALAS, R. Friction Modification within Wheel-Rail Contact. Brno, 2018. Disertační práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [4] LEWIS, R. et al. Towards a standard approach for the wear testing of wheel and rail materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2017, 231(7). ISSN 2041-3017.
- [5] VOLTR, P., LIBEROVÁ, S. Faktory ovlivňující hodnocení výkonnosti tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice. *Současné problémy v kolejových vozidlech 2021: sborník příspěvků z XXV. konference s mezinárodní účastí*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2021. S. 391-398. ISBN 978-80-7560-377-7.
- [6] VOLTR, P., ZIREK, A., KAYAALP, B. T. Nové zkušenosti a poznatky z experimentálního měření adheze na zkušebním stavu. *Současné problémy v kolejových vozidlech 2017: sborník příspěvků z XXIII. konference s mezinárodní účastí*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017. S. 423-432. ISBN 978-80-7560-085-1.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Voltr, Ph.D.**  
Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **9. února 2024**  
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 9. února 2024

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA**

Práci s názvem Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo–kolejnice s využitím kladkového stavu jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15.07.2024

Bc. Adam Bílek v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl vyjádřit své upřímné díky panu docentu Petru Voltrovi, který byl vedoucím mé diplomové práce. Jeho odborné vedení, cenné rady a neustálá podpora byly pro mě během celé doby psaní této práce neocenitelné. Také děkuji celému týmu „kolejáků“ vyučujících, kteří mi s jakoukoliv nejasností neváhali poradit.

Velké díky patří také mé rodině a přátelům, kteří mi poskytli morální podporu a povzbuzení v průběhu celého mého studia, stejně jako inspiraci v oblasti profesní i lidské.

## **ANOTACE**

Pohyb železničních vozidel po infrastruktuře je ovlivňován množstvím aspektů. Mezi ty důležité patří bezpečnost, spolehlivost a také poskytnutí komfortu cestujícím. Nanášením tuhého maziva na určité místo okolku železničního kola ovlivňujeme při jízdě železničních vozidel všechny výše uvedené aspekty. Proto má oblast experimentálního zjišťování, analyzování a rozvoje problematiky mazání okolku velký význam.

Tato práce se věnuje problematice experimentálního zjišťování vlivů přítomnosti maziva v kontaktu kola a kolejnice na zkušebním kladkovém stavu. K provedení experimentů je součástí této práce i doplnění zkušebního stavu o držák maziva, naměření adhezních charakteristik pro jednotlivé vzorky maziva a jejich vyhodnocení.

Práce pak poskytuje souhrnnou představu o provedených měřeních a vyhodnocení vlivu maziva.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

tuhá maziva, dvoukotoučový stroj, kladkový stav, součinitel tření, kontakt kolo – kolejnice.

## **TITLE**

Assessment of solid lubricants for wheel-rail interface using a roller rig.

## **ANNOTATION**

The movement of railway vehicles on the infrastructure is affected by many aspects, among which undoubtedly belongs safety, reliability or providing comfort to passengers. By applying lubricant into the area of wheel flange, we affect all mentioned aspects and because of that, area of experimental findings, analysis and development of wheel flange lubrication has its meaning.

This thesis addresses issues of experimental findings of lubricant presence between wheel and rail contact by applying a sample of lubricant used on tram wheel roller rig. For conducting experiments, this thesis also includes assembly of holder, which is needed for application of lubricant. Measurements of adhesion characteristic for each lubricant's samples and their evaluation. As a result, this thesis provides a comprehensive overview of conducted measurements and evaluation of the lubricant's effect on the contact between wheel and roller while applying on test tram wheel.

As a result, this thesis provides a comprehensive overview of conducted measurements and evaluation of the lubricant's effect.

## **KEYWORDS**

Solid lubricants, twin-disc machine, roller rig, coefficient of friction, wheel-rail contact.

## OBSAH

Seznam symbolů .....	10
Úvod .....	11
1 Maziva v kontaktu kolo kolejnice .....	12
1.1 Používané způsoby mazání železničních kol a kolejnic.....	12
1.2 Vozidlová zařízení pro kapalná maziva.....	14
1.3 Vozidlová zařízení pro tuhá maziva.....	14
1.4 Požadavky k použití maziv plynoucích z normy .....	15
2 Metody testování.....	16
2.1 Dvoukotoučový stroj typu Amsler.....	16
2.2 Zkušební kladkový stav.....	18
3 Tuhé mazivo na zkušebním kladkovém stavu .....	19
3.1 Prostorové požadavky vztažené ke zkušebnímu kladkovému stavu.....	19
3.2 Návrh držáku tuhého maziva .....	20
3.3 Realizace a provedení držáku.....	22
3.3.1 Odvození vztahu pro aplikaci držáku tuhých maziv.....	23
3.3.2 Postup výpočtu.....	24
3.3.3 Realizace výpočtu.....	29
3.3.4 Sestavení držáku.....	29
3.3.5 Ověření držáku tuhého maziva.....	31
4 Zkoušení maziv na zkušebním kladkovém stavu .....	32
4.1 Účel zkoušek.....	32
4.2 Postup realizace experimentů na kladkovém stavu .....	32
4.3 Průběh zkoušek s jejich základními předpoklady .....	35
4.4 Kvantifikace parametrů kontaktu kola a kladky .....	36
5 Vyhodnocení experimentů na zkušebním kladkovém stavu .....	40
5.1 Vyhodnocovací skript ROLA .....	40
5.2 Hodnocení naměřených dat.....	40
5.2.1 Zpracování naměřených adhezních charakteristik.....	41
5.2.2 Teoretický význam vybraných parametrů .....	42

---

5.2.3	Grafické znázornění a popis parametrů.....	43
5.2.4	Hodnocení parametrů $f_o$ a $c_{\mu so}$ po provedených experimentech.....	48
5.3	Souhrnné posouzení naměřených dat .....	49
5.4	Porovnání naměřených dat s výsledky na dvoukotoučovém stavu.....	51
6	Závěr.....	53
	Použitá literatura.....	56
	Seznam příloh .....	57

**SEZNAM SYMBOLŮ**

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název veličiny</b>
$A$	[1]	Poměr součinitele tření pro skluzovou rychlost jdoucí k nekonečnu a statickému součiniteli tření
$b$	[mm]	Délka ramene k otočnému čepu
$c$	[mm]	Vzdálenost středu otáčení kola a středu otáčení držáku
$c_{\mu so}$	[1]	Počáteční strmost vzestupné větve adhezní charakteristik
$c_{fwo}$	[s/m]	Záporně vzatá počáteční strmost třecí charakteristiky $f = f(w)$
$f_o$	[-]	Statický součinitel tření
$F_{\text{přítlak}}$	[kN]	Přítlak vyvolaný ramenem maziva
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	Gravitační zrychlení
$l_{11}$	[mm]	Délka konce nosníku závaží od konce otočného čepu držáku
$l_{\text{poc}}$	[mm]	Vodorovná vzdálenost středu otáčení držáku od středu otáčení kola
$l_{t2}$	[mm]	Rozměr určující polohu těžiště sestavy Nosník_mazivo
$l_{t3}$	[mm]	Rozměr určující polohu těžiště sestavy Nosník_zátěž
$l_v$	[mm]	Výpočtový rozměr polohy závaží
$m_1$	[kg]	Hmotnost dosazeného závaží
$m_2$	[kg]	Hmotnost sestavy Nosník_mazivo (výkres č. B_002-01)
$m_3$	[kg]	Hmotnost sestavy Nosník_zátěž (výkres č. B_001-01)
$m_{\text{celk}}$	[kg]	Celková hmotnost držáku maziva
$m_{\text{tyc}}$	[kg]	Hmotnost závitové tyče
$N$	[kN]	Svislá síla přítlaku kolo/kolejnice (virtuální svislá kolová síla)
$n_2$	[mm]	Délka profilu sestavy Nosník_mazivo
$n_3$	[mm]	Délka profilu sestavy Nosník_zátěž
$r$	[mm]	Poloha umístění úhlové spojky v sestavě Nosník_zátěž
$r_{hk}$	[mm]	Svislá vzdálenost středu otáčení kola a středu otáčení držáku
$r_k$	[mm]	Poloměr kola
$r_{k\_vypoc}$	[mm]	výpočtová hodnota průměru kola
$r_{k+}$	[mm]	Přídavek v umístění hrany kapsy maziva od středu hliníkového profilu
$s$	[mm]	Vzdálenost k uchycení úhlové spojky profilu 2
$V$	[km/h]	Obvodová rychlost kladky tramvajového kola
<i>Řecká písmena</i>		
$\mu$	[-]	Součinitel adheze
$\lambda$	[1]	Ukazatel odlišnosti redukce povrchové tuhosti při klouzání a při lpění

## ÚVOD

V současné době se stále více pozornosti věnuje snižování opotřebenění kol a akustického hluku při jízdě železničních vozidel. Jedním z klíčových aspektů, který přímo ovlivňuje oba tyto faktory, je změna vlastností kontaktu mezi kolem (v oblasti okolku) a kolejnicí. Aplikace maziv a způsob nanášení maziva mohou výrazně přispět k prodloužení životnosti kol železničních vozidel a kolejnic infrastruktury, jakož i ke zvýšení efektivity jejich provozování. Předmětem potom je co nejvyšší možná úprava součinitele adheze na takovou hodnotu, která bude mít co možná nejmenší vliv na opotřebenění zmíněné kontaktní dvojice a zcela bude zajišťovat požadavek na přenos adhezních sil, obzvláště s důrazem na bezpečné zastavení vlaku. Z pohledu vědního oboru tribologie lze definovat tento kontakt jako tribologický systém otevřený. Tedy systém, který je z podstaty ovlivněn vnějšími vlivy prostředí (prašnost, teplotní podmínky, vlhkost) a jedním jeho ukazatelem je veličina statického součinitele tření.

Tato diplomová práce se zaměřuje na tuhá maziva, která představují zajímavou alternativu k tradičním kapalným mazivům vzhledem k jejich potenciálu pro aplikace i v běžných provozních podmínkách s možností minimalizace environmentálního dopadu oproti těm kapalným. Cílem práce je vytvořit postup zkoušení tuhých maziv na zkušební kladkovém stavu, který umožní systematické hodnocení jejich vlastností a poskytne představu o konečných důsledcích a podmínkách jejich použití.

V teoretické části práce jsou nejprve shrnuty základní principy tribologie a specifika tribologických systémů v železniční dopravě. Dále jsou popsány vlastnosti a klasifikace tuhých maziv. V další části práce je jako základ k samotnému testování realizován držák maziva použitelný na zkušebním kladkovém stavu. Dále je popsán postup zkoušení, včetně výběru testovacích zařízení, definování testovacích podmínek a parametrů, a metod hodnocení výsledků. Postup je dále ověřen na zkušebním kladkovém stavu, jímž je vybaveno pracoviště Dopravní fakulty Jana Pernera v Pardubicích. Zkoušky na vybraných vzorcích tuhých maziv jsou analyzovány s cílem posoudit vlivy, které ovlivňují použitelnost tuhých maziv a poskytnout čtenáři představu o aplikovatelnosti a efektivitě jejich použití.

Tato práce přináší pohled na problematiku mazání v železničním sektoru a poskytuje nástroje pro lepší pochopení a využití tuhých maziv v praxi. Výsledky a závěry z této práce mohou sloužit jako základ pro další výzkum a rozvoj v oblasti železničního mazání.

# 1 MAZIVA V KONTAKTU KOLO KOLEJNICE

## 1.1 POUŽÍVANÉ ZPŮSOBY MAZÁNÍ ŽELEZNIČNÍCH KOL A KOLEJNIC

Provedení mazání je realizováno buď jako stacionární, tedy mazníky, které slouží jako zdroj maziva, jsou umístěny u kolejnicového pásu a spojeny s lištami, jež spočívají na boku kolejnice, tyto znázorňuje obrázek 1. Mezi další kategorií spadá mazání umístěné na vozidlech, nejčastěji v prostoru předních podvozků vozidla, u kterých je distribuce maziva realizována tlakovým systémem zakončeným tryskou (kapalně roztoky - obrázek 2), potom také k provedení umístění na vozidle dále zahrnuje variantu, která k požadavku na snížení součinitele tření vede instalaci pevného držáku (tuhá maziva), jež směřuje materiál tuhého maziva k okolků kola, viz obrázek 3. Vedle volby složení daného maziva je podstatnou ovlivňující složkou také jeho dávkování. Stacionární mazníky jsou využity předně v blízkosti oblouků tratí a jejich ovládání je pevně stanoveno pomocí stlačení pístů jízdou vozidla.

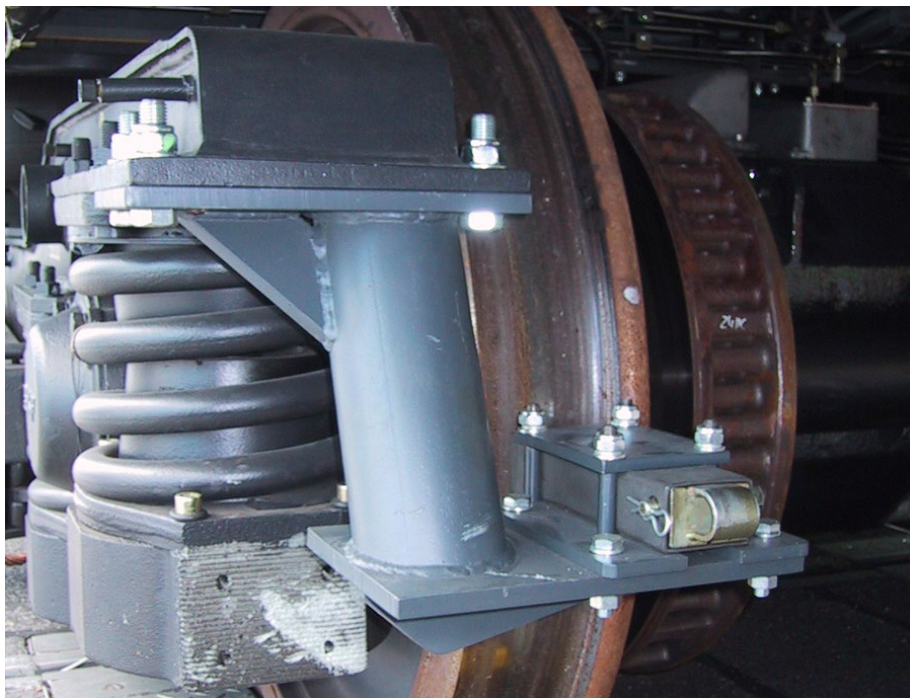
Naproti tomu mazání vozidlové je ovládáno elektro-pneumaticky, nebo elektricky v případě, že se jedná o variantu s kapalným roztokem, mechanicky s konstantní přitlačnou silou jde-li o tuhá maziva.



Obrázek 1 – Kolejnicový mazník TRIBOTEC [1]



Obrázek 2 – Mazání okolků vozidla kapalným mazivem TRIBOTEC [2]



Obrázek 3 Mazání okolků vozidla tuhým mazivem TRIBOTEC [3]

Dávkování pro kapalná maziva u vozidel může být provedeno přednastaveným neproměnným intervalem dávkování, proměnným intervalem v závislosti na poloze vozidla (mazací mapy), případně také na okamžitých parametrech jízdy (nutnost diagnostických zařízení). Parametry, které ovlivňují frekvenci a množství nanášení maziva, jsou například dopředná rychlost, či velikost nevyrovnaného odstředivého zrychlení. Velikost nevyrovnaného odstředivého zrychlení je potom důležitou složkou pro určení míry dávkování maziva vzhledem k aktuálně projížděnému oblouku.

## **1.2 VOZIDLOVÁ ZAŘÍZENÍ PRO KAPALNÁ MAZIVA**

Předním požadavkem systému je vnesení média mezi kontakt kola a kolejnice. Celé ústrojí sestává zpravidla z přívodu vzduchu, regulátoru tlaku, řídicí jednotky a hadicového vedení jež, distribuuje mazivo do požadované oblasti. Umístění trysek směřujících proud maziva je voleno s ohledem na pohyby celků vozidla v rozmezí svislého vypružení i proudění vzduchu při vyšších rychlostech. Neopomenutelnou součástí návrhu je také samotný zástavbový prostor, typ maziva, optimalizace jeho údržby i ve vztahu k údržbě celků jakými, jsou například dvojkolí či podvozek jako celek a zajištění přístupu pro sledování účinnosti a přístupu k nastavení systému v rámci údržby.

Vzhledem k ulpívání roztoku maziva na kolech a následně i kolejnicích se u vozidel pro vyšší rychlosti množství maziva sleduje o to důrazněji, stejně tak jako jeho viskozita, neboť jízdou vlaku dochází ke vzniku aerodynamického víru, který za zadním čelem soupravy může mazivo odstranit a snížit tak účinnost mazání kol.

## **1.3 VOZIDLOVÁ ZAŘÍZENÍ PRO TUHÁ MAZIVA**

Hlavní požadavky jsou shodné s variantou pro kapalná maziva, avšak z pohledu konstrukce je odlišnost v umístění. Narozdíl od zařízení pro kapalná maziva je držák tuhého maziva montován pouze na rám podvozku. To s sebou nese úsporu dalších zařízení (rozvod vzduchu, elektronika, potrubí) navzdory tomu toto řešení vyžaduje větší zástavbové nároky v konstrukci podvozku, nevyjímaje vyšší hmotnosti, systém uchycení pak musí odolat únavovému namáhání vyvolanému jízdou vozidla. V praktickém použití je jistou komplikací také vyšší náchylnost systému s tuhým mazivem na klimatické podmínky a samotnou čistotu jízdni plochy kola, případně okolku. V chemickém složení maziva, které zajišťuje mazací vlastnosti a určuje jejich míru je především, grafit nebo sulfid molybdeničitý ( $\text{MoS}_2$ ).

Jistou odlišností v použití tuhých maziv je potom možnost aplikace maziva a modifikátorů tření pro jízdní plochu – TOR (top of rail).

Při aplikaci na jízdní plochu kola je však z předem známých podmínek zapotřebí výrazně navýšit součinitel adheze složením maziva. Tento způsob ovlivnění jízdní plochy kola není v tuto chvíli příliš rozšířen. Aplikace tohoto způsobu mazání však velkou měrou může přispět k prodloužení životnosti kol železničních vozidel předně z pohledu rozvoje výskytu vad jízdní plochy kola ale pak také úbytku materiálu vlivem valení kol po kolejnici.

Velikost součinitele tření, která odpovídá parametrům jednoho z výrobců tuhých maziv s variantou maziva pro oblast okolku kola odpovídá  $f_0 < 0,15$ , pro zmíněnou aplikaci do oblasti jízdní plochy kola potom tato hodnota odpovídá hodnotě  $f_0 < 0,3$ . [4]

## 1.4 POŽADAVKY K POUŽITÍ MAZIV PLYNOUCÍ Z NORMY

Normou, která předepisuje požadavky na používání mazání kontaktu kola-kolejnice, je ČSN EN 15427 [5]. Před platností této normy se danou problematikou zabývala norma ČSN EN 16028 [6].

Norma [5] specifikuje požadavky při použití maziv na rozhraní kolo/kolejnice mezi okolkem kola a pojížděnou hranou kolejnice, buď přímo nebo nepřímou na okolek kola nebo na kolejnici, a obsahuje řešení pro systém mazání na vozidle a na kolejnici.

Stejně tak jako požadavkům na návrh systému mazání, je věnována pozornost i indikaci funkčnosti otiskem maziva na kolejnici. Tedy množství a velikosti místa, kde mazivo po průjezdu vozidla zůstává.

Dalšími požadavky na mazivo, jsou kompatibilita s mazacími systémy, zamezení rizika vzniku požáru, škodlivost na životní prostředí či samotná kvalita a výkonnost maziva. Neméně důležité je také samotné ovlivnění složení maziva pro vznik koroze materiálu kol a kolejnic.

