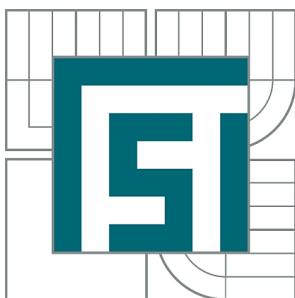


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## SKLADBA A POUŽITÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU K VÝZKUMU MAZACÍHO PŘÍSTROJE

STRUCTURE AND USE OF THE MEASURING SYSTEM FOR RESEARCH OF LUBRICATION  
DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROSTISLAV BRHLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. JOSEF NEVRLÝ, CSc.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Rostislav Brhlík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Skladba a použití měřicího systému k výzkumu mazacího přístroje**

v anglickém jazyce:

#### **Structure and Use of the Measuring System for Research of Lubrication Device**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh měřicího systému sloužícího k analýze mazacího přístroje pro mazání okolků kolejových vozidel s těmito parametry: sestavení měřicího systému, realizace série výzkumných měření - vyhodnocení naměřených dat. Práce bude řešena v kontaktu s výrobním podnikem, měření bude provedeno s různými mazivy.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Varianty konstrukčního řešení
5. Optimální konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Bibliografie

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva, výkres sestavení, fotografická dokumentace, laboratorní protokol, 3D digitální data (model), prezentační poster

Typ práce: konstrukční

Účel práce: výzkum a vývoj

Seznam odborné literatury:

Popelka M.: Měřicí systém pro analýzu tlakových poměrů v ostřikovém mazacím přístroji. Bakalářská práce, FSI VUT Brno, 2010

Štěnička P.: Stend pro analýzu přístroje k mazání okolků kolejových vozidel. Diplomová práce, FSI VUT Brno, 2010

Janovec L.: Mazání okolků kolejových vozidel ekologickými mazivy. Bakalářská práce, FSI VUT Brno, 2010

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

---

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá adaptací měřicího systému pro analýzu funkce děliče maziva. Pro určování vlastností mazacího systému je v rámci nového konstrukčního návrhu využito tlakoměrů, průtokoměrů a dynamických vah; je navržena i měřicí karta pro sběr dat a příslušný software. Dále je zpracována metodika měření a vyhodnocení dat. Při jejím stanovování se vychází z měření realizovaných na mazacím zařízení Tribotec OK - 02. Na závěr je uveden návrh kaskádního systému dělení mazací mlhy. Jedná se o nově navržený dělič s inovativním vnitřním uspořádáním. Cílem měření na navrženém systému je optimalizace, která povede k efektivnímu dělení mazací mlhy a nanášení potřebné dávky maziva na okolky.

## KLÍČOVÁ SLOVA

mazání okolků, měřicí systém, kaskádní systém dělení mazací mlhy, on-board mazací systém

## ABSTRACT

This work deals with an adaptation of the measuring system for the functional analysis of the lubricant divider. Within the new structural design, there were used manometers, flowmeters and dynamic scales to determine the properties of the lubrication system; data acquisition card and the appropriate software were designed too. The methodology of data measuring and analysis were also elaborated. The methodology is based on the experience from measuring, which was realized with the lubrication system OK - 02 from Tribotec Company. Finally, the cascade lubricant-dividing system was designed. This is a newly designed flow divider with an innovative internal layout. The aim of the proposed measurement system is an optimization that will lead to effective dividing of lubricating mixture and applying the necessary amount of lubricant to wheel flange.

## KEY WORDS

wheel flange lubrication, measuring system, cascade lubricant-dividing system, on-board lubrication system

### **Bibliografická citace mé práce:**

BRHLÍK, R. *Skladba a použití měřicího systému k výzkumu mazacího přístroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 44 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc..

---



---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci *Skladba a použití měřicího systému k výzkumu mazacího přístroje* vypracoval samostatně pod odborným vedením prof. RNDr. Ing. Josefa Nevrlého, CSc. a v seznamu uvádím všechny použité literární, odborné i jiné zdroje.