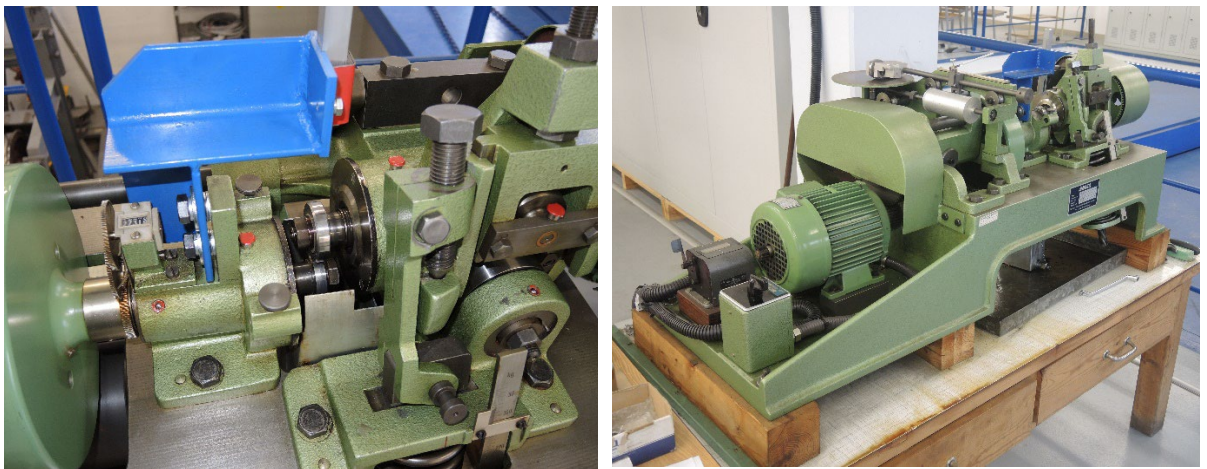
S ohledem na platnou legislativu je jedním z možných způsobů dnes využíván zkušební dvoukotoučový stroj. Popis metodiky, která hodnotí účinnost tuhých maziv, představuje norma [5]. Tato metoda nahrazuje kontakt kolo-kolejnice dvěma proti sobě se odvalujícími kotouči s přesně definovaným způsobem přikládání vzorku maziva. Předmětem sledování je potom stanovení jednotlivých podmínek kvality kontaktu který, je ovlivněn například čistotou povrchu, velikostí skluzu, množstvím maziva a nebo drsností povrchu. [7]. Použití tohoto zkušebního zařízení je funkční ale výsledky jsou s ohledem na fakt, že jde stále o experimentální metodu, nepříliš vypovídající s ohledem na skutečnou aplikaci kontaktu kola-kolejnice. Pro bližší hodnocení maziv v porovnání s jejich vlastnostmi v reálném provozu je výhodné využití zkušebního kladkového stavu. Tento zkušební stav je již pro podobná měření uzpůsoben, k tomuto konkrétnímu měření je u něj zapotřebí provést úpravu v podobě dosazení mechanického uchycení vzorku maziva.

## 2 METODY TESTOVÁNÍ

Při vývoji maziv je nedílnou částí jejich zkoušení. Je tomu především proto, že testování v reálném provozu je do velké míry ovlivněno okolními vlivy, které je pro jednoznačné vyhodnocení zapotřebí sledovat, ale při zkoušení jsou obtížně kvantifikovatelné tak, aby zkoušky mohli o reálném chování maziva říci více. Provozní ověření účinku přiložení maziv je potom výsledkem dlouhodobého sledování opotřebení, úbytků maziva společně s nastavením mazacího účinku. Je potom výhodou zaměřit se bez ovlivnění prostředí na samotné vlastnosti třecích dvojic společně s mazivy tak, aby výstup těchto procesů umožnil objektivní posouzení vlivu složení, množství a směřování maziva pro výrobce, případně provozovatele (majitele železničních vozidel).

### 2.1 DVOUKOTOUČOVÝ STROJ TYPU AMSLER

Dvoukotoučový stroj (dvoudiskový stroj), je obecné pojmenování tohoto zařízení. Amsler je výrobce zkušebních strojů obecně, Amsler A-135 je konkrétní typ dvoukotoučového stroje. Obrázek 4 znázorňuje stroj Amsler A-135, který slouží ke zjišťování vlastností materiálů ve valivém kontaktu (adheze, odolnost proti opotřebení) pomocí kontaktu dvou po sobě se odvalujících se válců s konstantním převodem. Velikost skluzu lze nastavovat jen změnou průměru zkušebních kotoučů.



Obrázek 4 – Amsler A-135[8]

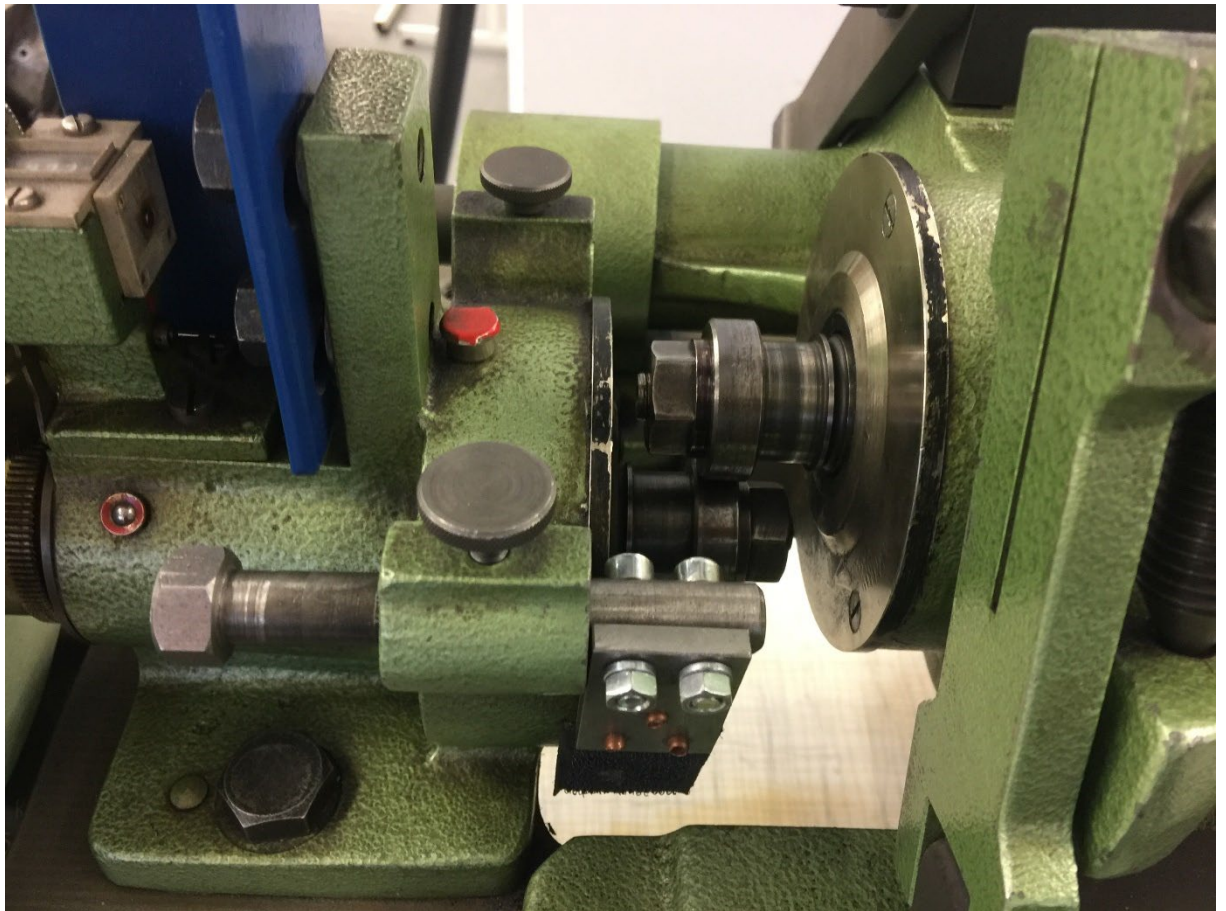
Příprava dvoukotoučového stroje na realizaci experimentů spočívá v přiložení tyčky vzorku tuhého maziva do držáku vzorku maziva příslušícího kotouči umístěnému na horní hřídeli stroje. Velikost síly v přítlačné pružině je nastavena hodnota požadovaného kontaktního tlaku mezi kotouči horní a dolní hřídele stroje, detail zakončení hřídelí ukazuje obrázek 5. Po jejím nastavení je zvolen rychlostní stupeň a spuštěn asynchronní motor.

Vyhodnocování testů provedených na tomto stroji je realizováno záznamem okamžité hodnoty statického součinitele tření na papírovou roli zapisovacím mechanismem stroje. Pro další hodnocení a zpracování dat jsou tato skenem o rozlišení 600 dpi přenesena do počítače formou

grafu (při přenosu záznamů je zapotřebí dodržovat jednotnost souřadného systému, tak aby na sebe data navazovala).

Z uvedeného záznamu je sledováno:

- a) Délka přiložení vzorku tuhého modifikátoru tření.
- b) Minimální a maximální hodnota statického součinitele tření při aplikaci vzorku maziva.
- c) Případná stálá (neměnná) hodnota  $f_0$  během aplikace vzorku maziva,
- d) Čas který trvá ustálení statického součinitele tření od začátku aplikace vzorku maziva,
- e) Čas který trvá k dosažení počáteční hodnoty statického součinitele tření po odejmutí vzorku maziva.



Obrázek 5 – Výstup hřídel dvoukotoučového stroje s umístěnými kotouči

Popis fungování a měření na dvoukotoučovém stroji je realizován na základě podkladů od vedoucího této diplomové práce.

## 2.2 ZKUŠEBNÍ KLADKOVÝ STAV

Zkušební kladkový stav je situován jako sestava o jednom kole a jedné kladce. Kladka je potom náhradou kolejnice a zároveň také akčním členem, jež kolu uděluje kinetickou rotační energii, není-li kolo poháněno motorem hřídelí k němu připojeným. Menší kolo představuje potom skutečné tramvajové kolo.

Zkušební kladkový stav umožňuje nastavení velikosti skluzu díky oběma, na sobě nezávislými motory kladky a kola. Dále potom velikost svíslé síly, kterou kolo na kladku působí, ale možnost nastavení příčné a úhlové polohy kladky vůči kolu.

Sestava zkušebního kladkového stavu slouží především k simulaci různých experimentálních stavů vedoucích ke zjištění ovlivnění adhezního lpění při přenosu tečných sil, záznamu skluzové rychlosti a součinitele adheze.

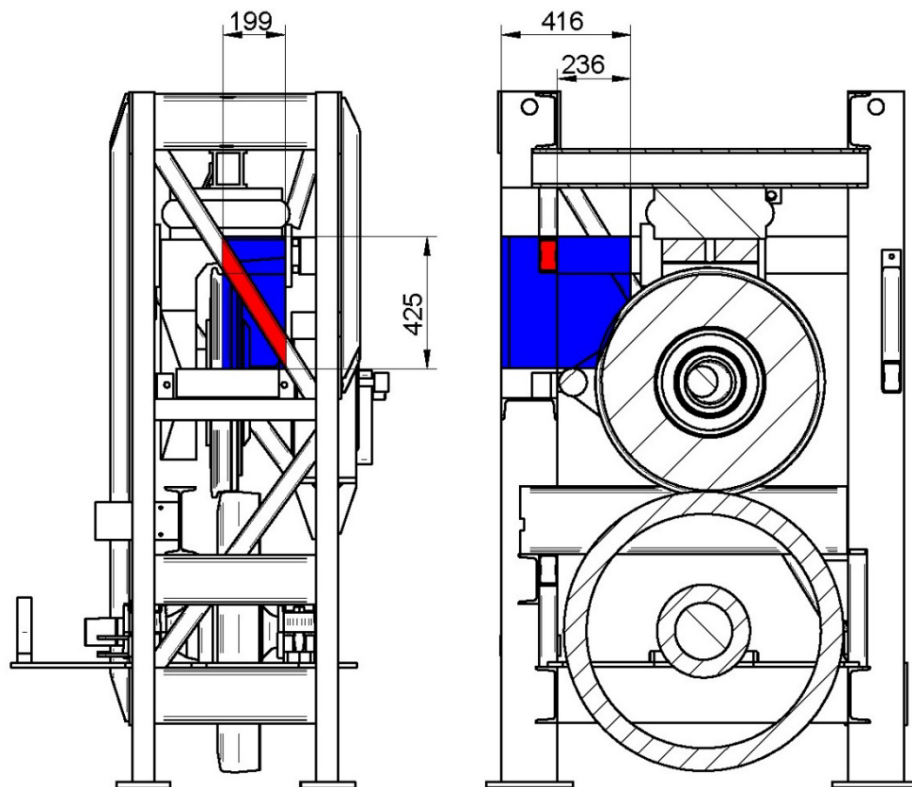
Pro účely hodnocení tuhých maziv kontaktu kolo-kolejnice je u tohoto stavu odečítána velikost skluzu. Vyjádřením závislosti součinitele adheze na skluzu -  $\mu = f(s)$ , si lze snadno udělat ucelenou představu o kvalitě kontaktu kola a kolejnice vedoucí ke schopnosti přenosu tečných sil.

### 3 TUHÉ MAZIVO NA ZKUŠEBNÍM KLADKOVÉM STAVU

#### 3.1 PROSTOROVÉ POŽADAVKY VZTAŽENÉ KE ZKUŠEBNÍMU KLADKOVÉMU STAVU

Návrh fixačního přípravku vychází ze zástavbových prostor zkušební kladkového stavu tak, aby byla možná výměna, dosazení více rozměrových variant tuhých maziv a také s důrazem na požadavek nanesení mazací vrstvy v oblasti jízdní plochy kola. S ohledem na konstrukci zkušební kladkového stavu je podmínka místa jízdní plochy pro sledování adhezních vlastností nutnou. V oblasti okolku, kde se tento typ maziv nanáší není možné na zkušebním stavu adhezní vlastnosti sledovat.

Primární činností tedy bylo prostorové ověření. Tento krok byl realizován jak pomocí 3D modelu zkušební stavu v programu SolidEdge, tak zároveň na reálném zkušebním stavu vyměřením. Obrázek 6 znázorňuje modře obarvenou část konstrukční prostor daný samotnou konstrukcí zkušební stavu. Červenou část potom představuje omezení způsobené šikmou výztuhou zkušební stavu.



Obrázek 6 – Prostorová omezení vztažená ke zkušebnímu stavu

## 3.2 NÁVRH DRŽÁKU TUHÉHO MAZIVA

Pro samotnou přípravu podkladů ke zpracování návrhu slouží nejenom tzv. vnější obálka, tedy geometrické omezující podmínky dané konstrukcí nosné části celého zkušebního kladkového stavu, ale primárně požadavky ke zohlednění funkčnosti, přehlednosti obsluhy držáku, požadavky na úpravu vybraných parametrů sestavy držáku a jednoduchou fixaci s možností výměny samotného vzorku maziva.

Úpravy se týkají také samotné konstrukce zkušebního stavu, jež je osazen navíc příčnickem, nesoucím právě upevnění pro čep výklopného držáku maziva. Tento příčník je součástí přiložené výkresové dokumentace pod označením sestavného výkresu B\_001-01.

Samotná konstrukce, nejenom příčného rámu, poté vychází z polotvaru hliníkového nosníku čtvercového průřezu. Její uložení umožňuje vyklopení do úrovně mimo konstrukci kladkového stavu tak, aby byla možná pohodlná výměna maziva. Zároveň také díky regulačním šroubům lze regulovat jeho podélné a svislé umístění.

Shrňme tedy požadavky předcházející návrhu držáku maziva. Jsou jimi:

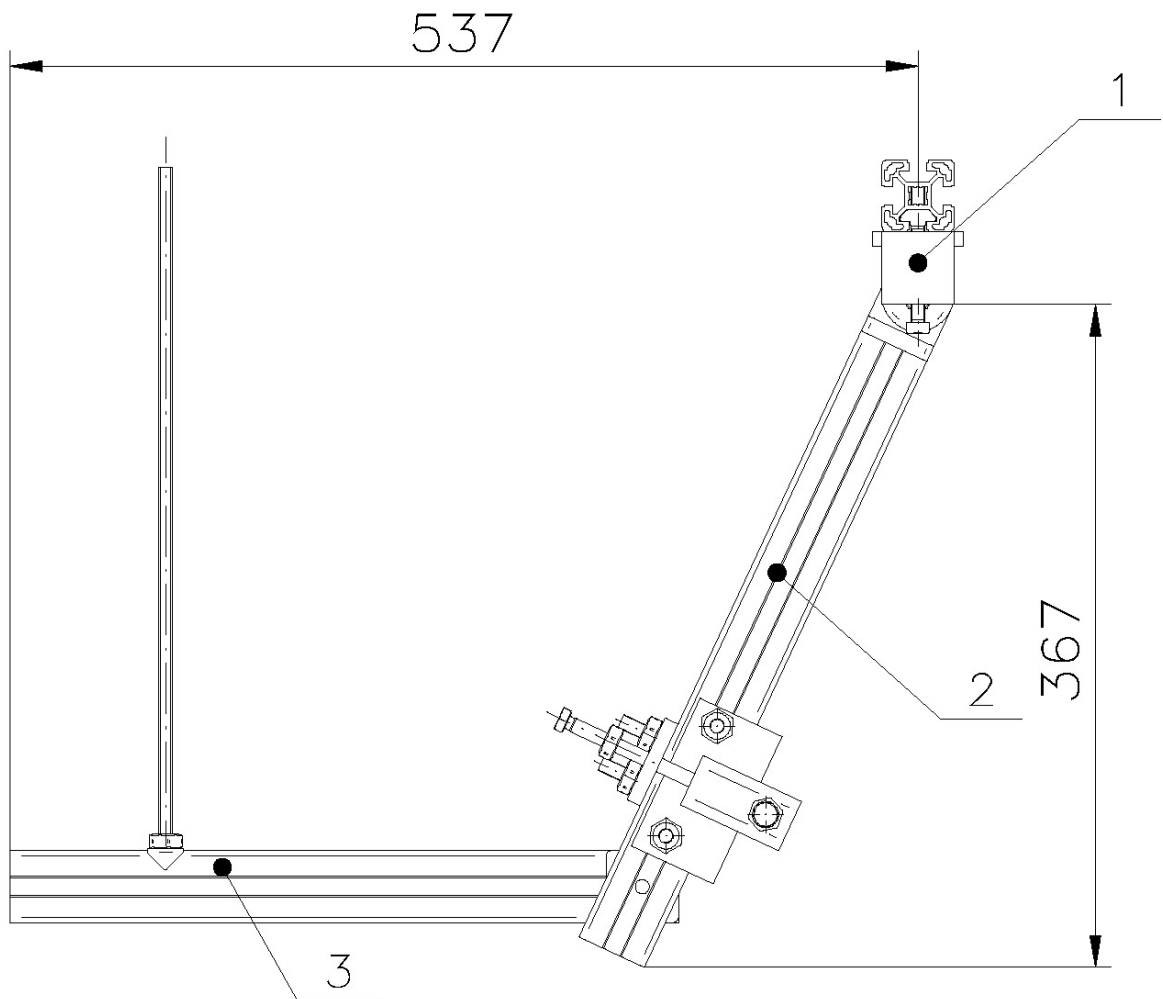
- f) prostorová zástavba v konstrukci zkušebního kladkového stavu,
- g) tvar samotného vzorku maziva,
- h) zajištění nastavitelné přitlačné síly vzorku maziva na kolo,
- i) možnost přiložení a odejmutí vzorku maziva za chodu zkušebního stavu.

Primárním určením přibližné podoby držáku je tedy výchozí rozměr k jeho umístění na zkušebním kladkovém stavu.

Návrhový model je tedy složen ze třech, na sebe navazujících částí které tvoří Nosník\_držák, Nosník\_mazivo a Nosník\_závaží. První část, doplňuje konstrukci zkušebního stavu tak, aby umožnila nesení svislé části držáku. Část druhá – Nosník\_mazivo je částí hlavní, tedy tou která nese a definuje konečnou polohu maziva. Nosník\_závaží je částí, která zajišťuje změnu silových parametrů mezi vzorkem maziva a kolem. V návrhovém modelu se ukázal jako nejjednodušší tvar sestava úhlově spojených hliníkových profilů čtvercového průřezu. Z možných návrhů se jeví jako nejvýhodnější a současně na splnění požadovaných funkcí nejsnazší návrh, který představuje obrázek 7.