V Brně, dne 17. 5. 2013

.....  
podpis

---





---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. RNDr. Ing. Josefu Nevrlému, CSc. za odborné vedení, cenné rady i za trpělivost a veškerý věnovaný čas. Dále bych rád poděkoval za podněty a sdílení zkušeností některým zaměstnancům školy, jmenovitě především panu Ing. Zbyňkovi Streckerovi a panu Ing. Milanu Klapkovi, Ph.D. z Ústavu konstruování FSI, a panu Ing. Martinu Hudcovi z odboru Fluidního inženýrství FSI. Moje poděkování také směřuje ke všem, kteří mě při tvorbě této bakalářské práce podporovali, ať už to bylo radou, povzbuzujícím slovem nebo modlitbou.

---



<b>OBSAH</b> .....	<b>11</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 Trackside mazací systémy .....	14
1.2 On-board mazací systémy .....	16
<b>2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>20</b>
2.1 Formulace problému a jeho analýza, cíle práce .....	20
2.2 Postup řešení .....	21
<b>3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 Rozmístění prvků měřicího systému .....	22
3.2 Volba optimálních měřicích prvků .....	24
3.2.1 Tlakoměry .....	24
3.2.2 Průtokoměry .....	25
3.2.3 Dynamické váhy .....	27
3.3 Hardware a software pro sběr dat .....	28
3.4 Měřicí postup .....	28
3.5 Způsob vyhodnocení dat .....	30
<b>4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>31</b>
<b>5 DISKUZE</b> .....	<b>33</b>
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIE</b> .....	<b>37</b>
<b>8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b> .....	<b>41</b>
<b>9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>10 SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>43</b>
<b>11 SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>44</b>

**ÚVOD**

Psal se rok 1803, když britský inženýr a konstruktér Richard Trevithick dokončil výrobu první parní lokomotivy na světě. Jeho nápad pak zdokonalil George Stephenson a od té doby rozvoj železniční dopravy raketově rostl [1].

S nástupem automobilové a letecké dopravy v posledních desetiletích význam železnice sice poklesl, přesto však má železnice stále nenahraditelné místo v dopravě většího množství zátěže na delší vzdálenosti a například v Rusku nebo Číně stále tvoří nejdůležitější způsob dopravy [2]. Její ekonomičnost je dána nízkým aerodynamickým odporem vzhledem k velkému množství vozů zapojených za sebou a především nízkým valivým odporem mezi povrchy kola a kolejnice. Pro technologický rozvoj se pak logicky otevírá cesta v oblasti zlepšování konstrukce vozů a m. j. optimalizace procesu tření mezi různými částmi kola a kolejnici. Existují sice i jiné systémy pojezdu, např. maglev (tj. magnetická levitace), avšak jejich většímu rozšíření brání příliš vysoké stavební náklady na nové speciální tratě [3]. Hnacím impulzem pro další vývoj mazacích systémů je pak hlavně ekonomický nátlak spolu s požadavkem komfortu.

Zejména účinným mazáním lze docílit výrazných pozitivních výsledků hned v několika oblastech. Výzkum ukazuje, že použitím mazání lze výrazně snížit velikost některých sil působících v kontaktu a snížit hladinu akustického tlaku o více než 20 dB [4]. Vlivem mazání je tedy dosaženo menšího opotřebení kol i kolejníc a zároveň je okolí trati méně obtěžováno nepříjemným hlukem. Výrobce mazacích systémů a ložisek SKF uvádí, že American Association of Railroads odhaduje roční ztráty, způsobené neefektivním mazáním železničních okolků, na více než 2 miliardy USD [5]. Další výzkum pak prokázal, že mazáním železničních okolků lze snížit náklady na palivo pro dieselové lokomotivy až o 32% (tab. 1) [6].