V rámci návrhu části Nosník\_mazivo bylo zapotřebí stanovit možné požadavky ve vztahu umístění maziva s ohledem na jeho rozměr. Z vyráběných a dostupných vzorků byl jako maximální standardizovaný průřez obdélníkového profilu stanoven průřez s rozměrem. Umístění vzorků je však ve vztahu k jeho skutečným rozměrům dle výkresu B\_002-01 možné částečně kompenzovat polohou šroubů, umístěných v příčné i svislé poloze což lze vidět na výkrese B\_002-01. Pro tento účel je v hlavní části držáku realizována „kapsa“ maziva.

Korekce v posunutí a následná fixace vzorku je tedy těmito šrouby plně zajištěna. V případě použití většího než uvedeného rozměru maziva je nutno velikost upravit na velikost otvoru v držáku.



Obrázek 7 - Realizovaná podoba držáku maziva na zkušebním kladkovém stavu

Kompletní výkresová dokumentace spojená s finální, výrobní podobou celého držáku je přílohou této práce.

Pro určení velikosti přitlačné síly je uvažováno použití části Nosník\_zátěž, kterou zobrazuje obrázek 7 v pozici č. 3. Tato část musí umožnit požadovaný rozsah nastavení přitlačné síly ve vzorku maziva na kolo. Realizace nastavení je potom provedena současně možností změny velikosti závaží a nastavení jeho polohy k otočnému bodu celého držáku. Je tedy možné nastavit přitlačnou sílu fixně závažím a následně již přesněji korigovat posunutím ramene síly tak, aby byla možná snadná výměna, dosazení závaží jiné hmotnosti, nebo úplné odebrání závaží.

Závěrem je v navržené konstrukci požadavek na umožnění sklopení držáku do neaktivní polohy, tedy do polohy, kdy mazivo nepřipadá na plochu kola a současně je možné zkušební stav bez ohledu na přítomnost samotného držáku používat.

### 3.3 REALIZACE A PROVEDENÍ DRŽÁKU

Konstrukce sestává ze dvou hliníkových nosníků, tvořených protlačovanými profily s C-drážkami. Modulární sestavu dle výkresové dokumentace A\_001-01 poté doplňují komponenty výrobce profilů sloužící k polohování sestavy a jejímu otáčení. Jedná se o díly výrobce hliníkových profilů, přídatné části konstrukce umožňující připevnění maziva a jeho natáčení.

Nosník\_závaží je nosičem závaží s možností změny ramene, na kterém působí síla od tohoto závaží. Díky závitové tyči umístěné v drážce profilu uchyceného upnutou maticí je možné dosáhnout nastavení hmotnosti vyvozené závažím.

Při nastavování geometrických rozměrů působí síly a vzdálenosti, na které od otočného místa sestavy působí mazivo na jízdní plochu kola, je použito předem změřených referenčních bodů znázorněných indikační stupnicí zobrazené na měrném pásku viz obrázek 8.



Obrázek 8 – Znázornění stupnice realizované na nosníku závaží

Výchozí polohou pro odečet vzdálenosti je tak konec nosníku závaží. Jeho vzdálenost se vzhledem k umístění otočného držáku nemění. Je stanovena počteně dle následující kapitoly.

### 3.3.1 Odvození vztahu pro aplikaci držáku tuhých maziv

Tato kapitola se věnuje postupu výpočtu geometrických parametrů držáku na zkušebním kladkovém stavu. Je zapotřebí odvodit vztah, který definuje závislosti hmotnosti závaží, jeho polohy vzhledem ke středu otáčení celého držáku a přitlačnou silou kterou je mazivo na jízdni plochu kola přitlačováno.

Tabulka 1 ukazuje velikosti veličin které souvisí s konstrukcí držáku maziva. Veličiny a jejich definice je uvedena v Seznamu symbolů této diplomové práce.

Tabulka 1 – Přehled velikostí veličin konstrukce držáku maziva

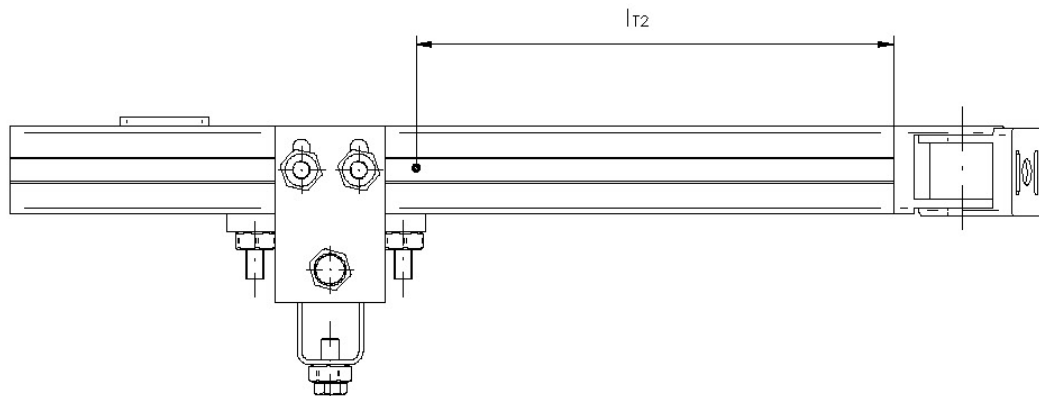
Symbol	Jednotka	Velikost
$g$	[m.s-2]	9,81
$l_{poc}$	[mm]	260
$l_{t2}$	[mm]	194,71
$l_{t3}$	[mm]	198,8
$m_2$	[kg]	1,563
$m_3$	[kg]	0,653
$m_{celk}$	[kg]	5,36
$m_{tyc}$	[kg]	0,16
$n_2$	[mm]	370
$n_3$	[mm]	400
$r$	[mm]	25
$r_{hk}$	[mm]	277,25
$r_k$	[mm]	351,25
$r_{k\_vypoc}$	[mm]	416,25
$r_{k+}$	[mm]	65
$s$	[mm]	361,0

Při výpočtu je zanedbána velikost tečné složky síly vyvozené změnou polohy vlivem úbytku materiálu. Tato složka může mít vliv na výsledné silové poměry mechanismu. Vzhledem k neurčitosti této složky je vhodné zkonstruovat mechanismus tak, aby její velikost byla co nejmenší. Cílem je tedy sestavu držáku uzpůsobit tak, aby střednice části Nosník\_mazivo byla co nejbližší ploše dotyku maziva a kola. Poté tato složka díky nulovému rameni momentu tečné síly ke kloubu ramene do momentové rovnice rovnováhy (12) nevstupuje. S ohledem na možná nastavení držáku lze předpokládat určitou nejistotu v zajištění tohoto předpokladu o nepřítomnosti třecí síly v kontaktu, tato nepřesnost je však velmi malá a velikost třecí složky síly je zanedbatelná.

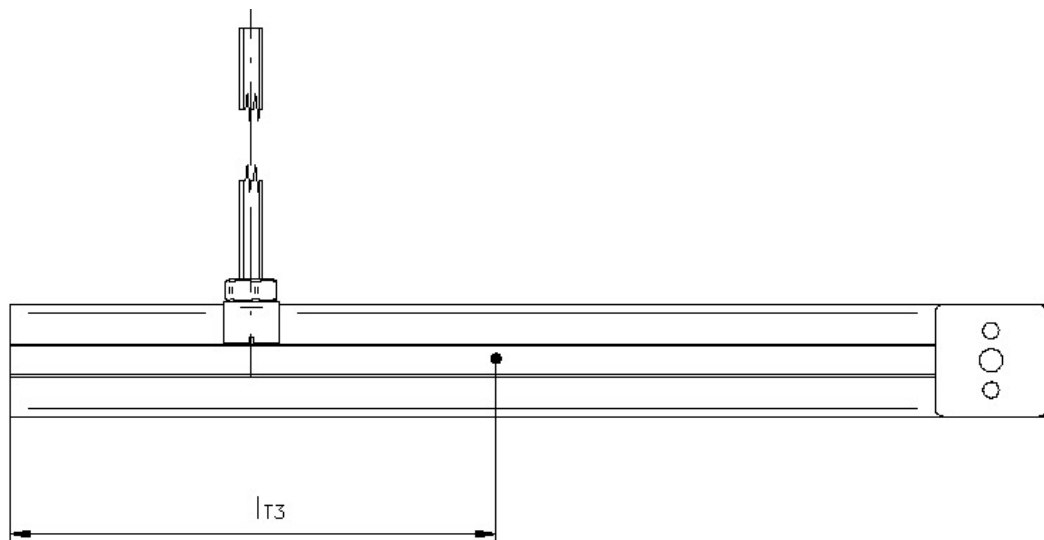
### 3.3.2 Postup výpočtu

Prvním krokem při provedení výpočtu sestavy dvou ramen držáku je stanovení podélné souřadnice společného těžiště a nahrazení sil působících od hmotnosti obou nosníků právě do polohy centrálního těžiště.

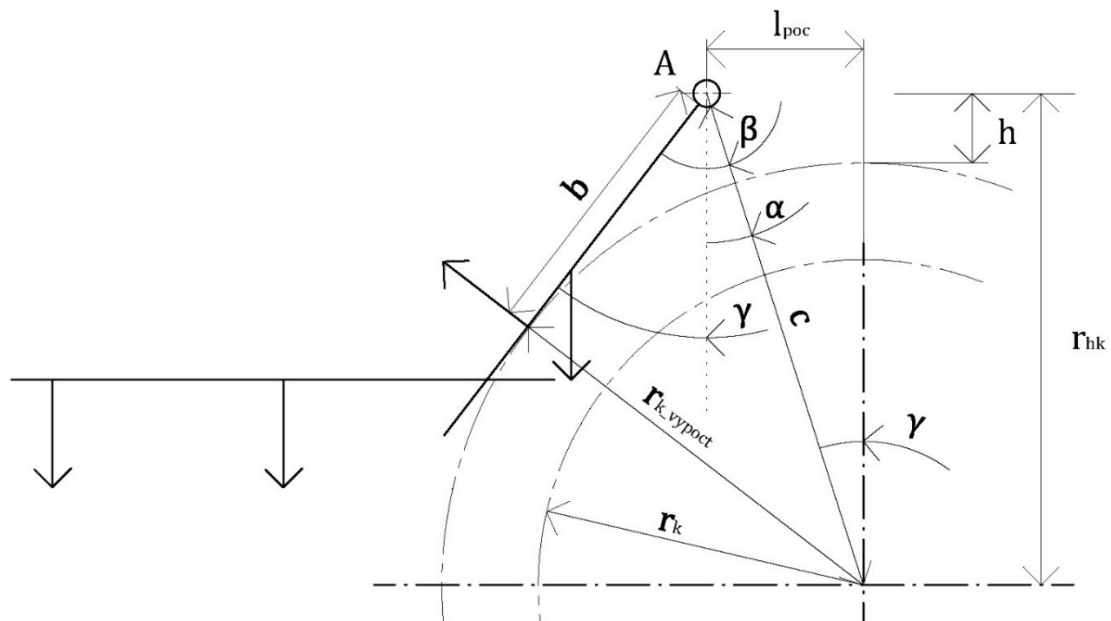
Podélné polohy těžiště jsou stanoveny z výpočtového modelu pomocí programu SolidEdge. Polohu těžiště nosníků představuje obrázek 9 a obrázek 10.



Obrázek 9 – Poloha těžiště sestavy Nosník\_mazivo



Obrázek 10 – Poloha těžiště sestavy Nosník\_zátěž



Obrázek 11 – Kóty rozměrů geometrických rozměrů držáku

Výpočet rozměrů sestavy držáku je realizován tak, aby výstupní nastavovanou hodnotou byla hmotnost závaží a délka ramene jeho umístění. Výpočet potom počítá s výstupem v podobě velikosti normálové složky síly v maziva. Jako vstupní hodnoty jsou uvažovány jak délkové nastavení „kapsy“ držáku, které musí odpovídat geometrickým funkcím stanovujícím podmínku tečného kontaktu maziva při doteku kola ve výchozí poloze.

Vzhledem k možnému umístění držáku na nosné konstrukci zkušebního stavu a rozměrům kola je v prvním kroku výpočtu zjišťována velikost odvěsny  $c$ . Odvěsna  $c$  je vypočtena vztahem (1) a je pouze virtuální stranou pravoúhlého trojúhelníku, díky které lze dopočítat vzdálenost umístění držáku maziva, tak aby velikost  $b$  odpovídala pravoúhlému trojúhelníku.

$$c = \sqrt{r_{hk}^2 + l_{poc}^2} \quad (1)$$

Vzdálenost umístění držáku maziva  $b$  je stanovena vztahem (3). S ohledem na umístění kapsy maziva, jejíž výška nespočívá v ose hliníkového profilu, proto je pro výpočet použita veličina  $r_{k\_vypoc}$ , jejíž velikost je dána součtem hodnot  $r_k$  a  $r_k^+$ , tedy z reálného poloměru kola a velikosti o kterou je mazivu vysunuto oproti střednici Nosníku\_mazivo, její velikost je dána vztahem (2).

$$r_{k\_vypoc} = r_k + r_k^+ \quad (2)$$

$$b = \sqrt{c^2 - r_{k\_vypoc}^2} \quad (3)$$

Vzhledem ke konstrukci a umístění držáku je nutnou podmínkou k sestavení momentové rovnice rovnováhy vyjádření velikosti úhlu  $\gamma$ , který svírá samotné rameno držáku maziva se svislicí, tedy úhel vychýlení ramene oproti svislé poloze. Tento úhel je definován vztahem (4).



Při výpočtu jsou všechny hmotnosti těles převedeny na jednu virtuální virtuální hmotnost reprezentovanou silou centrálního těžiště vztahem č. (9).

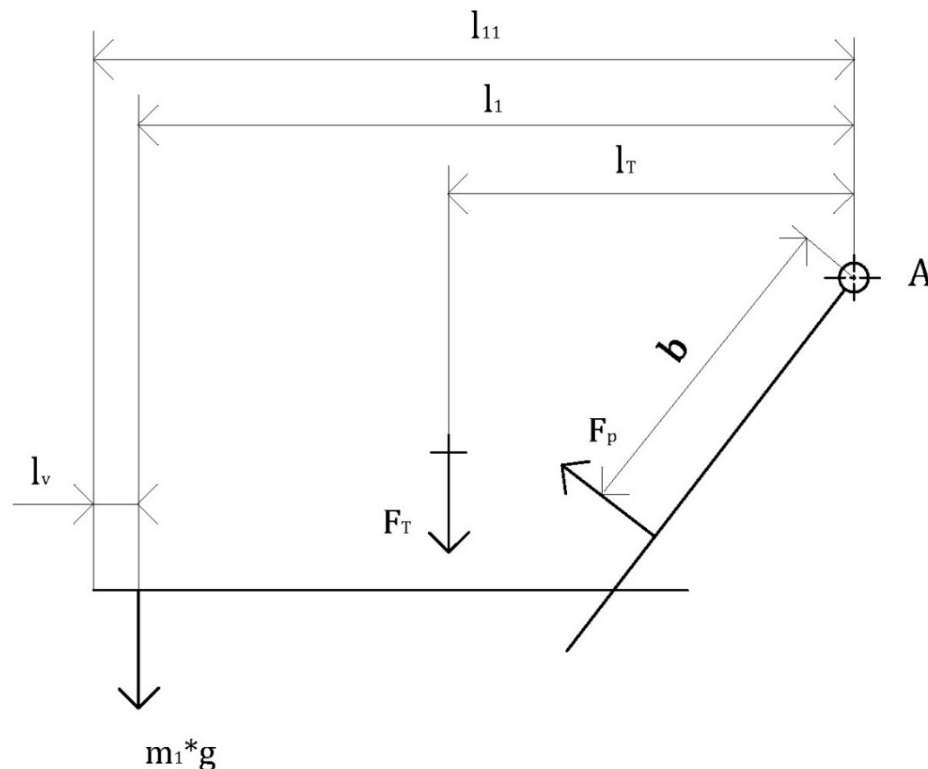
$$l_T = \frac{m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3}{m_2 + m_3} \quad (9)$$

Síla, která nahrazuje účinek od působení obou těžišť  $F_T$ , je vypočtena z triviální momentové rovnice rovnováhy dle vztahů (10) a (11).

$$\sum M_{i_A} = 0; l_T \cdot F_T - m_2 \cdot g \cdot l_2 - m_3 \cdot g \cdot l_3 = 0 \quad (10)$$

$$F_T = \frac{m_2 \cdot g \cdot l_2 + m_3 \cdot g \cdot l_3}{l_T} \quad (11)$$

Nyní lze vypočítat vzdálenost ramene vyvolaného působením síly  $F_T$ , silou působící z maziva na obvod kola a silou vyvozenou závažím umístěným na vodorovném Nosníku závaží.



Obrázek 13 – Silový obrazec s centrálním těžištěm nosné části držáku maziva

Vzdálenost  $l_1$  představuje rameno, na kterém působí síla vyvozená závažím  $m_1$ .

Pro vyjádření potřebné vzdálenosti umístění ramene síly působící od závaží je sestavena momentová rovnice rovnováhy (12). Úpravou této rovnice na vztah č. (13) lze získat potřebné vyjádření.

$$\sum M_{i_A} = 0; F_{přítlak} \cdot b - F_T \cdot l_T - m_1 \cdot g \cdot l_1 = 0 \quad (12)$$

$$l_1 = \frac{F_{přítlak} \cdot b - F_T \cdot l_T}{m_1 \cdot g} \quad (13)$$

Vzdálenost  $l_1$  je však v konkrétním použití měřitelná obtížně. Proto slouží k nastavení polohy umístění závaží délka s označením  $l_v$ , která je odečítána pohodlně od konce vodorovné části držáku za pomoci metru který je na něm nalepen. Délka umístění závaží potřebná k výpočtu je potom definována vztahem (15). Přitom vzdálenost  $l_{11}$  je vyjádřena rovnicí (14).

$$l_{11} = s \cdot \sin \gamma + n_3 - r \quad (14)$$

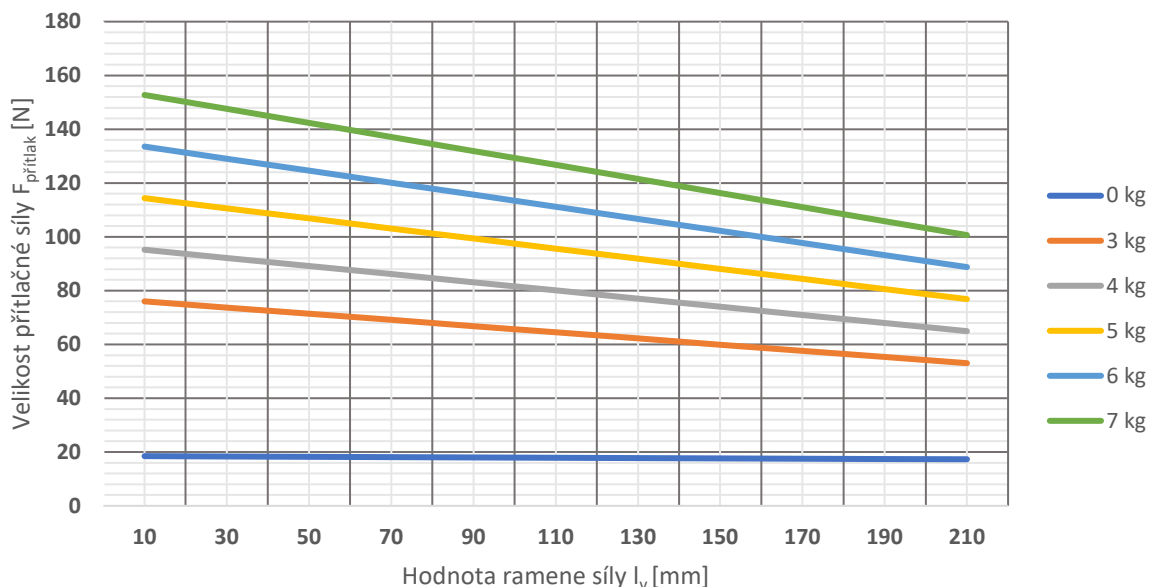
$$l_v = l_{11} - l_1 \quad (15)$$

Při úpravě rovnice rovnováhy ze vztahu (12) do tvaru kde rovnice (16) představuje závislost  $F_{\text{přítlak}} = f(l_v)$ . Tento vztah poskytne lepší představu o použití držáku.

$$F_{\text{přítlak}} = \frac{(l_{11} - l_v) \cdot m_1 \cdot g + F_T \cdot l_T}{b} \quad [N] \quad (16)$$

K vypočtení požadovaných hodnot v rámci zkušebnímu programu slouží výpočtový soubor. Pro jeho obsluhu je nutná volba dvou parametrů, jako například požadované velikosti normálové síly  $F_{\text{přítlak}}$  a hmotnosti závaží  $m_1$ , výstupem poté je poloha ramene držáku. Lze výstup výpočtu volit s ohledem na aktuální požadavky i tak, že výstupem je velikost hmotnosti  $m_1$ , nebo délka umístění polohy závaží  $l_v$ .