Tab. 1 Energetické úspory při různých způsobech aplikace maziva do kontaktu kolejníc a kola [6]

Lubricating System	Efficiency (gal/MGT)	Savings over Dry Rail
Dry Rail	6000	n/a
Wayside Lubricator-active	4100	32%
1-in-4 Lub. car		
Graphite	4800	20%
Low Graphite	5300	11%
Hy-Rail Vehicle (1-in-35 trains)	5500	8%
On Board	5140	14%

Note: MGT= million gross tons

Je tedy evidentní, že mazání okolků se významně podílí na efektivitě a hospodárnosti železniční dopravy a jeho vývoj a optimalizace patří k zásadním požadavkům dnešní doby.

## 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

**1**

Vývojem a výrobou mazacích systémů pro mazání okolků se zabývá vícero firem a existují také různé způsoby, jak tento proces provádět, které lze rozdělit do několika kategorií.

Nejjednodušší, avšak také logicky nejméně využívaný způsob mazání je ruční aplikace pomocí relativně jednoduchého přístroje. Česká firma Sklenář, s. r. o., nabízí ve spolupráci s kanadskou firmou Kelsan Technologies ruční aplikátor TRALUB (obr. 1.1), který za pomoci peristaltického čerpadla a mikroporézní pryže na vodícím kole nanáší rovnoměrnou vrstvu tekutého maziva na pojížděnou hranu kolejnice. S tímto aplikátorem je pak možné mazat i okolek nebo jízdní plochu kolejnice [7].



Obr. 1.1 Ruční aplikátor maziva TRALUB [7]

Americká firma L.B. Foster Company od sloučení s britskou firmou Portec Rail Products Inc. produkuje systém ROAD-RUNNER. Jedná se o mazací systém schopný mazat vrchní i boční část kolejnice, který je upevněn na menším nákladním autě (obr. 1.2). Elektricky poháněná čerpadla dopravují ze zásobníku mazivo na kolejnice. Výrobce vyvinul patentovaný tvar výstupních trysek (obr. 1.3), které neustále kopírují kolejnici bez ohledu na její zakřivení či kolísání hmotnosti a rychlosti vozidla během celého procesu mazání [8], [9].



Obr. 1.2 Mazací systém ROAD-RUNNER [8]



**Obr. 1.3** Detail výstupních trysek mazacího systému ROAD-RUNNER [9]

Oba tyto způsoby aplikace maziva mohou najít uplatnění především na krátkých lokálních tratích, kde se nevyplatí investovat do modernějších mazacích systémů. Jejich průmyslové využití je však minimální.

## 1.1

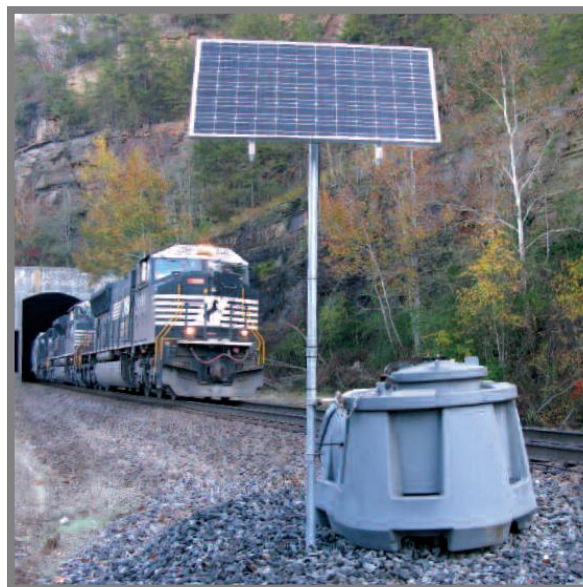
### 1.1 Trackside mazací systémy

Mnohem praktičtější způsob mazání okolků, který je už i zároveň často využíván pro frekventované tratě, představují tzv. trackside mazací systémy, někdy také označované výrobci jako wayside mazací systémy. Jsou to statické jednotky umístěné přímo u kolejí a poháněné nejčastěji fotovoltaickými panely. Z čerpací stanice, která obsahuje zásobník maziva a čerpadlo, je mazivo přes hadice a děliče dopravováno až k dávkovací desce připevněné podélně na boční stranu kolejnice.

Jedním z největších výrobců mazacích systémů tohoto typu je americká firma Lincoln Industrial (nyní již člen skupiny SKF). Systém Lincoln Wayside Lubricator (obr. 1.4 a 1.5) efektivně dávkuje konzistentní objem maziva a zaručuje zároveň jak snížení tření mezi okolkem a kolejnicí, tak i zároveň nemožnost prokluzu [10].

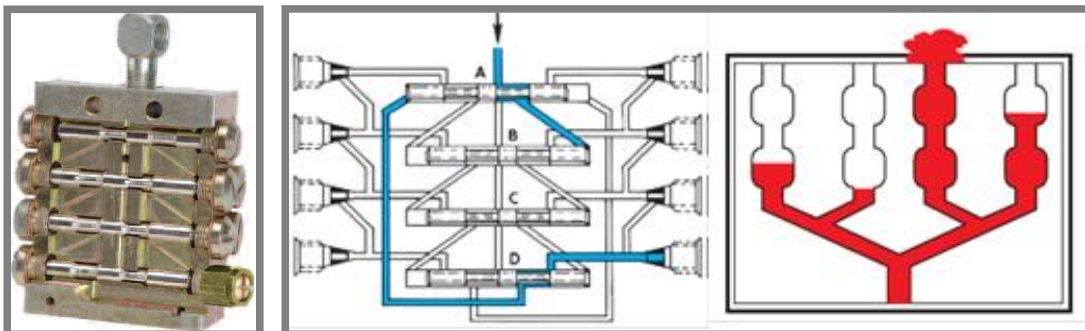


**Obr. 1.4** Detail dávkovací desky systému Lincoln Wayside Lubricator [10]



**Obr. 1.5** Systému Lincoln Wayside Lubricator [10]

Specifickou součástí tohoto systému, která jej odlišuje od konkurence, je pak speciální patentovaný SSV dělič (obr. 1.6). Jedná se progresivní rozdělovač maziva, který zaručuje především postupné rovnoměrné rozdělení maziva k jednotlivým kolejnicím (obr. 1.7) [10].



Obr. 1.6 SSV dělič [10] Obr. 1.7 Srovnání SSV děliče firmy Lincoln Industrial a běžných děličů [10]

Podobný mazací systém nabízí pod názvem StaTrack také firma Bijur Delimon. K dispozici jsou dva různé styly zapojení. Decentralizované zapojení disponuje čerpadlem pro každou kolej zvlášť a je vhodné pro běžné použití. Centralizované zapojení systému je tvořeno pouze jedním společným čerpadlem a je vhodné do míst s vysokou koncentrací dopravy na malém prostoru. Jsou k dispozici také různé konstrukce a tvary skříně čerpadla [11].

V nabídce již zmiňované firmy L.B. Foster Company lze nalézt systém PROTECTOR IV (obr. 1.8). Jedná se o moderní systém obsahující dělič průtoku nebo dvojité elektricky poháněné čerpadlo zajišťující vyváženou distribuci maziva ke kolejnici [8]. Výrobce také produkuje mazací systém zcela totožných parametrů, jehož čerpadlo je však poháněno hydraulicky (obr. 1.9). Ten je prodáván pod názvem 761 Hydralaube a na tratích s průměrnou provozní rychlostí 40 – 80 km·h<sup>-1</sup> dosahuje větší účinnosti [8].



Obr. 1.8 Mazací systém PROTECTOR IV [8]



Obr. 1.9 Mazací systém 761 Hydralaube [8]

Trackside mazací systémy s názvem Lubricurve 10-20 a Lubricurve 50 produkuje také britská firma QHi Rail Ltd. Konstrukčně se velmi podobají výrobkům výše zmíněným, zvláštností je pak možnost volitelného napájení formou malé větrné turbíny [12]. Podobné produkty pak lze nalézt i u několika dalších společností, jako je francouzský Dipostel [13] nebo americký U. S. Train Products [14].