Zobrazením, které poskytuje obrázek 14 je závislost polohy závaží  $l_v$  na požadovaném přítlaku  $F_{\text{přítlak}}$  v kontaktu kola vzorku maziva pro vybrané hodnoty hmotnosti závaží  $m_1$  působícího na vodorovné části držáku, si lze udělat představu o možnostech účinku při nastavení držáku. Pro lepší představu je voleno šest různých velikostí hmotnosti, jejichž účinek odpovídá poloze závaží a velikosti hmotnosti, která na něm spočívá. Z čehož pro hmotnost  $m_1 = 0$  kg platí, že vliv na posunutí ramene na změnu velikosti  $F_{\text{přítlak}}$  bude téměř nulový. Ne však úplně, neboť do posunutí ramene zasahuje velmi malou měrou i  $m_{\text{tyc}}$ , coby hmotnost závitové tyče na které závaží, je-li umístěno spočívá.



Obrázek 14 – Závislost umístění a síly v mazivu na velikosti hmotnosti závaží

### 3.3.3 Realizace výpočtu

Za pomoci odvozených vztahů uvedených v podkapitole 3.3.2 je vytvořen početní program, který představuje jednoduchý prostředek k provedení výpočtu při realizaci změn zadávaných hodnot a parametrů. Tabulka 2 ukazuje konkrétní výstup výpočtu při zadaných parametrech. Výpočet je možné realizovat pro parametry velikost přítláčné síly  $F_{\text{přítlak}}$ , kterou od kontaktu požadujeme, velikost  $l_v$  a hmotnost  $m_1$ . Při požadavku k výpočtu jednoho z těchto parametrů poté stačí zadat velikosti zbývajících dvou.

Tabulka 2 – Ukázka výstupu výpočtu parametrů nastavení držáku

Výpočet	Nastavení	
$F_{\text{přítlak}}$ [N]	$m_1$ [kg]	$l_v$ [mm]
18,3	0	40
$l_v$ [mm]	$m_1$ [kg]	$F_{\text{přítlak}}$ [N]
246,5	5	70
$m_1$ [kg]	$l_v$ [mm]	$F_{\text{přítlak}}$ [N]
1,9	40	50

### 3.3.4 Sestavení držáku

Po provedení návrhu možného uzpůsobení tvaru držáku maziva a početním ověřením jeho vhodnosti následuje samotné sestavení držáku. Pro popis částí držáku slouží výkresová dokumentace, jež je přílohou této diplomové práce.

Označení výkresové dokumentace se řídí pravidlem 3 základních skupin. Skupiny jednotlivých výkresových položek jsou následující:

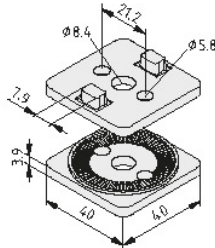
- A - Kompletní sestavný výkres,
- B - Sestavné výkresy kompletní sestavy,
- C - Ostatní výkresová dokumentace.

Další označení pouze zvyšují rozestup od hlavní sestavy.

Pro stanovení polohy částí držáku bylo přistoupeno k zohlednění zástavbových prostorů při jeho samotném umístění. Hlavním požadavkem při umístění držáku bylo především zajištění normálové složky zatížení  $F_{\text{přítlak}}$  ve směru rovnoběžném se složkou třecí síly v kontaktu

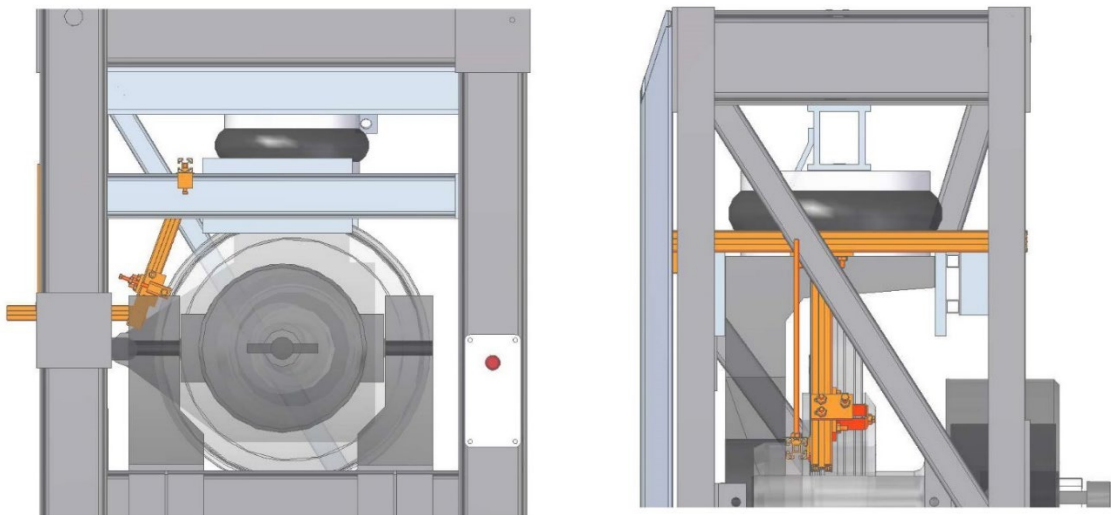
maziva a kola. Podmínkou pro správné sestavení a funkční výpočtový vztah je také ustavení části nesoucí závaží do vodorovné polohy. Této polohy je dosaženo díky úhlovému spoji.

Bližší detail úhlového spoje je uveden na výkrese B\_001-01. Obrázek 15 znázorňuje jeho reálné provedení převzaté z katalogu výrobce . [9]

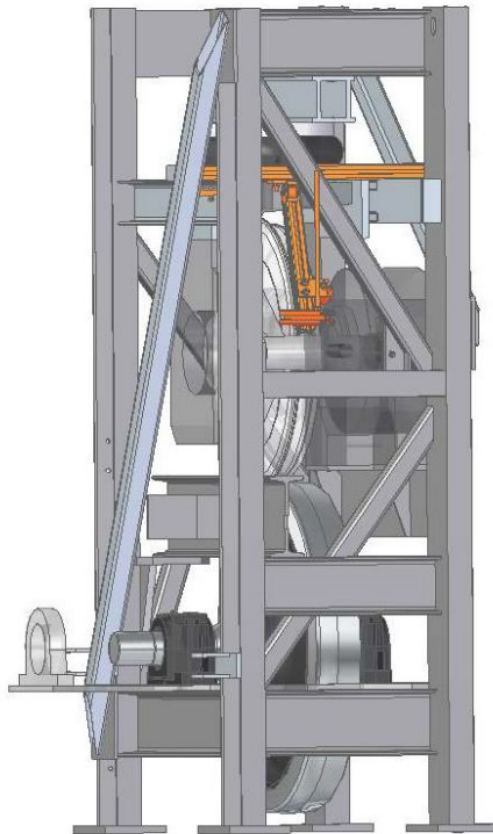


Obrázek 15 – Úhlový spoj k uchycení části Držáku\_závaží

Po ustavení Nosníku\_závaží dojde ke spojení sestavy B\_002-01 a B\_001-01. Tím vznikne sestava schopná nést závaží i držet mazivo. Tato je následně připojena za pomoci šroubu se sestavou B\_003-01, která plní nosnou a spojovací část s konstrukcí zkušebního kladkovém stavu. Obrázek 16 znázorňuje model zkušebního stavu doplněný o držák maziva s detaily jeho umístění.



Obrázek 16 – Detail umístění držáku (z boční strany – vlevo, z čela – vpravo)



Obrázek 17 – Zkušební kladkový stav doplněný o držák maziva

Po kompletaci sestavy následuje její ukotvení do konstrukce zkušebního stavu. Toto uchycení je realizováno fixačními kostkami C\_003-02-01.

Obsluha držáku po jeho zafixování spočívá pouze ve výměně/korekci polohy maziva. Toto nastavení zobrazuje díl uvedený na výkresu B\_002-01.

### 3.3.5 Ověření držáku tuhého maziva

Pro ověření správnosti návrhu a realizace konstrukce držáku proběhla samostatná zkouška, jež měla za úkol, odhalit možné nedostatky v uchycení, možnosti nastavení, způsobu zatížení i samotné manipulace s držákem. Tímto ověřením, bylo potvrzeno vhodné zvolení rozměrů držáku, dostatečná variabilita nastavení jak v radiálním směru, tak i příčně po jízdní ploše kola. Oproti původnímu návrhu držáku byla však doplněna ještě podložka s vyfrézovanou drážkou (viz výkres č. C\_003-01), bez jejíž přítomnosti docházelo k uvolnění radiální fixace otáčení ramene a jeho následnému vychýlení.

## **4 ZKOUŠENÍ MAZIV NA ZKUŠEBNÍM KLADKOVÉM STAVU**

### **4.1 ÚČEL ZKOUŠEK**

Potřeba provedení experimentálních zkoušek vlivu nanesené vrstvy maziva pramení ze snahy k ověření a verifikaci tohoto způsobu úpravy povrchu železničního kola. Touto experimentální konfigurací lze testovat účinek tuhých maziv určených pro jízdní plochu i pro okolek, avšak účelem této diplomové práce je rozsahem stanoveno sledování pouze okolku. Záměrem experimentálního měření je vypracování zkušebního programu k porovnání aplikace materiálu maziva na součinitel adheze kola a kladky s vyhodnocením adhezních charakteristik.

K provedeným experimentům jsou voleny předem definované podmínky zkoušení dle následujícího výčtu:

- a) změna obvodové rychlosti,
- b) úprava čistoty povrchu,
- c) změna velikosti normálové síly v kontaktu maziva a kola,
- d) změna velikosti svislé síly (svislá síla mezi kolem a kladkou).

### **4.2 POSTUP REALIZACE EXPERIMENTŮ NA KLADKOVÉM STAVU**

Experimentální zkoušky probíhaly ve třech fázích. Před provedením měření byl stanoven pro každou fázi cyklu program zkoušení.

Provádění měření bylo realizováno prostřednictvím vybavení zkušební laboratoře na Dopravní fakultě Jana Pernera. Již zmíněný zkušební kladkovém stavu je pro realizaci měření požadovaných adhezních charakteristik vybaven inkrementálními snímači natočení, kde rychlosti se následně získávají numerickou derivací výstupu z čítačů, na které jsou tyto snímače napojeny. [10]

Mezi parametry zkušebního kladkového stavu patří také možnost změny svislé síly kola vůči kladce. Tato je nahrazením účinku svislé tíhové síly běžného vozidla.

Díky umístění držáku maziva bylo možné nejenom mazivo upevnit na zkušební stav a zajistit jeho ulpívání na plochu tramvajového kola, ale také ovlivnit velikost přítláčné složky síly, kterážto působí v kontaktu s tramvajovým kolem.

Během experimentů bylo přistoupeno k nastavení parametrů, které uvádí tabulka 3. Během experimentů byla konstantně nastavena délka  $l_v = 40 \text{ mm}$ . Této hodnotě tedy v přepočtu odpovídá i velikost přítláčné síly mezi mazivem a kolem. Jednotlivá měření, kde dochází ke změně typu maziva, nebo jeho odejmutí jsou v tabulce oddělena tlustou čarou.

Tabulka 3 – Přehled podmínek experimentů

Označení měření	Stav povrchu	Podmínky experimentu/ typ maziva	$F_{\text{přítlak}}$ [N]	$v$ [km/h]	$N$ [kN]
220303-083714	Suchý a čistý povrch	Bez zastavení/bez maziva	0	15	4,3
220303-084500	Suchý a čistý povrch	Bez zastavení/bez maziva	18,3	15	4,3
220303-085134	Mírně zjeté mazivo	Bez zastavení přidáno závaží/typ A	108,7	15	4,3
220303-085722	Zajeté mazivo	Bez zastavení přidáno závaží/typ A	137,7	15	4,3
220303-090048	Zajeté mazivo	Bez zastavení ubráno závaží/ typ A	108,7	15	4,3
220303-090420	Zajeté mazivo	Bez zastavení ubráno závaží/ typ A	18,3	15	4,3
220303-091310	Zajeté mazivo+ čištění	Bez zastavení/ typ A	18,3	15	4,3
220303-091600	Zajeté mazivo	Bez zastavení + vratný pohyb s držákem/ typ A	18,3	15	4,3
220303-093128	Zajeté mazivo + očištění brusnou houbou + papírovou utěrkou	Se zastavením/ typ A	18,3	15	4,3
220303-093400	Zajeté mazivo	Bez zastavení + vratný pohyb s držákem/ typ A	18,3 + ruční přitížení	15	4,3
220303-093724	Zajeté mazivo	Bez zastavení / typ A	18,3 + ruční přitížení	15	4,3
220303-094052	Zajeté mazivo	Bez zastavení + očištění brusnou houbou/ typ A	18,3+ ruční přitížení	15	4,3
220314-141522	Mírně zjeté mazivo	Rozjezd + ruční přitěžování + vratný pohyb s držákem/ typ B	18,3	15	4,3
220314-142213	Mírně zjeté mazivo	Bez zastavení + očištění brusnou houbou/ typ B	108,7	15	4,3

## Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice s využitím kladkového stavu

Označení měření	Stav povrchu	Podmínky experimentu/ typ maziva	$F_{\text{přítlak}}$ [N]	$v$ [km/h]	$N$ [kN]
220314-142637	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	15	4,3
220314-142838	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	9	4,3
220314-143149	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	5	4,3
220314-143350	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	25	4,3
220314-143545	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	35	4,3
220314-143759	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	45	4,3
220314-143934	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ B	108,7	9	4,3
220314-145300	Zajeté mazivo	Po zastavení změna přítláčné síly/ typ B	108,7	15	10,3
220314-145632	Zajeté mazivo	Bez zastavení s přítlakem + očištění brusnou houbou/ typ B	108,7	15	10,3
220314-150052	Zajeté mazivo	Po zastavení + změna přítláčné síly/ typ B	108,7	15	11,8
220314-150334	Zajeté mazivo	Po zastavení/ typ B	108,7	25	11,8
220314-153058	Zajeté mazivo	Bez zastavení (delší doba běhu) + očištění/ typ B	108,7	15	4,3
220622-081605	Suchý a čistý povrch	Bez zastavení/ bez maziva	108,7	15	4,3
220622-085338	Mírně zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ A	108,7	15	4,3
220622-094954	Mírně zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ A	108,7	15	4,3
220622-095239	Mírně zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ A	108,7	21	4,3
220622-095955	Mírně zajeté mazivo	Po zastavení/ typ A	108,7	30	4,3

Označení měření	Stav povrchu	Podmínky experimentu/ typ maziva	$F_{\text{přítlak}}$ [N]	$v$ [km/h]	$N$ [kN]
220622-104204	Zajeté mazivo + očištění brusným papírem	Po zastavení (dlouhé zajetí maziva) / typ A	108,7	15	4,3
220622-105050	Zajeté mazivo + očištění brusným papírem	Bez zastavení/ typ A	108,7	15	4,3
220622-105604	Zajeté mazivo	Bez zastavení + nárůst rychlosti/ typ A	108,7	25	4,3
220622-105836	Zajeté mazivo	Bez zastavení + nárůst rychlosti/ typ A	108,7	35	4,3
220622-110414	Zajeté mazivo	Bez zastavení/ typ A	137,7	15	4,3
220622-110826	Zajeté mazivo	Bez zastavení + nárůst rychlosti/ typ A	137,7	25	4,3
220622-111030	Zajeté mazivo	Bez zastavení + nárůst rychlosti/ typ A	137,7	35	4,3

Hodnotám  $F_{\text{přítlak}} = 18,3 \text{ N}$  s odpovídá stav, kdy držák maziva není navíc zatížen závažím. Jde tedy o normálové složky síly ve vzorku maziva, která odpovídá čistě tíze držáku na rameni jeho těžiště.

### 4.3 PRŮBĚH ZKOUŠEK S JEJICH ZÁKLADNÍMI PŘEDPOKLADY

Výběr maziva pro okolky kolejových vozidel zahrnoval dva typy materiálu:

- a) první vzorek je v měření označen jako A, jedná se o standartně používaný typ maziva okolku v železničních aplikacích,
- b) druhý vzorek je v měření označen jako B, jedná se o vzorek který při měření na experimentálním dvoukotočovém stavu neprokázal dobrou účinnost.

Pro začátek experimentů je vzorek maziva vsazen do držáku umístěného na konstrukci kladkového stavu. Mazivo je přitlačováno požadovanou konstantní silou  $F_{\text{přítlak}}$ .

Po aktivaci měřícího řetězce ovládacího software a nastavení velikosti přitlačné síly je možné stroj rozběhnout. Počet otáček je dosažen nastavenou hodnotou obvodové rychlosti. Pro uvažovaná měření je nastavení rychlostí sepsáno v příloze této diplomové práce.

Očištěním ploch kola a kolejnice dojde k přiblížení se stavu ideálního kontaktu. Avšak nelze docílit dokonale čisté plochy. Materiál kola i kolejnice, vlivem opotřebení, i strukturou materiálu obsahuje mikro nerovnosti. Z velké části tedy právě díky mikronerovnostem v něm ulpívá i nepatrné množství nečistot, jakož i zbytků maziva z předchozích experimentů. Tento vliv negativně ovlivňuje výsledky následující. Je tedy zapotřebí, vnímat tuto skutečnost a realizovat proti jejímu projevu příslušná opatření. Jedním z možných opatření je provedení ustáleného chodu kola (záběhu) s pokud možno konstantní hodnotou skluzu. Hodnota skluzu nemusí být nutně konstantní, avšak pro dosažení pro tvorbu opakovatelných měření je vhodné jí jako konstantní zvolit, aby bylo možné předejít nepřesnostem způsobeným nedostatečně „kvalitním“ záběhem vzorku.

#### 4.4 KVANTIFIKACE PARAMETRŮ KONTAKTU KOLA A KLDKY

Kvantifikací parametrů kola a kladky se rozumí zjištění velikosti dotykové plochy (ploch) při kontaktu této dvojice a ověření vlivu změny této plochy s ohledem na změnu silového parametru zkušebního stavu, v tomto případě velikosti  $F_{přítlak}$ , kterou lze kontakt kola na kladku měnit.

Pro následné vyhodnocování jsou tyto údaje velmi důležité. S ohledem na sledované parametry měření, které popisuje kapitola 5 této diplomové práce, je totiž při samotném vyhodnocování sledována skutečná oblast přenosu maziva na kladku zkušebního stavu. Zároveň dle požadovaných podmínek, které jsou v průběhu experimentů měněny, je sledován i vliv změny kontaktní plochy kola a kladky se změnou svislého přetížení kola.

Pro zjištění skutečné plochy, kterou se mazivo na kole při odvalování po kladce dotýká bylo použito bílého papíru, nalepeného přes celou šíři kladky. Papír byl nalepen přes šířku plochy kladky a po několika otáčkách soustrojí bylo z oblasti otisku zašpinění zjištěno, která část je v daném kontaktu mazána. Pro zjištění, kdy se růst této plochy při zajíždění maziva zastaví, bylo přiložení papíru několikrát opakováno. Ukázkou jedné z těchto aplikací je obrázek 18.