Trackside mazací systémy mají vzhledem ke své stavbě a vlastnostem předpoklad využití především u lokálně problémových míst, jako jsou zatáčky na jinak téměř rovných tratích nebo u míst, kde se z různých jiných důvodů nevyplatí investovat do mazacích systémů umístěných přímo na lokomotivách.

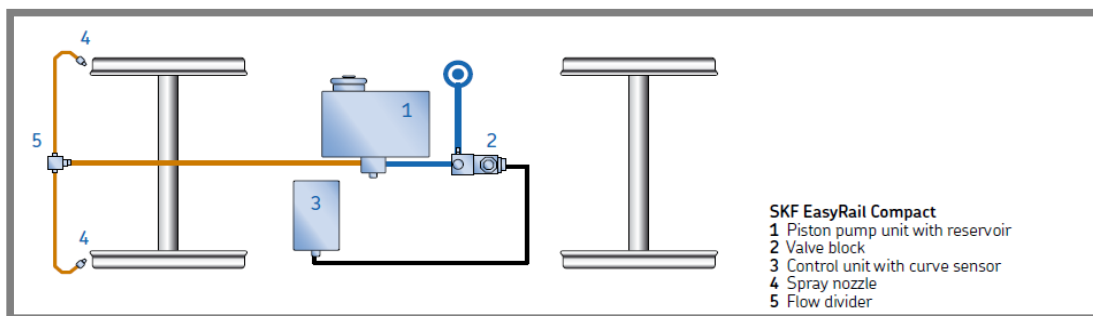
## 1.2

## 1.2 On-board mazací systémy

Nejprogresivnější způsob dopravy maziva do kontaktu kola a kolejnice skýtají tzv. on-board mazací systémy. Společným rysem je umístění přímo na železničním vozidle a většinou také doprava maziva na okolky pomocí trysek umístěných přímo u kol. Tyto systémy jsou nejčastěji poháněny stlačeným vzduchem.

K nejvýznamnějším hráčům na poli on-board mazacích systémů patří bezesporu švédské SKF. Tato firma postupně koupila firmu Lincoln Industrial produkující trackside mazací systémy i německou firmu Vogel, jejíž on-board mazací systémy si již dávno získaly skvělou pověst. V současné době produktová řada on-board systémů SKF pro mazání okolků zahrnuje celkem 5 modelů, které se dají rozdělit do tří skupin.

Do první skupiny lze zahrnout systém SKF EasyRail Compact (obr. 1.10). Je určen pro mazání přední nápravy vozidla, přičemž se mazivo ulpívající na kolejnici následně dostává do kontaktu i s ostatními koly. Mazivo je hned za dávkovacím čerpadlem směřováno se vzduchem a následně přes dělič průtoku vedeno k jednotlivým výstupním tryskám [15].



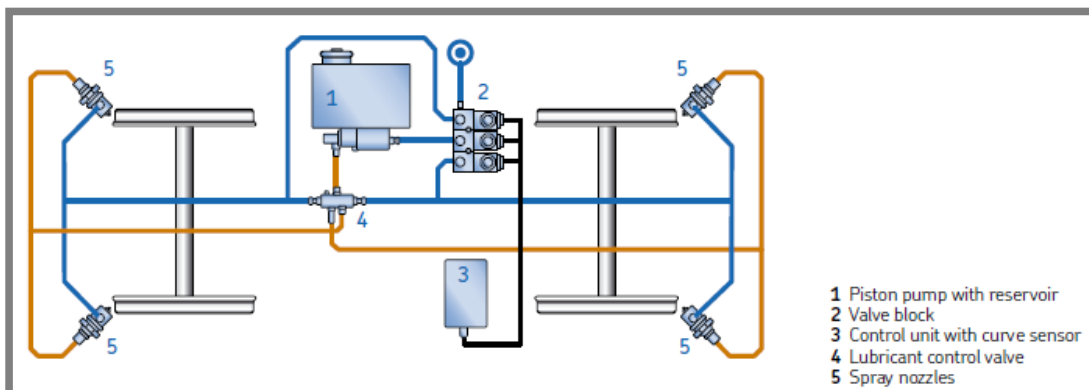
Obr. 1.10 Mazací systém SKF EasyRail Compact [15]

Druhou skupinu tvoří mazací systémy SKF EasyRail High Pressure (obr. 1.12), SKF EasyRail Low Pressure a SKF EasyRail Track. Používají se pro mazání jedné nebo obou náprav a společnou specifikací je směřování maziva se vzduchem až přímo ve výstupní trysce (obr. 1.11) [15].



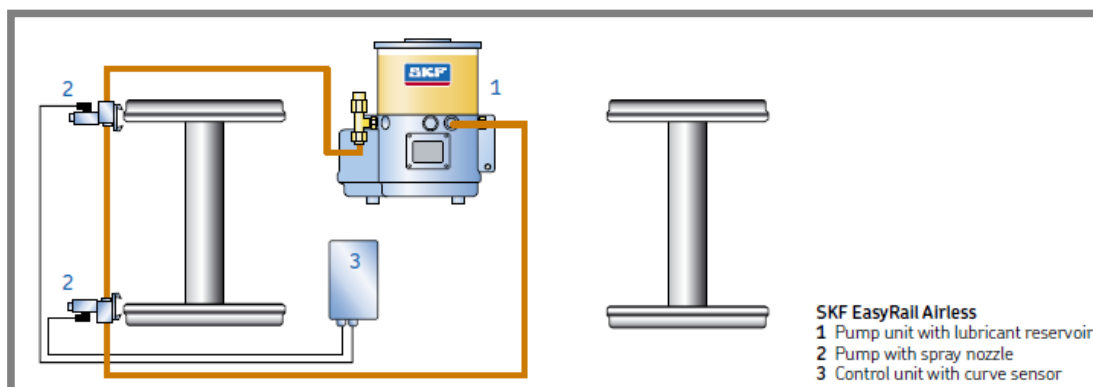
Obr. 1.11 Výstupní směšovací tryska SP9-2 [16]





Obr. 1.12 Mazací systém SKF EasyRail High Pressure [15]

Poslední skupinu tvoří nový mazací systém SKF EasyRail Airless (obr. 1.13). Od ostatních on-board systémů této firmy se odlišuje především tím, že nepotřebuje pro svoji funkci přívod stlačeného vzduchu, nýbrž je tlak maziva vytvářen elektromagneticky poháněným čerpadlem. Další čerpadla jsou pak těsně před tryskami a spolu se systémem ohřevu zajišťují dávkování maziva za jakýchkoliv teplotních podmínek. Absence závislosti na přívodu stlačeného vzduchu pak z tohoto systému dělá ideální výrobek pro tramvaje [15]. Z důvodu zajímavosti a progresivity tohoto systému byl výrobce autorem této bakalářské práce kontaktován za účelem zjištění dalších informací, avšak bohužel na dotazy nereagoval.



Obr. 1.13 Mazací systém SKF EasyRail Airless [15]