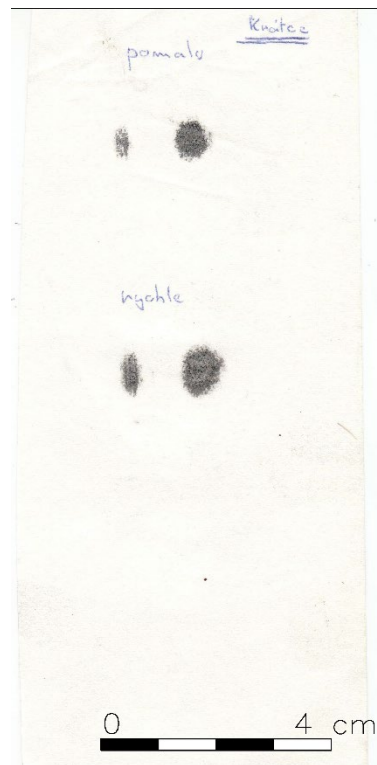
Obrázek 18 – Místo reálného otěru vzorku maziva v kontaktu kola a kladky

Kromě plochy, na které v kontaktu kola a kladky ulpívá mazivo, obrázek 19 ukazuje zobrazení statické oblasti velikosti kontaktu při zastaveném stroji

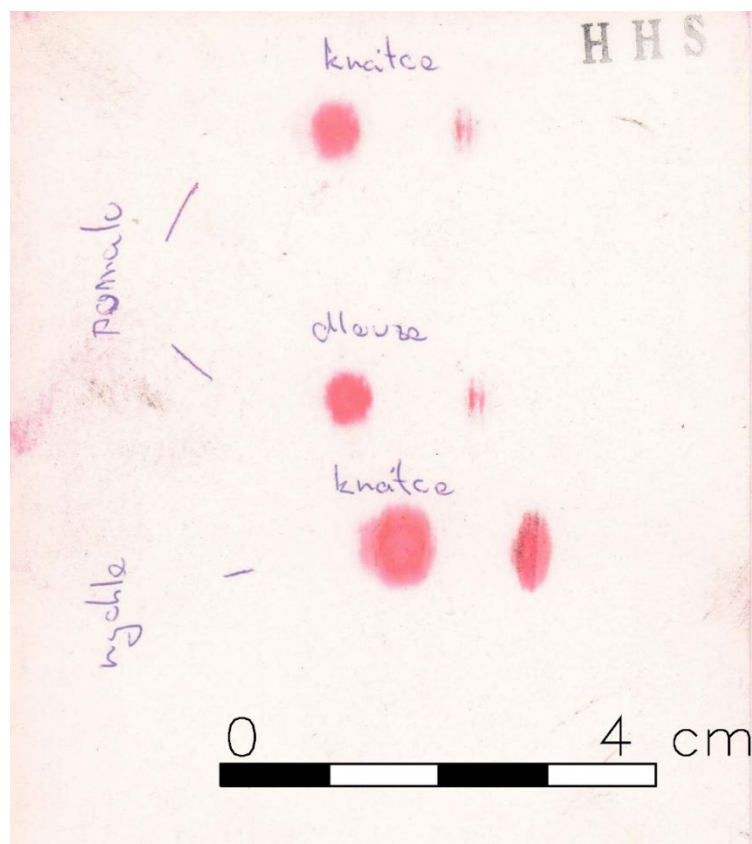
Pro hodnocení vlivu přítláčné síly v kontaktu kola a kladky vyvozené mechanismem zkušebního stavu, bylo použito fólie pro měření tlaku [11]. Tato fólie umožňuje vizuálně porovnat velikost a rozložení tlaku za pomoci barevné indikace. Provedení fólií je dle rozptylu velikostí kontaktního tlaku v několika variantách. Využití pro zkušební stav bylo pro fólie variant HHS (127 – 300 MPa) a LW (2,5 – 9,7 MPa).

Obrázek 20 a obrázek 21 znázorňuje druhy provedených ověření vlivu zatížení na kontaktní tlak při kombinaci rychlého a pomalého zatížení kladky kolem. Na HHS je patrné, že při rychlém spuštění kola (doprovázeného dynamickým nárustem kontaktní síly, a tedy i plochy) odpovídá větší otisk.

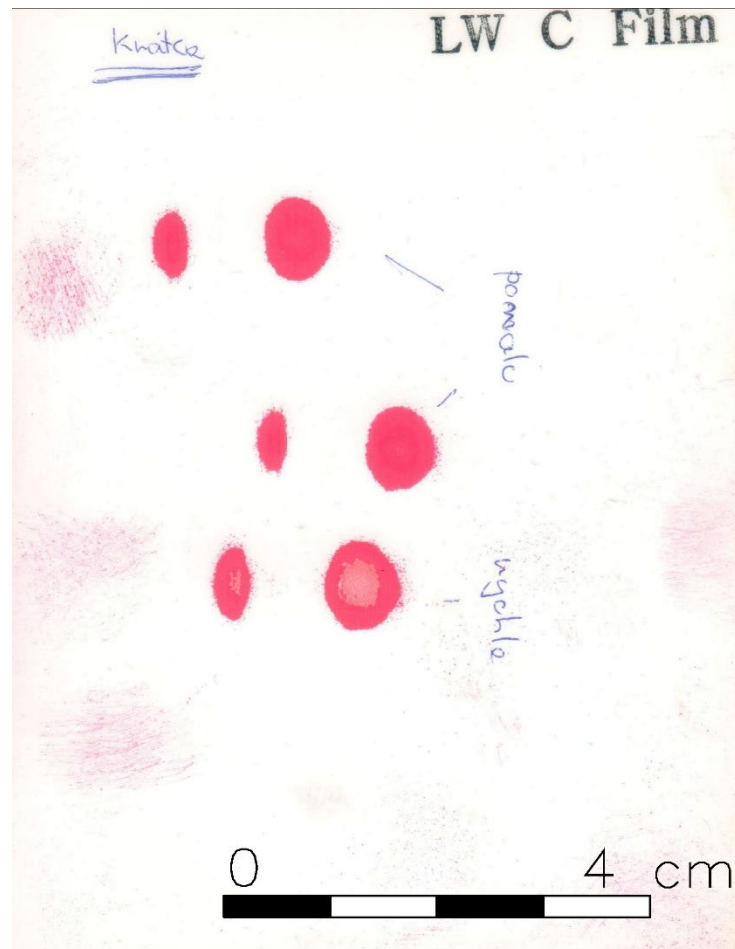
Na fólii LW je kontaktní tlak o mnoho větší než rozsah pro který je fólie vyrobena (ve kterém je schopna odstínem červené ukazovat velikost tlaku) a žádný způsob manipulace neměl vliv na velikost otisku.



Obrázek 19 – Místo oblasti kontaktní plochy kola a kladky



Obrázek 20 – Velikost otisku kola na kladce pro fólii HHS



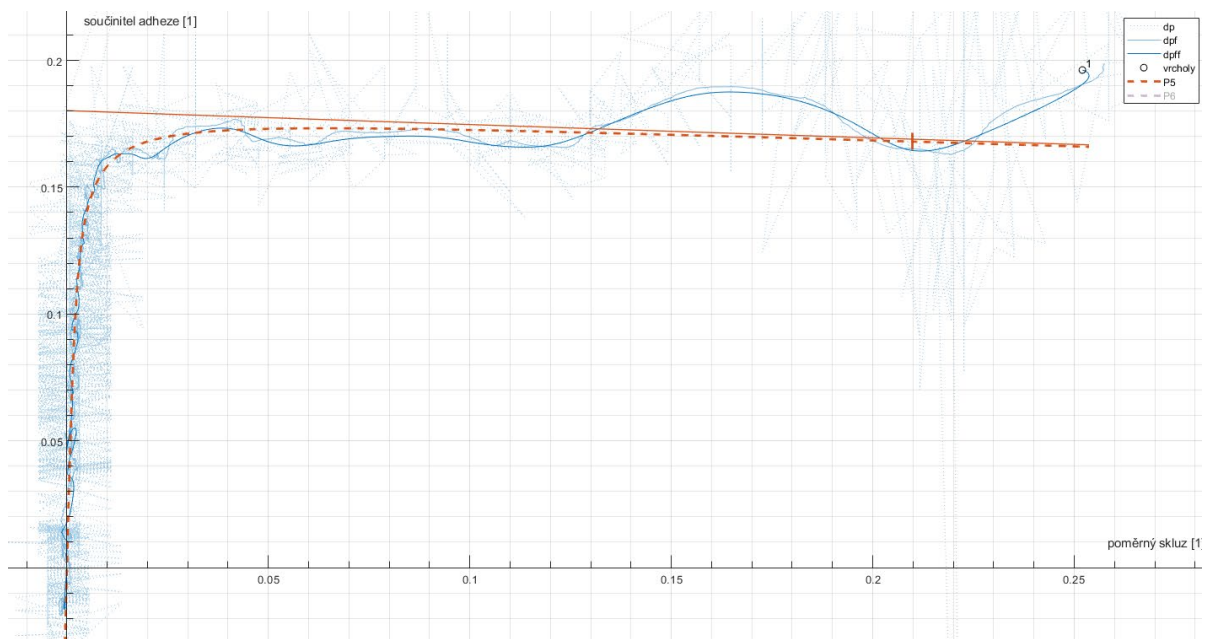
Obrázek 21 - Velikost otisku kola na kladce pro fólii LW

## 5 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ NA ZKUŠEBNÍM KLADKOVÉM STAVU

### 5.1 VYHODNOCOVACÍ SKRIPT ROLA

K vyhodnocení naměřených dat (tato data jsou obsažena v Příloze č. 1) posloužil vyhodnocovací skript ROLA. Použitá data byla za pomoci tohoto programu nejprve filtrována pro odstranění rušivých vlivů stroje a měřícího řetězce. Filtrovaná data již představují přibližný průběh adhezní charakteristiky. Vzhledem k potřebě získat z naměřených dat reprezentativní diskrétní hodnoty, tyto uvádí obrázek 22, je signál zapotřebí pro další hodnocení aproximovat. Aproximace je realizována za pomoci Poláchova tvaru adhezní charakteristiky.

Následně je signál aproximován ručním zadáním. Tato úprava aproximace slouží k fixnímu zadání bodů pro vykreslení co nejpřesnější adhezní charakteristiky. Popis a znázornění tohoto vyhodnocení je poté blíže popsán v literatuře [12]. Použití tohoto skriptu je tedy spíše poloautomatické a vyžaduje obsluhu pouze v zadání aproximačních bodů.



Obrázek 22 – Znázornění adhezní charakteristiky z měřeného signálu v programu ROLA

### 5.2 HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Po naměření dat, realizaci filtrace a vykreslení adhezních charakteristik je možné seřadit následující parametry Poláchovy aproximační funkce pro jednotlivá měření.

Model P5 (Poláčův tvar adhezní charakteristiky), který je obsažen v programu ROLA je rozdělen do sloupců v příloze 1 této diplomové práce s uvedením parametrů  $A$ ,  $c_{\mu so}$ ,  $\lambda$ ,  $f_o$  a  $c_{fwo}$ , dále jsou ve sloupcích vyhodnocení parametry  $v$ ,  $F_{přítlak}$ ,  $N$ .

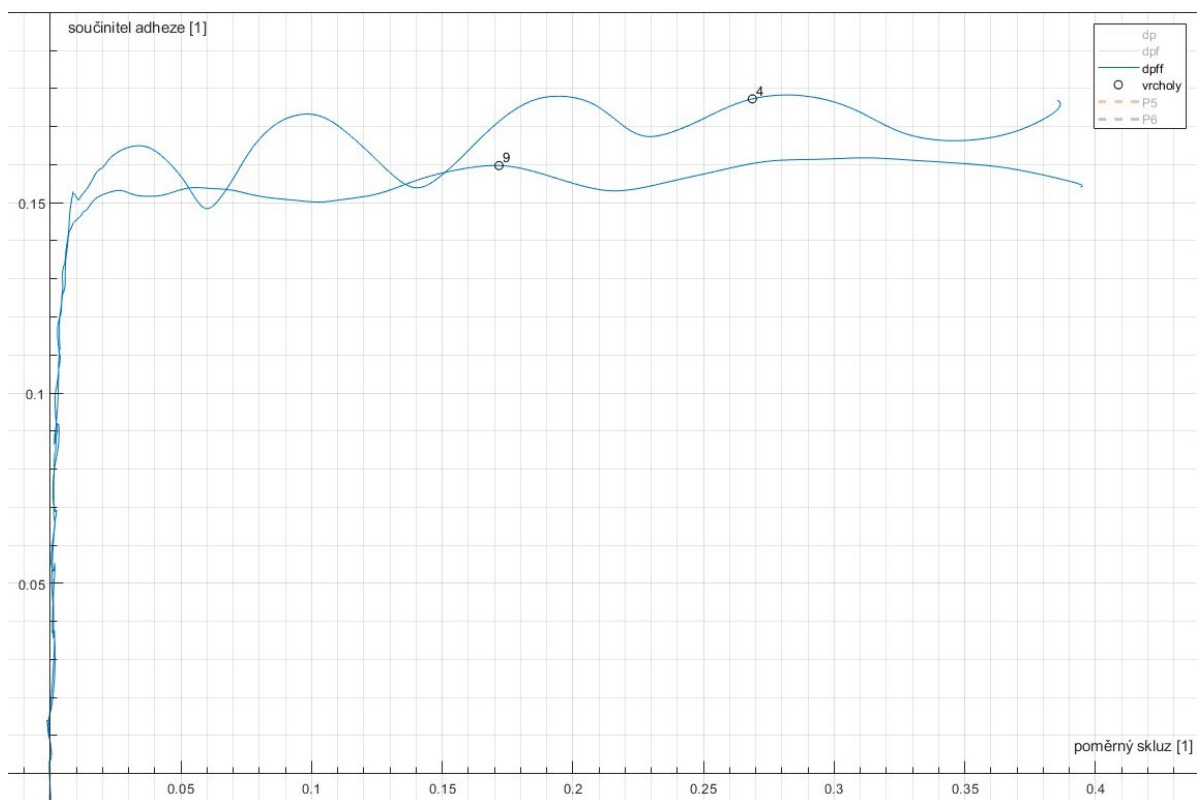
Tyto parametry jsou v průběhu měření proměnné a jejich nastavení probíhalo s ohledem na zjištění jejich vlivu v působení tuhých maziv. Vyhodnocení těchto parametrů vzájemně probíhá v první fázi samostatně vždy v závislosti na číslo konkrétního měření a s odlišením každého ze tří měřících dní.

Vyhodnocené naměřené parametry poskytnou představu o vlastnostech kontaktu kola a kladky při jednotlivých parametrech zkoušení. Z naměřených a aproximovaných dat je vytvořena databáze seříděná podle jednotlivých měřících dní.

### 5.2.1 Zpracování naměřených adhezních charakteristik

Při pohledu na obrázek 23 je možné vidět průběh naměřených adhezních charakteristik. Jsou vykresleny adhezní charakteristiky 4 a 9, což odpovídá měřením č. 28 a 33 (ve stejném pořadí).

Uvedené průběhy adhezní charakteristiky demonstrují skutečný průběh naměřený během jednotlivých experimentů. Jak uvádí i tato diplomová práce, průběhy je zapotřebí dále zpracovat. Jejich zpracováním lze získat pro každou jednotlivou adhezní charakteristiku vypovídající aproximaci v podobě adhezní charakteristiky, viz obrázek 22.



Obrázek 23 – Průběh skutečně naměřených součinitelů adheze pro vybraná měření

## 5.2.2 Teoretický význam vybraných parametrů

Pro hodnocení naměřených dat jsou použity parametry  $f_0, c_{\mu s0}, \lambda$  Poláchova tvaru adhezní charakteristiky. Další parametry  $A$  a  $c_{fwo}$  nejsou hodnoceny, byť jsou v samotné aproximaci zahrnuty též. Pro malý rozsah některých adhezních charakteristik se zřetelnou klesající částí netvoří dostatečně vypovídající soubor k dalšímu hodnocení. U parametru  $A$  je z důvodu přehlednosti v zobrazení naměřených dat upuštěno od jeho číselného vyjádření v Příloze č. 1.

Význam parametrů zvolených k hodnocení je uveden níže:

### a) Statický součinitel tření $f_0$

Statický součinitel tření ukazuje nejvíce na změny třecích podmínek. Tedy vlastně přítomnost maziva bude nejspíše právě tímto parametrem charakterizovatelná nejlépe. Obrázek 25 znázorňuje grafický průběh tohoto parametru v závislosti na provedených měřeních. Parametr  $f_0$  lze charakterizovat jako míru únosnosti smyku (co lze kontaktem přenést, než dojde v kontaktu ke klouzání).

### b) Počáteční strmost charakteristiky $c_{\mu s0}$

Hodnocení počáteční strmosti charakteristiky je v hodnocení třecích vlastností kontaktu kola a kolejnice důležitým parametrem. Popisuje totiž rychlost změny součinitele tření při malých hodnotách skluzu. Vyšší hodnoty parametru  $c_{\mu s0}$  znamenají, že systém rychleji reaguje na změny hodnoty skluzu. Tento parametr je tedy důležitý zejména pro dynamické chování vozidla z pohledu přenosu tažných a brzdících sil.

Dalším faktorem, který lze z průběhu počáteční strmosti charakteristiky sledovat, je opotřebení kontaktní dvojice.

Při vyšších hodnotách strmosti jsou třecí síly vyšší při malém skluzu, dochází tedy k růstu potenciálu opotřebení materiálu, který se na přenosu třecích sil podílí. Z pohledu použití maziva lze potom u průběhu počáteční strmosti charakteristiky říci, že u aplikovaného vzorku maziva, u něhož parametr  $c_{\mu s0}$  dosahuje vyšších hodnot, je reakce třecích sil na změny skluzu rychlejší.

Naopak vliv opotřebení je potom vyšší.

Pro optimalizaci přenosu třecích sil v kontaktu kladky a kola zkušebního stavu, ale i v praktickém užití při kontaktu kola a kolejnice je sledování a vyhodnocování parametru  $c_{\mu s0}$  velmi užitečné.