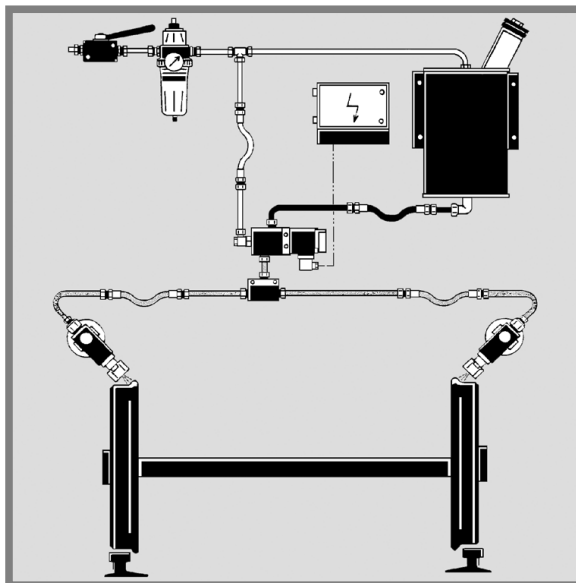
I v této oblasti se prosazuje se svými výrobky firma L.B. Foster Company a její systém je unikátní především použitím suchého maziva Kelsan LCF ve formě tyčinek (obr. 1.14). To se aplikuje přímo na vnější bok okolku kola, kdy je tyčinka vytlačována pomocí pružiny z aplikátoru a tak se nanáší tenký film maziva (tloušťky 5  $\mu\text{m}$ ) do míst v blízkosti dotykové kružnice. Mazivo se dále přenáší z okolku kola na kolejnici přesně v místě vzájemného dotyku a z kolejnice i na následující kola. Výrobce pak ubezpečuje, že svými výsledky toto tuhé mazivo předstihuje všechny typy maziv na trhu [17].



Obr. 1.14 Aplikace tuhého maziva Kelsan LCF [8]

Firma Bijur Delimon produkuje klasický on-board mazací systém Railjet poháněný stlačeným vzduchem, přičemž ve směšovači vzniká mazací mlha vedená přes rozdělovač až k postřikovacím tryskám [11].

Z tohoto systému pak vychází i mazací systém Railjet (obr 1.15) české firmy Špondr CMS. Stlačený vzduch pohání dávkovací čerpadlo a zároveň je směšován s dávkou maziva a rozváděn k okolkům s využitím děliče a vysokotlakých hadic [18].



Obr. 1.15 Mazací systém Railjet [18]

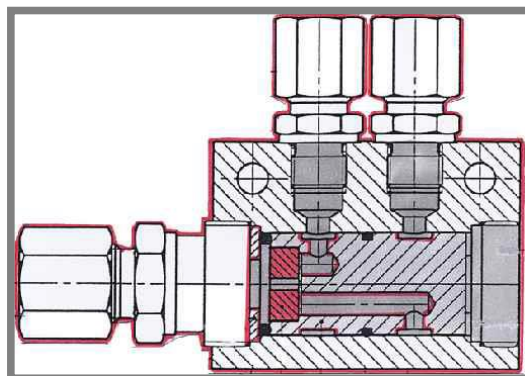
Druhým českým zástupcem v této oblasti je česká firma TRIBOTEC, s r.o., v jejímž sortimentu lze nalézt dva systémy pro mazání okolků OK – 01 a OK – 02 (obr. 1.16). Prvně jmenovaný je určen pro mazání okolků tramvají a tlak vzduchu pro fungování celého systému je vytvářen elektricky poháněným kompresorem, druhý pak slouží pro mazání okolků lokomotiv a předpokládá přívod stlačeného vzduchu jako součást zařízení lokomotivy. Oba mazací systémy se dále liší ještě použitím děliče v případě systému OK – 01, systém OK – 02 pracuje bez něj a mazivo je po smíšení

se vzduchem rovnou vedeno přes trysku na okolek. Vzhledem k absenci dalších mechanických dílů jsou systémy předurčeny ke spolehlivému provozu, oba jsou pak navíc doplněny o funkci čištění profukem [19].



Obr. 1.16 Mazací systém OK – 02 [19]

Neobvyklý on-board mazací systém FluiLub nabízí výrobce BEKA. Jeho nejzajímavější částí je netradiční patentovaný směšovač (obr. 1.17), jehož úkolem je vytvářet mazací mlhu. Obsahuje totiž porézní vložku, která při průchodu maziva hnaného stlačeným vzduchem toto pohltí a rozdělí na malinké kapičky (0,15 mm a menší). Směšovací poměr pak zůstává homogenní a výsledná mazací mlha je unášena stlačeným vzduchem k tryskám [20].