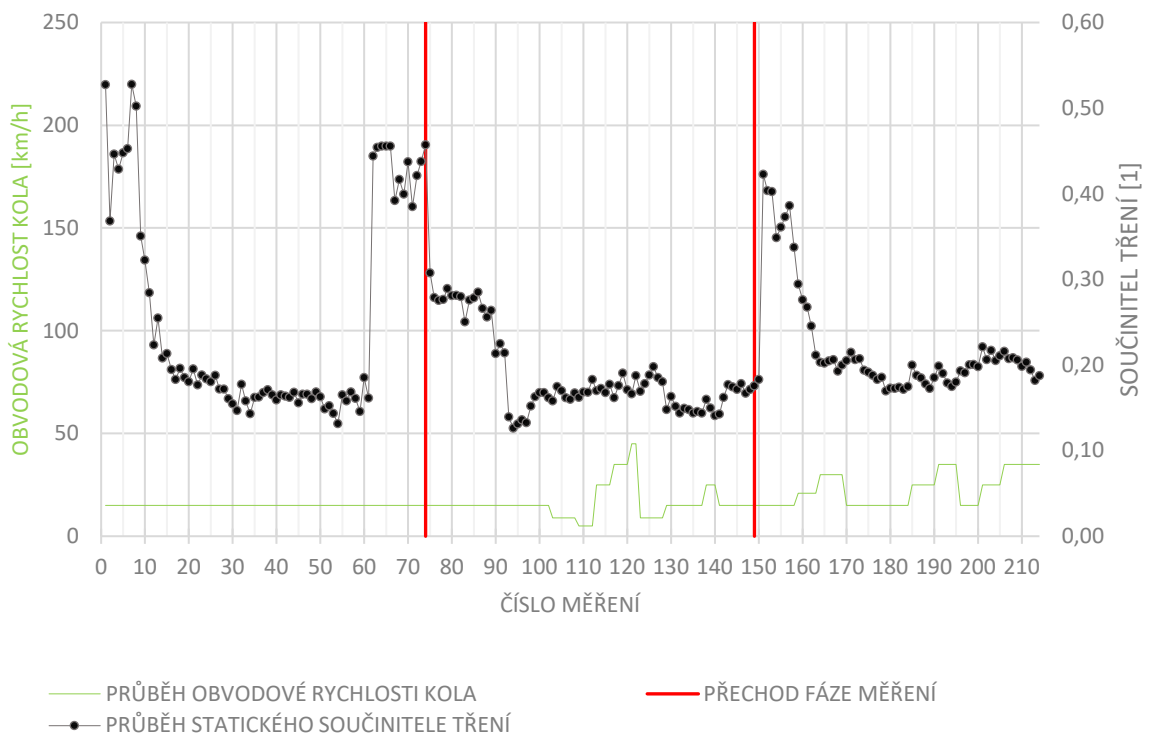
### c) Ukazatel odlišnosti redukce povrchové tuhosti při klouzání a při lpění $\lambda$

Pro určení významu parametru redukce povrchové vrstvy jsou důležité Poláchovy redukční součinitele pro oblast lpění, resp. klouzání. Parametr  $\lambda$  je zásadní pro pochopení chování materiálu pod zatížením. Jedná se o vyjádření „zploštění“ vrcholu adhezní charakteristiky. V disertační práci na téma Modelování adhezní vazby kola a kolejnice v dynamice pohonu dvojkolí je patrné, že parametr  $\lambda$  nabývá při mazaných površích nižších hodnot. [13]

### 5.2.3 Grafické znázornění a popis parametrů

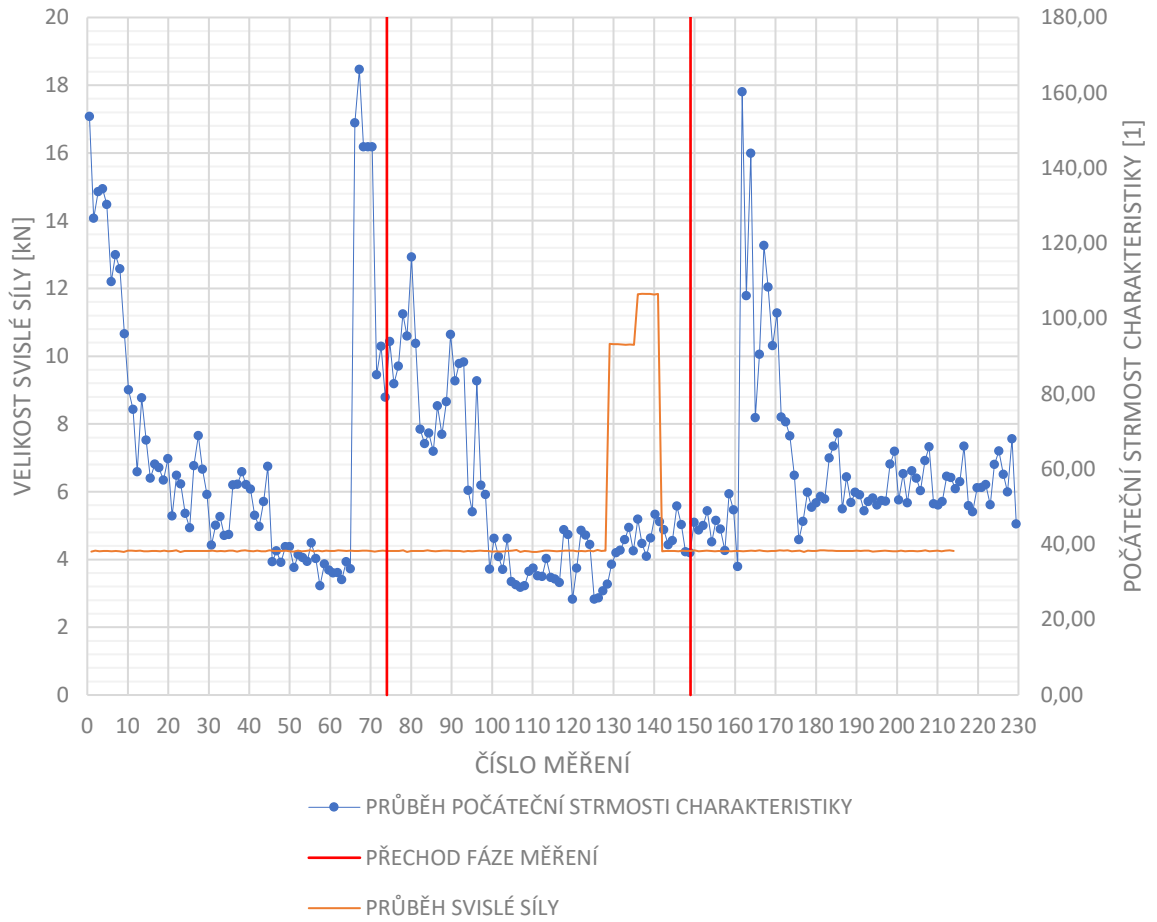
#### a) Průběh statického součinitele tření a počáteční strmosti charakteristiky

Průběh statického součinitele tření a počáteční strmosti charakteristiky se vzhledem k jejich podobnosti jeví jako užitečné posuzovat v jednom grafickém zobrazení dohromady. Vzhledem k tomu, že s ohledem na nastavované parametry během experimentů a předpokladu, že proměnný parametr rychlosti  $v$  na průběh počáteční strmosti charakteristiky nemá žádný vliv, je obrázek 24 uveden k posouzení, zda-li je vhodný parametr  $v$  do společného grafu uvádět.



Obrázek 24– Odezva průběhu statického součinitele tření na změnu velikosti obvodové rychlosti kola

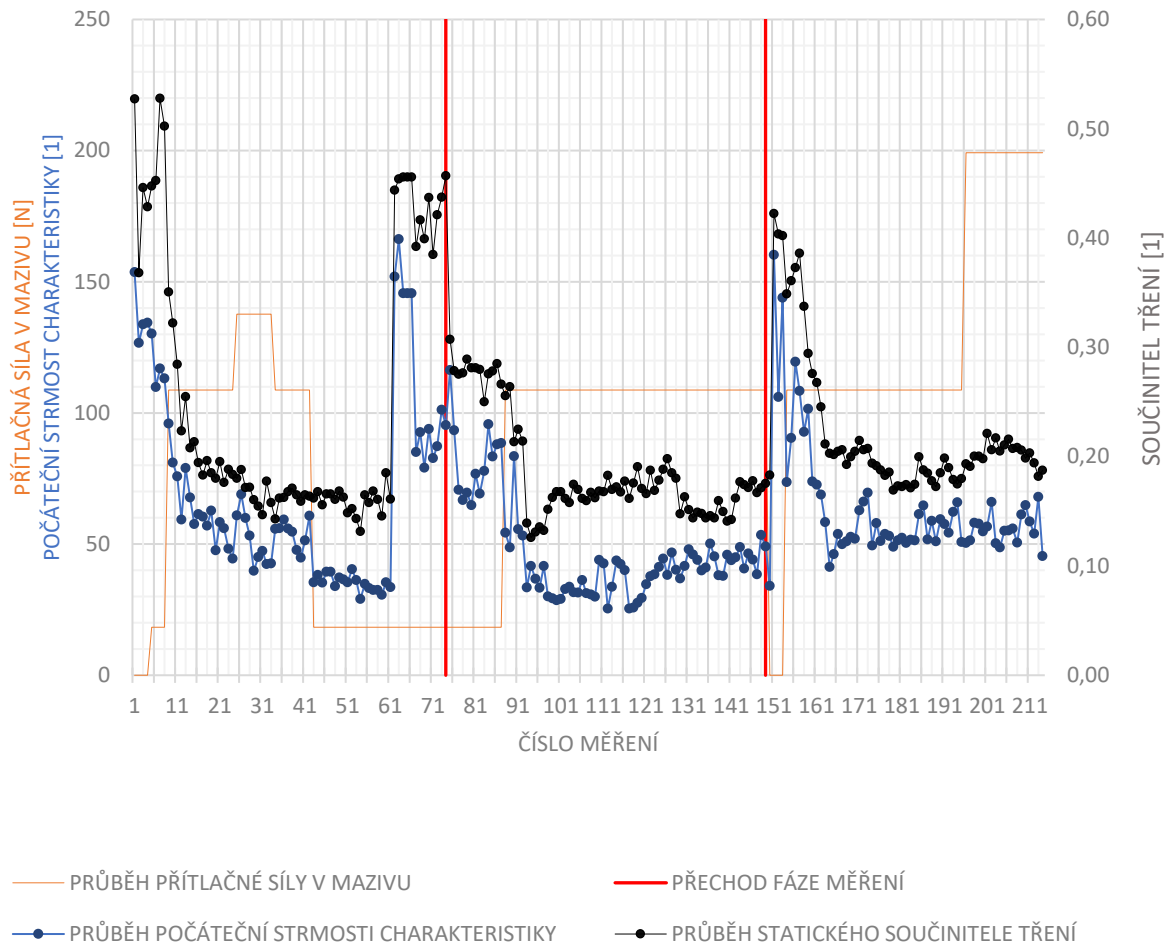
Z uvedené závislosti  $v$  je patrné, že u všech provedených měření statického součinitele tření, je-li vůbec nějaký vliv parametru  $v$ , potom je velmi nahodilý a malý. Pro účely dalšího posuzování je tedy vliv změny tohoto parametru vyjmut.



Obrázek 25 – Odezva počáteční strmosti charakteristiky na velikost svislé síly

Stejně tak je obrázek 25 důkazem, že i přes teoretický předpoklad vlivu svislé síly mezi kolem a kladkou, na počáteční strmost v provedených experimentech nebyla odezva rozpoznatelná.

Naopak parametr normálové síly vyvolané prostřednictvím maziva odezvu na měření  $f_0$  a  $c_{\mu 50}$  vykazuje. Společně s tímto parametrem (znázorněn oranžově) potom obrázek 26 představuje průběhy statického součinitele tření a počáteční strmosti charakteristiky.



Obrázek 26 - Znázornění vlivu normálové síly v mazivu na parametry  $f_0$  a  $c_{\mu s0}$

Následující text se věnuje popisu zobrazených průběhů s důrazem na měření, kde docházelo ke změnám.

Dle popisu měření, který uvádí obrázek 26, je zřejmé, že v uvedené počáteční fázi, kdy na kolo ani kladku nebylo mazivo aplikováno je hodnota  $f_0$  a  $c_{\mu s0}$  v měření při běhu zkušebního stavu vysoká. S přiložením maziva začala hodnota obou parametrů klesat, klesala dál i s rostoucí hodnotou normálového zatížení ve vzorku maziva. Důvod poklesu hodnot parametrů již z počáteční fáze je především způsoben měnící se velikostí dotykové plochy maziva a kola. Vzhledem k původně rovné ploše, kterou představovala plocha maziva docházelo postupným otěrem jeho materiálu k růstu plochy, kterou je na kolo přitlačováno. Po ustálení tvaru dotykové plochy maziva a kola dochází i ke stabilizaci velikosti parametrů.

Nic v této velikosti nemění ani další navýšení velikosti závaží s důsledkem růstu složky velikosti normálové síly v mazivu, které probíhá při 25 měřicím cyklu. Žádnou odezvu nevyvolá ani úplné odebrání závaží z držáku maziva v měření č. 43, kdy velikost normálové síly odpovídá pouze tíze samotného držáku bez umístění závaží.

Další, první vyšší růstovou fází obou parametrů, je poté až měření č. 62. Dotyková plocha kola byla očištěna brusnou houbou a papírovou utěrkou. V tom okamžiku dochází k prudkému nárůstu velikosti  $f_0$  a  $c_{\mu S0}$ .









Od měření č. 75 je pak do držáku vsazen druhý typ maziva B. Tento se zpočátku chová totožně jako typ A. V rámci zajíždění, tedy postupnému zvětšení plochy dotyku vlivem otěru je jeho dopad na  $f_0$  a  $c_{\mu S0}$  totožný jako u předešlého maziva. Mírný nárůst parametrů je pozorován od měření č. 99, kdy je trvale přiložena brusná houba. Změna obou parametrů je však minimální.

V rozsahu měření č. 150 až 153 je záznam parametrů bez přiložení maziva. Při tomto se projevuje nárůst  $f_0$  úměrně s otěrem maziva na obou částech soukolí. Po opětovném přiložení maziva v měření č. 154 dochází opět k poklesu parametrů na hodnotu podobnou předešlým ustáleným stavům, kdy je mazivo tvarově přizpůsobené jízdě ploše kola.









### Mapovací

tabulka 4 představuje přehled rozsahů měření, kde dochází k výrazným změnám parametrů  $f_0$  a  $c_{\mu S0}$  s uvedením podmínek, které v daném rozsahu měření byly měněny. Je vlastně souhrnným přehledem průběhu měření s uvedením, zda při uvedených měřeních docházelo k očištění plochy, nebo změny velikosti normálové síly mezi kolem a kladkou.

Tabulka 4 – Mapovací tabulka experimentů s průběhem statického součinitele tření

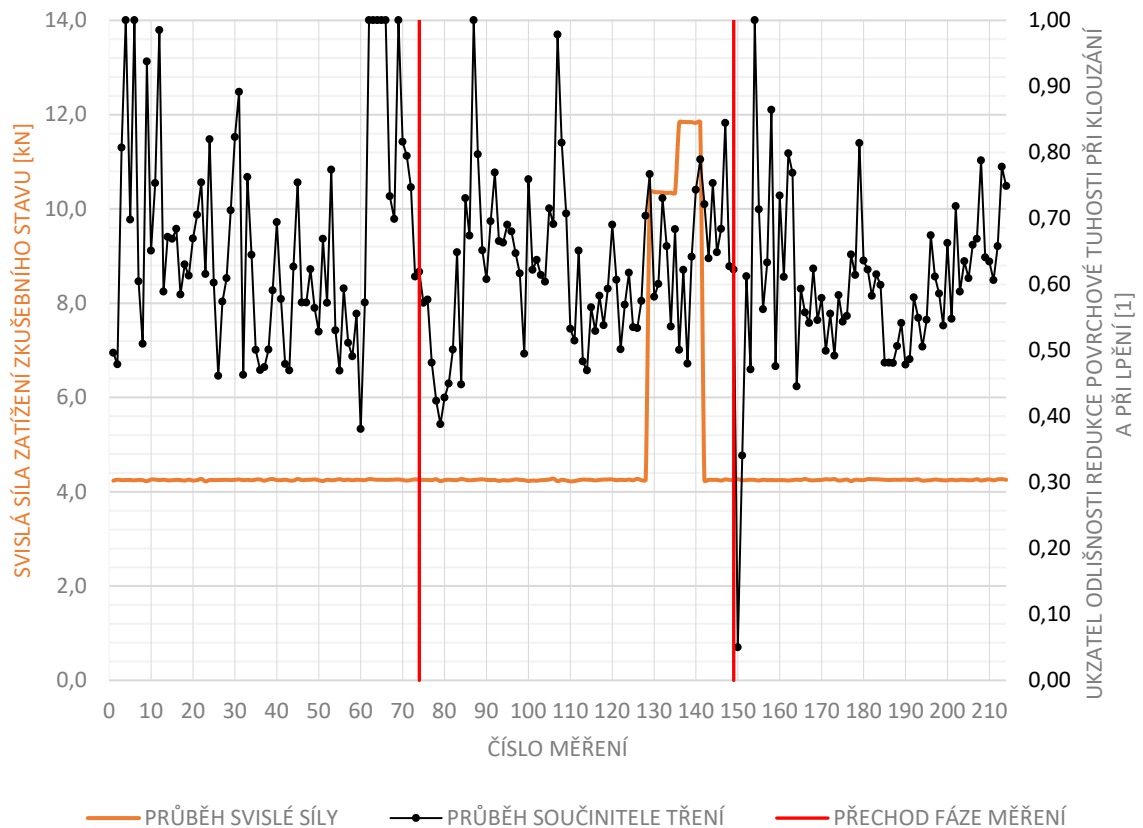
Rozsah měření	Změna $F_{přítlak}$	Čistění kladky	Odezva měření	Trend vývoje $f_0$
5	●	●	Dochází k přiložení držáku s mazivem <b>typu A</b> . Fáze „zajíždění“ maziva.	
8	●		Přiložení závaží na držák maziva.	
9-14	●		Výrazné ovlivnění $f_0$ při výrazné změně normálové síly v držáku.	
15-61	●		Průběh $f_0$ ovlivněn pouze mírně, dílčími změnami velikosti přiloženého závaží.	
62		●	Očištění plochy kladky doprovázené okamžitým nárůstem $f_0$ .	
63-74		●	Kolísavý průběh parametru $f_0$ v důsledku znovu nanášení vrstvy maziva do kontaktu kola a kladky po očištění.	
75			Přechod na mazivo <b>typu B</b> .	
76-87			Pokles parametru $f_0$ v důsledku postupného zajíždění vzorku B.	

## Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice s využitím kladkového stavu

Rozsah měření	Změna $F_{\text{přítlak}}$	Čistění kladky	Odezva měření	Trend vývoje $f_0$
88-98	●	●	Další pokles parametru $f_0$ v důsledku zasetého vzorku maziva typu B. Zvýšení normálové síly v mazivu.	
99-128	●		Konstantní průběh parametru $f_0$	
129	●		Změna velikosti přitlačné svislé síly vyvolané přitížením normálové složky síly mezi kolem a kladkou působí malou skokovou změnu parametru $f_0$ .	 
130-149	●	●	Průběh parametru parametru $f_0$ se mění mírně, velikost normálové síly v mazivu se změní o malou hodnotu.	
150-153	●	●	Běh po odebrání maziva. Roste parametru $f_0$ otěrem naneseného maziva z kontaktní oblasti kola a kladky. Prudká změna normálové síly.	
154-169	●		Dochází k opětovnému umístění závaží na držák a maziva <b>typu A</b> . Velikost parametru $f_0$ klesá.	
170 - 214	●	●	I přes změnu normálové síly v mazivu vyvolanou zvýšením hmotnosti závaží nedochází k interakci v podobě změny hodnoty parametru $f_0$ .	

## b) Průběh odlišnosti redukce povrchové tvrdosti

Průběh odlišnosti povrchové tuhosti se s ohledem na změny svislé síly vyvolané změnou zatížení kola (svislá síla mezi kolem a kladkou) vůbec nemění. Z výsledků měření nelze pozorovat vliv svislé síly na parametr  $\lambda$ . Jeho průběh zobrazuje obrázek 27.



Obrázek 27 - Znázornění vlivu svislé síly zkušebního stavu na parametr  $\lambda$

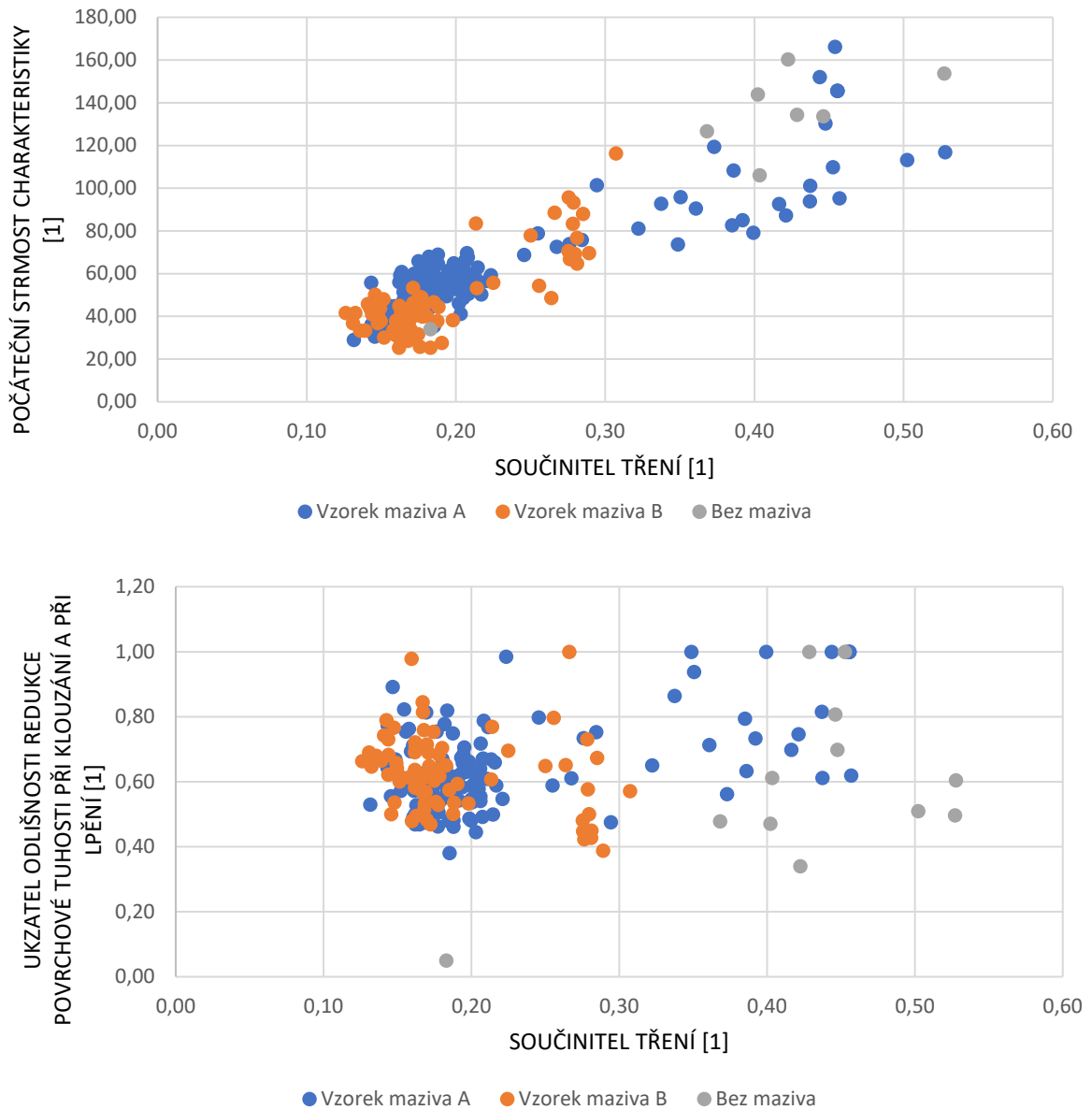
Další bližší popis naměřených dat je s ohledem na velmi neuspořádaný průběh neúčelný. Z pohledu celkového hodnocení bude však užitečné posuzovat naměřené hodnoty odlišnosti redukce povrchové tuhosti se získanými daty statického součinitele tření.

### 5.2.4 Hodnocení parametrů $f_o$ a $c_{\mu so}$ po provedených experimentech

Po vyhodnocení průběhu parametrů  $f_o$  a  $c_{\mu so}$  lze konstatovat, že v provedených experimentech má nejvyšší vliv na jejich změnu tvar zjetí vzorku maziva, tedy velikost plochy, která je schopna přenášet materiál maziva na jízdní plochu kola. Dalším významným parametrem je potom velikost přitížení, tedy síly, která působí v normálovém směru mezi mazivem a kolem. V případě této veličiny je však při běhu zařízení možné vidět zpoždění. Jakmile je závaží z držáku odebráno, dochází k poklesu  $f_o$  a  $c_{\mu so}$ , avšak s prodlevou. Prodlevu si lze vysvětlit tak, že na kole je již nanášena dostatečná vrstva maziva, než tato začne ubývat, a kvalita nanášené vrstvy bude záležet na nově zatíženém držáku maziva, soustrojí musí nějakou dobu běžet.

### 5.3 SOUHRNNÉ POSOUZENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

V předcházející podkapitole byla naměřená data posuzována ve vztahu k proměnným parametrům při jednotlivých měřeních. Následující posouzení se věnuje závěrům, které z měření vyplývají s ohledem na ucelenou představu o účinku maziva na aproximační parametry. Každý jeden bod potom představuje jednu konkrétní adhezní charakteristiku.



Obrázek 28 - Znárodnění aproximačních parametrů  $f_0 - c_{\mu so}$  a  $f_0 - \lambda$

Adhezní charakteristiky, které jsou v měření zastoupeny jsou měřeny v režimu trakce tramvajového kola. Parametry měření jsou v rozmezí velikosti obvodové rychlosti kola 5-45 km/h, svislé síly vyvozené na kolo zkušebního stavu je 4,2-11,8 kN, normálové síly v kontaktu maziva a kola 0-189,36 N.

Obrázek 28 poskytuje přehled jaký konečný dopad na závislost aproximačních parametrů  $f_0 - c_{\mu so}$  a  $f_0 - \lambda$  má přítomnost maziva typu A, B a při běhu stroje bez jeho přiložení. S ohledem na velmi malý počet měření provedených bez maziva je vypovídací hodnota se zaměřením na stav bez přiložení vzorku maziva nižší. Zároveň jsou do měření ale zahrnuty všechny ostatní podmínky které vychází z předchozího hodnocení v části 5.2.3 této diplomové práce bez bližšího zobrazení. Jsou jimi například velikost svislého zatížení, normálové síly v mazivu a čištění povrchu kola.

#### a) Hodnocení parametru $f_0$

Pro měření vzorkem maziva A je dosaženo v menší míře i hodnot statického součinitele tření  $f_0 > 0,3$ , což může reprezentovat stav před nanášením maziva na povrch kola. Naopak z měření vyplývá větší počet hodnot odpovídajících hodnotě  $f_0 \geq 0,15f_0$ , to odpovídá očekávání s ohledem na vlastnosti tuhých maziv pro okolky železničních kol. Stejný shluk hodnot se projevuje i u měření se vzorkem maziva B, u něhož je patrný výskyt bez výrazného překročení hodnoty  $f_0 = 0,3$ , což spíše odpovídá skutečnému stavu povrchu ovlivněného přítomností maziva. U měření provedených bez přiloženého maziva je viditelný nárůst statického součinitele tření, což jednoznačně odpovídá teoretickému předpokladu.

Praktickou ukázkou pro typ maziva A, která ukazuje na počátek měření, kdy se mazivo na čisté kolo teprve dostávalo, je právě výskyt adhezních charakteristik pro vyšší hodnoty součinitele tření. Oproti variantě s mazivem B, kdy již na povrchu kola i přes jeho očištění zůstávala minimální vrstva maziva.

#### b) Hodnocení parametru $c_{\mu so}$

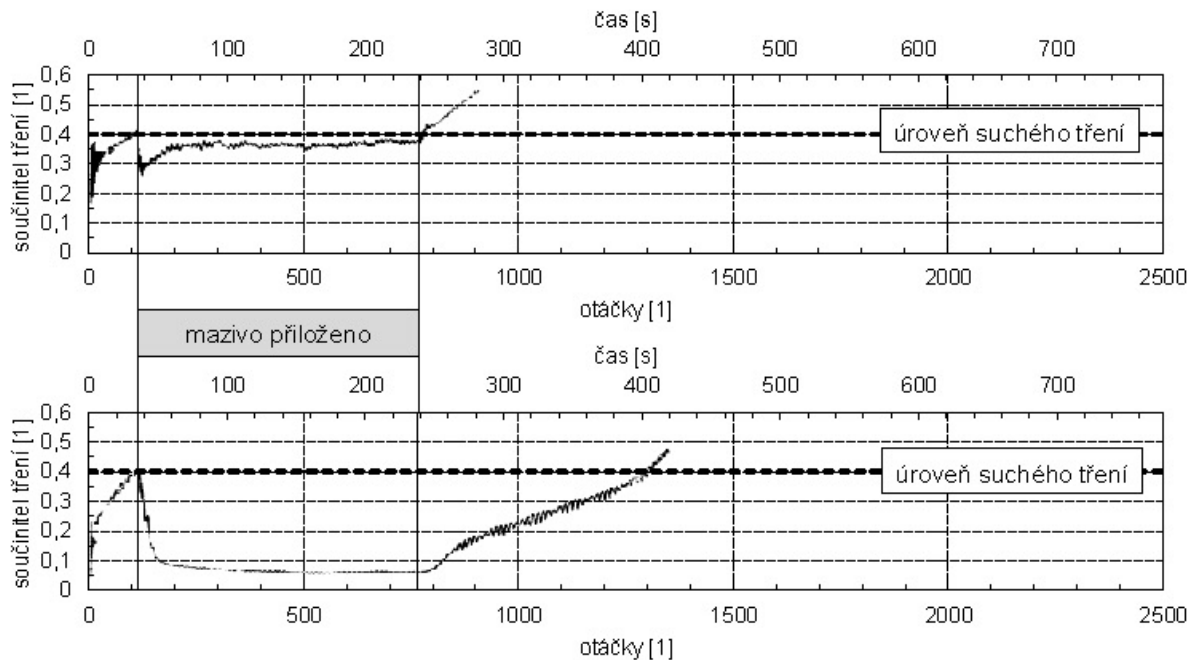
U posouzení bodů, tedy jednotlivých adhezních charakteristik vzhledem k počáteční strmosti charakteristiky je dle očekávání pro suchá, nebo mazivem méně znečištěná měření hodnota vyšší. Měření obou typů maziv, které jsou s hodnotou počáteční strmosti na hodnotách vyšších odpovídají kvalitě povrchu, který byl i během měření čištěn, popřípadě po přiložení maziva docházelo k postupnému nanášení jeho vrstvy. U počáteční strmosti charakteristiky v těchto měřeních není ovlivněno kontaktním tlakem způsobeným změnou velikosti svislé síly vyvozené na kolo, přestože tento parametr na velikosti kontaktního tlaku závisí. Důvodem je, příliš malý počet vzorků s nízkým rozdílem velikostí svislé síly.

### c) Hodnocení parametru $\lambda$

U průběhu hodnot parametru  $\lambda$  s ohledem na součinitel tření není nikterak ovlivněna. Rozptyl naměřených hodnot je v rozmezí 0,4 – 1,0. Rozložení naměřených dat není tedy ovlivněno vzhledem k aplikaci maziva, ani bez něj.

## 5.4 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT S VÝSLEDKY NA DVOUKOTOUČOVÉM STAVU

U dvoukotoučového stroje je při zkouškách časových průběhů součinitele tření vysoká citlivost výsledků měření na velikost přítlaku vzorku maziva na kotouč. U zkušební dvoukotoučového stavu je také patrná výrazně vyšší rychlost odezvy na aplikaci jakéhokoliv materiálu (voda, mazivo, znečištění) v kontaktu dané kontaktní dvojice. Oproti provedeným experimentům na zkušebním kladkovém stavu, kdy při běhu experimentu provedeného s mazivem i po jeho odebrání jeho účinek klesá výrazně pomaleji, než-li tomu je u dvoukotoučového stavu. Tuto skutečnost ukazuje například obrázek 26. Způsob kterým se tato odlišnost projevuje při měření a vyhodnocení na dvoukotoučovém stavu je především stabilnější záznam hodnot adhezních charakteristik s menší náchylností na případné náhlé změny (dočasné vychýlení maziva). Se znalostí této skutečnosti lze tak očekávat nepříznivě odlišné výsledky opakujících se experimentů na dvoukotoučovém stavu. Obrázek 29 představuje zobrazení naměřeného časového průběhu statického součinitele tření při změně podmínek povrchové vrstvy materiálu přiložením vzorku maziva na zkušební dvoukotoučový stav.



Obrázek 29 – Příklady záznamů součinitele tření při zkouškách různých tuhých maziv (nejedná se o maziva typu A a B) metodou podle EN 16028 [7]

Dalším zjištěním této diplomové práce je velmi podobný průběh součinitele tření u obou použitých vzorků maziv oproti měřením stejných vzorkům maziv realizovaných na dvoukotoučovém zkušebním stavu. Porovnání naměřených součinitelů tření ukazuje tabulka 5, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty statického součinitele tření v určených dílčích měřeních pro obě maziva. Volba rozsahu měření v tabulce proběhla tak, aby byly obsaženy oblasti s nejmenší hodnotou statického součinitele tření a zároveň aby v daném intervalu byl průběh měření pokud možno co nejméně proměnlivý.

Tabulka 5 - Srovnání statického součinitele tření použitých typů tuhých maziv

Tuhé mazivo typu A		Tuhé mazivo typu B	
Průměrná hodnota $f_0$	<b>0,162</b>	Průměrná hodnota $f_0$	<b>0,169</b>
Číslo měření	$f_0$	Číslo měření	$f_0$
30	0,155	100	0,168
31	0,147	101	0,168
32	0,177	102	0,162
33	0,158	103	0,158
34	0,143	104	0,175
35	0,162	105	0,170
36	0,163	106	0,162
37	0,168	107	0,160
38	0,171	108	0,167
39	0,165	109	0,162
40	0,159	110	0,168
41	0,165	111	0,168
42	0,164	112	0,183
43	0,162	113	0,170
44	0,168	114	0,172
45	0,156	115	0,167
46	0,166	116	0,177
47	0,166	117	0,162
48	0,161	118	0,176
49	0,168	119	0,191
50	0,163	120	0,171

Při srovnání odezvy vzorků A a B tuhých maziv, které byly v této práci použity s měřeními totožných vzorků maziv na dvoukotoučovém stavu je také patrné že obě maziva u kladkového stavu účinkovala velmi podobně. Naproti tomu u měření provedených Dopravní fakultou Jana Pernera dříve na zkušebním dvoukotoučovém stavu, první typ maziva účinkoval velmi dobře, mazací schopnost maziva druhého typu byla velmi malá.

## 6 ZÁVĚR

Nejdůležitější přínos této diplomové práce je rozšíření možností při testování tuhých maziv prostřednictvím zkušebním kladkovém stavu a umožnit tak možnost sledování vlivu maziva na kontakt kola a kolejnice na zařízení, které svou konstrukcí spíše odpovídá skutečným podmínkám ve kterých jsou tuhá maziva používána. Konkrétně pak sledování realizovat pomocí sledování parametrů zjištěných z průběhů adhezních křivek získaných měřením.

Pro získání výsledků bylo zapotřebí doplnit zkušební kladkový stav o mechanické rameno, které slouží k uchycení a přiložení vzorku maziva na jízdní plochu tramvajového kola a zároveň poskytuje možnost variabilního nastavení velikosti přitlačné síly mezi mazivem a kolem (nastavení velikosti přitlačné síly lze realizovat umístěním závaží, nebo změnou ramene síly). Kompletní výkresovou dokumentaci tvoří příloha této diplomové práce. Hlavním sestavným výkresem celku je výkres s označením A\_001-01 a A\_001-02. Obrázek 30 zobrazuje 3D model ramene držáku včetně příčníku, kterým je držák ukotven na rámu zkušebního kladkovém stavu.



Obrázek 30 – 3D model ramene držáku maziva

Držák odpovídá požadavkům pro umístění vzorků maziva i zástavbovým prostorům. Po jeho sestavení však byla potřeba drobná úprava v podobě vložené podložky mezi nosnou a svislou část.

Po sestavení držáku a jeho odzkoušení však bylo zapotřebí konstrukci doplnit o Podložku (C\_003-01-01), která umožňuje variabilní natočení držáku kolem svislé radiálně vůči vodorovné nosné části (B\_003-01).

Odzkoušený a ověřený držák maziva byl po umístění otestován spuštěným kladkovým stavem. Během těchto ověření byla stanovena předběžná metodika postupu zkoušek s určením parametrů, které jsou uvedeny v kapitole 4.1.

Součástí zjištění která odpovídají všeobecnému předpokladu o provedených měřeních je, že při aplikaci maziva dochází k měřitelné odezvě parametrů statického součinitele tření a počáteční strmosti charakteristiky. U parametru odlišnosti povrchové tuhosti není patrná žádná závislost mezi nastavení podmínek měření a přítomností vzorku maziva.

Lze si tedy z výsledků práce udělat představu o vlivu ne/přítomnosti maziva na adhezní charakteristiky a jejich parametry podle aproximační funkce. Zároveň lze porovnat s měření na dvoukotoučovém stavu, tedy jediným, normou popsáním způsobem verifikace vlivu maziv.

V porovnání se standardizovaným způsobem ověřování vlivu tuhých maziv na dvoukotoučovém stavu, který je blíže popsán například literaturou [7] lze sledovat některé odlišnosti proti provedeným experimentům na kladkovém stavu. Například měření prováděná na dvoukotoučovém stavu jsou omezena pouze na realizaci s jednou konstantní hodnotou skluzu, tedy pouze vývoj součinitele tření v čase, kdežto na použitém kladkovém stavu lze měření realizovat v rozsahu celé adhezní charakteristiky. Tento rozdíl umožňuje získání více parametrů, k popisu adhezní charakteristiky a díky tomu i přesněji popsat projev maziva.

Dalším zjištěním s ohledem na zkoušení tuhých maziv je i dle kapitoly 5.4 viditelná stabilnější odezva měření s ohledem na střídání stavu přiloženého a odejmutého maziva oproti experimentům na dvoukotoučovém stavu. Tento vliv je výhodný především z pohledu menší míry zkreslení výsledků měření.

Naměřené hodnoty účinku maziva jsou zaznamenány přesněji právě na dvoukotoučovém stavu. U kladkového stavu lze také s výhodou předpokládat s ohledem na jeho velikost, že se bude jeho chování více shodovat s reálným provozem. To především díky rozměrům, kontaktní geometrii a stavem povrchů, bližších reálnému provozu. U dvoukotoučového stavu je pozorování jeho přítomnosti výrazně složitější a spíše neodpovídá skutečnosti. Jedním z důvodů, který vede k ovlivnění právě odezvy, odpovídající reálnému provozu může být v případě dvoukotoučového stavu například odlišný rozměr kontaktních kotoučů a také jejich povrch, případně oba vlivy zároveň. U měření na dvoukotoučovém stavu je také patrná odlišnost ve velikosti naměřené hodnoty statického součinitele tření. U měření na kladkovém stavu jsou velikosti naměřených součinitelů tření ve většině případu vyšší.

Pro další provádění experimentů lze využít aplikovanou metodiku měření, která je výhradně uzpůsobena na použitý zkušební kladkový stav. Poslouží však jako jednotný souhrn postupů, použitelných při dalších měřeních. Právě s ohledem na naměřené výsledky je patrné, že pro rozšíření výstupů zjištěných touto diplomovou prací by bylo užitečné opakovat měření se zřetelem na následující aspekty:

- a) rozšíření typu vzorků maziva,
- b) větší počet provedených měření s postupným samočištěním jízdní plochy kola (testování retentivity – schopnost maziva udržet se na jízdní ploše kola),
- c) rozšíření rozsahu měření, kde každé měření bude znamenat jednu hodnotu proměnných parametrů běhu zkoušek (rychlost, svislá kolová síla, přítláčná síla v mazivu).

Výstupem dalších experimentů by mohlo být ověření zpracované metodiky, verifikace výsledků plynoucích z vyhodnocení dat provedených měření této diplomové práce a případně realizaci zpřesnění některých postupů vedoucích ke zjištění a nebo ověření účinku tuhých maziv pro železniční aplikace.

---

## POUŽITÁ LITERATURA

- Obrázek mazání kolejnic: mazání kolejnic. In: *Kolejova technika - Tribotec* [online]. Brno: TRIBOTEC [cit. 2023-04-04]. Dostupné z:
- [1] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fkolejovatechnika.tribotec.cz%2Fsystemy-pro-stacionarni-mazani-trati%2Fkolejnicovy-maznik-elektricky-mko-03%2F&psig=AOvVaw2YRv2sxLcBaLIuew2qD2GM&ust=1680712206313000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjRxqFwoTCMiJ54XTkP4CFQAAAAAdAAAAABAD>
- [2] Kapalná maziva okolků. In: *Bhmd.cz* [online]. Brno: Dopravní podnik města Brna, 2016 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.bmhd.cz/aktuality/aktualita.php?1353>
- [3] Tuhá maziva: Mazání okolků. In: *Sklenář-tribotechnika* [online]. 2020 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.sklenar-tribotechnika.cz/userfiles/product/prd-61-7.jpg>
- [4] *Sklenář, technologie pro kolejovou dopravu* [online]. 2024 [cit. 2024-06-24]. Dostupné z: <https://www.sklenar-tribotechnika.cz/cs/m-9-tuha-maziva-a-modifikatory-treni>
- [5] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, 2011. *Železniční aplikace - Řízení procesu tření ve vztahu kolo/kolejnice - Mazání okolků*. Květen 2011. ACRI - Asociace podniků českého železničního průmyslu, IČ 63832721, 2011.
- [6] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, 2011. *Železniční aplikace - Řízení tření mezi kolem a kolejnicí - Maziva pro aplikace na vozidla a trať*. Srpen 2013. Brusel: Evropský výbor pro standardizaci, 2012.
- [7] VOLTR, Petr a Stanislava LIBEROVÁ. *Faktory ovlivňující hodnocení výkonnosti tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice*. Pardubice, 2021.
- [8] VOLTR, Petr. *Amsler A 135*. 2024.
- [9] VOLTR, Petr, Abdulkadir ZIREK a Bekir Tuna KAYAALP. *Nové zkušenosti a poznatky z experimentálního měření adheze na zkušební stavu*. Pardubice, 2017.
- [10] FUJIFILM. *Fólie pro měření tlaku* [online]. 2024 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.fujifilm.com/us/en/business/industrial-materials/measurement-film/prescale/download>
- [11] VOLTR, Petr. *Modelování adhezní vazby kola a kolejnice v dynamice pohonu dvojkolí*. Pardubice, 2013. Disertační práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
- [12] VOLTR, Petr. *Měření a modelování adheze kola a kolejnice*. Pardubice, 2017. Habilitační práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Data z experimentálního měření tuhých maziv

Příloha č. 2 - Výkresová dokumentace (Tabulka 6)

Tabulka 6 – Seznam výkresové dokumentace

Označení výkresu	Název výkresu
A_001-01	Držák maziva
A_001-02	Držák maziva
B_001-01	Nosník_zátěž
B_002-01	Nosník_mazivo
B_003-01	Nosník_fixace
C_001-01-01	Ukazatel posunutí
C_002-01-01	Deska pro šroub
C_002-02-01	Uchycení maziva
C_003-01-01	Podložka
C_003-02-01	Fixační kostka
D_002-02-01-01	Upínací deska
D_002-02-02-01	Profil

**Příloha č. 1 - Data z experimentálního měření tuhých maziv**

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
					$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$
220303- 083714	1	15	0	4,2	153,69	0,50	0,53	0,27
220303- 083714	2	15	0	4,3	126,62	0,48	0,37	0,01
220303- 083714	3	15	0	4,2	133,71	0,81	0,45	0,06
220303- 083714	4	15	0	4,3	134,42	1,00	0,43	0,00
220303- 084500	5	15	18,3	4,3	130,25	0,70	0,45	0,00
220303- 084500	6	15	18,3	4,2	109,81	1,00	0,45	0,00
220303- 084500	7	15	18,3	4,3	116,91	0,60	0,53	0,86
220303- 084500	8	15	18,3	4,2	113,19	0,51	0,50	0,16
220303- 085134	9	15	108,7	4,2	95,89	0,94	0,35	0,07
220303- 085134	10	15	108,7	4,3	81,08	0,65	0,32	0,07
220303- 085134	11	15	108,7	4,3	75,82	0,75	0,28	0,06
220303- 085134	12	15	108,7	4,2	59,26	0,99	0,22	0,02
220303- 085134	13	15	108,7	4,3	78,90	0,59	0,25	0,03
220303- 085134	14	15	108,7	4,2	67,70	0,67	0,21	0,02
220303- 085134	15	15	108,7	4,2	57,54	0,67	0,21	0,02

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220303- 085134	16	15	108,7	4,3	61,33	0,68	0,19	0,03
220303- 085134	17	15	108,7	4,2	60,40	0,58	0,18	0,01
220303- 085134	18	15	108,7	4,2	57,03	0,63	0,20	0,01
220303- 085134	19	15	108,7	4,3	62,73	0,61	0,19	0,01
220303- 085134	20	15	108,7	4,2	47,56	0,67	0,18	0,01
220303- 085134	21	15	108,7	4,2	58,38	0,71	0,20	0,01
220303- 085134	22	15	108,7	4,3	56,01	0,75	0,18	0,01
220303- 085134	23	15	108,7	4,2	48,21	0,62	0,19	0,01
220303- 085134	24	15	108,7	4,3	44,40	0,82	0,18	0,00
220303- 085722	25	15	137,7	4,2	60,91	0,60	0,18	0,01
220303- 085722	26	15	137,7	4,2	68,91	0,46	0,19	0,04
220303- 085722	27	15	137,7	4,3	59,98	0,57	0,17	0,01
220303- 085722	28	15	137,7	4,3	53,20	0,61	0,17	0,02
220303- 085722	29	15	137,7	4,2	39,82	0,71	0,16	0,02
220303- 085722	30	15	137,7	4,3	45,04	0,82	0,15	0,01
220303- 085722	31	15	137,7	4,3	47,35	0,89	0,15	0,00
220303- 085722	32	15	137,7	4,2	42,38	0,46	0,18	0,03

## Hodnocení tuhých maziv pro kontakt kolo-kolejnice s využitím kladkového stavu

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220303-085722	33	15	137,7	4,3	42,62	0,76	0,16	0,01
220303-090048	34	15	108,7	4,2	55,76	0,64	0,14	0,01
220303-090048	35	15	108,7	4,3	55,98	0,50	0,16	0,02
220303-090048	36	15	108,7	4,3	59,27	0,47	0,16	0,02
220303-090048	37	15	108,7	4,2	55,83	0,47	0,17	0,04
220303-090048	38	15	108,7	4,3	54,67	0,50	0,17	0,03
220303-090048	39	15	108,7	4,3	47,68	0,59	0,16	0,02
220303-090048	40	15	108,7	4,2	44,76	0,69	0,16	0,02
220303-090048	41	15	108,7	4,2	51,36	0,58	0,16	0,03
220303-090048	42	15	108,7	4,3	60,75	0,48	0,16	0,03
220303-090420	43	15	18,3	4,2	35,34	0,47	0,16	0,03
220303-090420	44	15	18,3	4,2	38,23	0,63	0,17	0,03
220303-090420	45	15	18,3	4,3	35,24	0,75	0,16	0,02
220303-090420	46	15	18,3	4,2	39,38	0,57	0,17	0,02
220303-090420	47	15	18,3	4,3	39,38	0,57	0,17	0,02
220303-090420	48	15	18,3	4,3	33,88	0,62	0,16	0,02
220303-090420	49	15	18,3	4,3	37,24	0,56	0,17	0,03

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220303- 090420	50	15	18,3	4,2	36,48	0,53	0,16	0,02
220303- 090420	51	15	18,3	4,2	35,44	0,67	0,15	0,01
220303- 090420	52	15	18,3	4,3	40,39	0,57	0,15	0,02
220303- 090420	53	15	18,3	4,2	36,18	0,77	0,14	0,01
220303- 091310	54	15	18,3	4,3	28,99	0,53	0,13	0,02
220303- 091310	55	15	18,3	4,3	34,76	0,47	0,16	0,04
220303- 091310	56	15	18,3	4,2	33,20	0,59	0,16	0,04
220303- 091310	57	15	18,3	4,3	32,40	0,51	0,17	0,03
220303- 091310	58	15	18,3	4,2	32,48	0,49	0,16	0,03
220303- 091600	59	15	18,3	4,3	30,60	0,56	0,15	0,03
220303- 091600	60	15	18,3	4,3	35,37	0,38	0,19	0,04
220303- 091600	61	15	18,3	4,2	33,53	0,57	0,16	0,01
220303- 093128	62	15	18,3	4,3	151,96	1,00	0,44	0,00
220303- 093128	63	15	18,3	4,3	166,17	1,00	0,45	0,00
220303- 093400	64	15	18,3	4,3	145,61	1,00	0,46	0,00
220303- 093400	65	15	18,3	4,3	145,61	1,00	0,46	0,00
220303- 093400	66	15	18,3	4,3	145,61	1,00	0,46	0,00

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220303- 093724	67	15	18,3	4,3	85,04	0,73	0,39	0,12
220303- 093724	68	15	18,3	4,3	92,60	0,70	0,42	0,13
220303- 093724	69	15	18,3	4,3	79,12	1,00	0,40	0,07
220303- 093724	70	15	18,3	4,3	93,89	0,82	0,44	0,13
220303- 094052	71	15	18,3	4,2	82,69	0,79	0,39	0,14
220303- 094052	72	15	18,3	4,3	87,31	0,75	0,42	0,17
220303- 094052	73	15	18,3	4,3	101,17	0,61	0,44	0,16
220303- 094052	74	15	18,3	4,3	95,34	0,62	0,46	0,15
220314- 141522	75	15	18,3	4,3	116,34	0,57	0,31	0,00
220314- 141522	76	15	18,3	4,3	93,35	0,58	0,28	0,04
220314- 141522	77	15	18,3	4,2	70,63	0,48	0,28	0,08
220314- 141522	78	15	18,3	4,3	66,79	0,42	0,28	0,08
220314- 141522	79	15	18,3	4,2	69,56	0,39	0,29	0,08
220314- 141522	80	15	18,3	4,2	64,74	0,43	0,28	0,08
220314- 141522	81	15	18,3	4,3	76,76	0,45	0,28	0,06
220314- 141522	82	15	18,3	4,3	69,25	0,50	0,28	0,05
220314- 141522	83	15	18,3	4,2	77,87	0,65	0,25	0,06

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega0}$			
220314- 141522	84	15	18,3	4,3	95,73	0,45	0,28	0,08
220314- 141522	85	15	18,3	4,3	83,40	0,73	0,28	0,07
220314- 141522	86	15	18,3	4,2	88,04	0,67	0,29	0,08
220314- 141522	87	15	18,3	4,3	88,47	1,00	0,27	0,06
220314- 142213	88	15	108,7	4,3	54,33	0,80	0,26	0,06
220314- 142213	89	15	108,7	4,3	48,65	0,65	0,26	0,09
220314- 142213	90	15	108,7	4,3	83,45	0,61	0,21	0,04
220314- 142213	91	15	108,7	4,2	55,68	0,70	0,22	0,04
220314- 142213	92	15	108,7	4,3	53,23	0,77	0,21	0,03
220314- 142213	93	15	108,7	4,2	33,40	0,67	0,14	0,03
220314- 142213	94	15	108,7	4,2	41,61	0,66	0,13	0,02
220314- 142213	95	15	108,7	4,2	36,77	0,69	0,13	0,02
220314- 142213	96	15	108,7	4,2	33,33	0,68	0,14	0,02
220314- 142213	97	15	108,7	4,3	41,58	0,65	0,13	0,01
220314- 142213	98	15	108,7	4,3	30,06	0,62	0,15	0,02
220314- 142637	99	15	108,7	4,2	29,27	0,49	0,16	0,02
220314- 142637	100	15	108,7	4,2	28,58	0,76	0,17	0,02

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220314- 142637	101	15	108,7	4,2	29,00	0,62	0,17	0,02
220314- 142637	102	15	108,7	4,2	32,80	0,64	0,16	0,01
220314- 142838	103	9	108,7	4,2	33,68	0,61	0,16	0,02
220314- 142838	104	9	108,7	4,3	31,60	0,60	0,17	0,03
220314- 142838	105	9	108,7	4,3	31,50	0,71	0,17	0,02
220314- 142838	106	9	108,7	4,3	36,20	0,69	0,16	0,01
220314- 142838	107	9	108,7	4,2	31,19	0,98	0,16	0,01
220314- 142838	108	9	108,7	4,3	30,78	0,81	0,17	0,01
220314- 143149	109	5	108,7	4,2	29,84	0,71	0,16	0,02
220314- 143149	110	5	108,7	4,2	43,88	0,53	0,17	0,04
220314- 143149	111	5	108,7	4,2	42,64	0,51	0,17	0,02
220314- 143149	112	5	108,7	4,2	25,39	0,65	0,18	0,04
220314- 143350	113	25	108,7	4,3	33,66	0,48	0,17	0,03
220314- 143350	114	25	108,7	4,3	43,70	0,47	0,17	0,05
220314- 143350	115	25	108,7	4,3	42,41	0,56	0,17	0,02
220314- 143350	116	25	108,7	4,2	39,98	0,53	0,18	0,08
220314- 143545	117	35	108,7	4,3	25,39	0,58	0,16	0,05

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220314- 143545	118	35	108,7	4,3	25,79	0,54	0,18	0,06
220314- 143545	119	35	108,7	4,3	27,60	0,59	0,19	0,06
220314- 143545	120	35	108,7	4,3	29,43	0,69	0,17	0,02
220314- 143759	121	45	108,7	4,2	34,69	0,61	0,17	0,02
220314- 143759	122	45	108,7	4,3	37,76	0,50	0,19	0,04
220314- 143934	123	9	108,7	4,2	38,43	0,57	0,17	0,05
220314- 143934	124	9	108,7	4,3	41,23	0,62	0,18	0,04
220314- 143934	125	9	108,7	4,2	44,46	0,54	0,19	0,05
220314- 143934	126	9	108,7	4,3	38,25	0,53	0,20	0,06
220314- 143934	127	9	108,7	4,2	46,70	0,57	0,19	0,03
220314- 143934	128	9	108,7	4,3	40,20	0,70	0,18	0,04
220314- 145300	129	15	108,7	10,4	36,81	0,77	0,15	0,03
220314- 145300	130	15	108,7	10,4	41,66	0,58	0,16	0,05
220314- 145300	131	15	108,7	10,4	47,99	0,60	0,15	0,04
220314- 145300	132	15	108,7	10,3	46,05	0,73	0,14	0,01
220314- 145632	133	15	108,7	10,3	43,87	0,66	0,15	0,02
220314- 145632	134	15	108,7	10,3	39,90	0,54	0,15	0,04

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezní charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega0}$			
220314- 150052	135	15	108,7	10,3	40,99	0,68	0,14	0,02
220314- 150052	136	15	108,7	11,8	50,21	0,50	0,15	0,02
220314- 150052	137	15	108,7	11,8	45,25	0,62	0,14	0,02
220314- 150334	138	25	108,7	11,8	38,01	0,48	0,16	0,04
220314- 150334	139	25	108,7	11,8	37,78	0,64	0,15	0,03
220314- 150334	140	25	108,7	11,8	45,87	0,74	0,14	0,01
220314- 153058	141	15	108,7	11,8	43,76	0,79	0,14	0,02
220314- 153058	142	15	108,7	4,2	44,95	0,72	0,16	0,01
220314- 153058	143	15	108,7	4,3	48,87	0,64	0,18	0,02
220314- 153058	144	15	108,7	4,3	40,62	0,75	0,17	0,02
220314- 153058	145	15	108,7	4,3	46,37	0,65	0,17	0,02
220314- 153058	146	15	108,7	4,2	44,09	0,68	0,18	0,02
220314- 153058	147	15	108,7	4,3	38,39	0,84	0,17	0,01
220314- 153058	148	15	108,7	4,3	53,42	0,63	0,17	0,02
220314- 153058	149	15	108,7	4,3	49,12	0,62	0,18	0,02

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220622- 081605	150	15	0	4,3	34,10	0,05	0,18	0,01
220622- 085338	151	15	0	4,2	160,22	0,34	0,42	0,11
220622- 085338	152	15	0	4,2	106,04	0,61	0,40	0,10
220622- 085338	153	15	0	4,3	143,89	0,47	0,40	0,07
220622- 094954	154	15	108,7	4,3	73,64	1,00	0,35	0,07
220622- 094954	155	15	108,7	4,2	90,48	0,71	0,36	0,08
220622- 094954	156	15	108,7	4,3	119,43	0,56	0,37	0,09
220622- 094954	157	15	108,7	4,2	108,33	0,63	0,39	0,09
220622- 094954	158	15	108,7	4,3	92,80	0,86	0,34	0,05
220622- 095239	159	21	108,7	4,2	101,49	0,48	0,29	0,04
220622- 095239	160	21	108,7	4,2	73,78	0,73	0,28	0,03
220622- 095239	161	21	108,7	4,2	72,58	0,61	0,27	0,05
220622- 095239	162	21	108,7	4,2	68,83	0,80	0,25	0,02
220622- 095239	163	21	108,7	4,2	58,33	0,77	0,21	0,00
220622- 095955	164	30	108,7	4,3	41,24	0,45	0,20	0,03

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220622- 095955	165	30	108,7	4,3	46,13	0,59	0,20	0,03
220622- 095955	166	30	108,7	4,3	53,84	0,56	0,20	0,03
220622- 095955	167	30	108,7	4,2	49,87	0,54	0,21	0,03
220622- 095955	168	30	108,7	4,2	51,01	0,62	0,19	0,02
220622- 095955	169	30	108,7	4,2	52,75	0,55	0,20	0,02
220622- 104204	170	15	108,7	4,3	52,04	0,58	0,20	0,04
220622- 104204	171	15	108,7	4,3	62,89	0,50	0,21	0,04
220622- 104204	172	15	108,7	4,3	66,12	0,56	0,21	0,04
220622- 104204	173	15	108,7	4,3	69,58	0,49	0,21	0,04
220622- 105050	174	15	108,7	4,2	49,42	0,58	0,19	0,03
220622- 105050	175	15	108,7	4,2	57,91	0,54	0,19	0,02
220622- 105050	176	15	108,7	4,3	51,12	0,55	0,19	0,02
220622- 105050	177	15	108,7	4,2	53,82	0,64	0,18	0,02
220622- 105050	178	15	108,7	4,3	53,14	0,61	0,19	0,02
220622- 105050	179	15	108,7	4,3	48,87	0,81	0,17	0,01
220622- 105050	180	15	108,7	4,2	51,33	0,64	0,17	0,01
220622- 105050	181	15	108,7	4,3	52,30	0,62	0,17	0,01

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220622- 105050	182	15	108,7	4,3	50,46	0,58	0,17	0,01
220622- 105050	183	15	108,7	4,3	51,66	0,61	0,17	0,01
220622- 105050	184	15	108,7	4,3	51,44	0,60	0,17	0,01
220622- 105604	185	25	108,7	4,3	61,32	0,48	0,20	0,02
220622- 105604	186	25	108,7	4,3	64,68	0,48	0,19	0,02
220622- 105604	187	25	108,7	4,3	51,78	0,48	0,18	0,02
220622- 105604	188	25	108,7	4,3	58,78	0,51	0,18	0,01
220622- 105604	189	25	108,7	4,3	50,99	0,54	0,17	0,01
220622- 105604	190	25	108,7	4,3	59,49	0,48	0,19	0,02
220622- 105836	191	35	108,7	4,3	57,60	0,49	0,20	0,02
220622- 105836	192	35	108,7	4,3	54,27	0,58	0,19	0,01
220622- 105836	193	35	108,7	4,3	62,25	0,55	0,18	0,01
220622- 105836	194	35	108,7	4,2	65,87	0,51	0,17	0,01
220622- 105836	195	35	108,7	4,2	50,74	0,55	0,18	0,01
220622- 110414	196	15	199,2	4,2	50,40	0,67	0,19	0,02
220622- 110414	197	15	199,2	4,3	51,38	0,61	0,19	0,02
220622- 110414	198	15	199,2	4,3	58,05	0,59	0,20	0,02

Označení naměřených dat	Číslo měření	$v$	$F_{\text{přítlak}}$	$N$	Poláchův tvar adhezni charakteristiky			
		[km/h]	[N]	[kN]	P5			
		$c_{\mu s0}$	$\lambda$	$f_0$	$c_{f\omega 0}$			
220622- 110414	199	15	199,2	4,2	57,70	0,54	0,20	0,03
220622- 110414	200	15	199,2	4,2	54,80	0,66	0,20	0,02
220622- 110826	201	25	199,2	4,3	56,64	0,55	0,22	0,03
220622- 110826	202	25	199,2	4,2	66,08	0,72	0,21	0,03
220622- 110826	203	25	199,2	4,3	50,25	0,59	0,22	0,03
220622- 110826	204	25	199,2	4,3	48,63	0,63	0,20	0,02
220622- 110826	205	25	199,2	4,2	55,03	0,61	0,21	0,03
220622- 111030	206	35	199,2	4,2	55,12	0,66	0,22	0,02
220622- 111030	207	35	199,2	4,3	55,84	0,67	0,21	0,03
220622- 111030	208	35	199,2	4,2	50,53	0,79	0,21	0,02
220622- 111030	209	35	199,2	4,3	61,25	0,64	0,21	0,02
220622- 111030	210	35	199,2	4,3	64,84	0,63	0,20	0,02
220622- 111030	211	35	199,2	4,2	58,63	0,61	0,20	0,02
220622- 111030	212	35	199,2	4,3	53,93	0,66	0,19	0,02
220622- 111030	213	35	199,2	4,3	67,99	0,78	0,18	0,01
220622- 111030	214	35	199,2	4,3	45,41	0,75	0,19	0,01