Obr. 1.17 Směšovač používaný v systémech FluiLub [20]

Dalšími firmami, které produkují on-board mazací systémy jsou německá firma REBS [21] nebo americká firma U. S. Train Products [14]. Zvláštností systému druhé zmíněné společnosti je využití pouze satelitní navigace GPS pro detekování oblouku [14], zatímco ostatní firmy preferují tento způsob doplněný i o další senzory vyhodnocující zakřivení kolejnic, umístěné přímo na vozidle [16].

## 2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 2.1

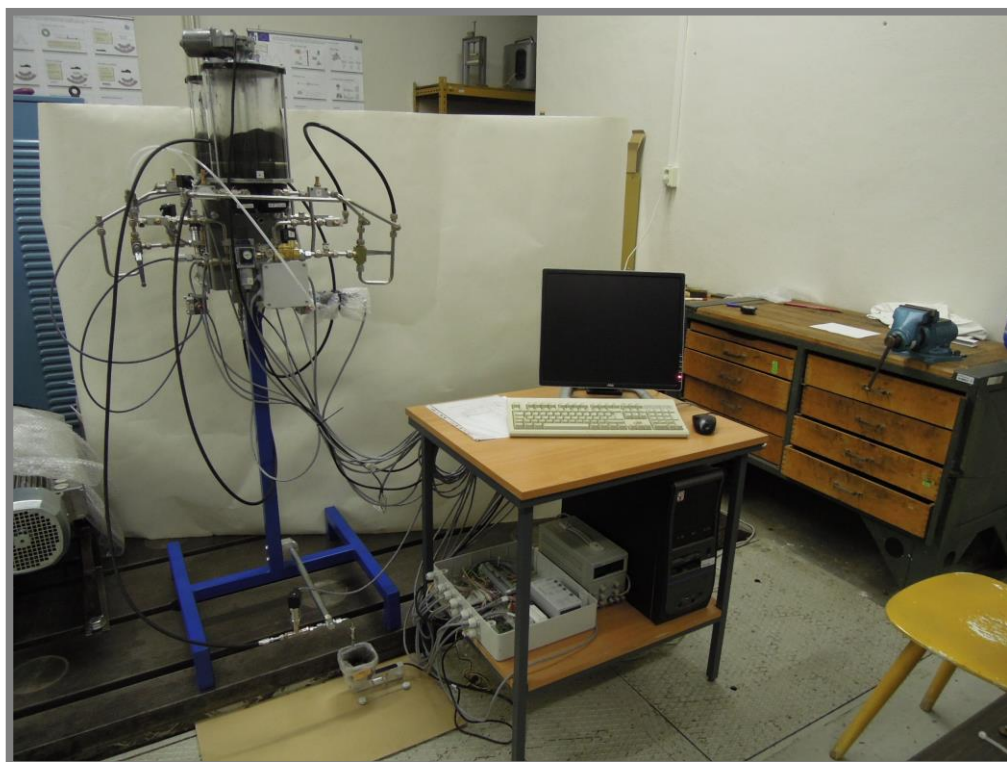
#### 2.1 Formulace problému a jeho analýza, cíle práce

Mazání okolků se stává v dnešní době stále více nutným a žádaným při provozu kolejových vozidel a jako takové je v centru pozornosti mnoha firem zabývajících se mazáním a výrobou mazacích systémů. Nabízí se zde také stále velký lukrativní prostor pro výzkum, ať už jde o samotný proces mazání nebo vývoj či optimalizaci jednotlivých mazacích systémů.

Vývojem a výrobou mazacích systémů pro mazání okolků se zabývá i české firma TRIBOTEC, s.r.o., která již delší dobu úspěšně spolupracuje v oblasti této problematiky s Ústavem konstruování FSI. V poslední době byl řešen zejména návrh měřicího systému pro mazací systém OK - 02. Jeho spolehlivé chování je pak také primární podmínkou pro následný výzkum tribologických aspektů v kontaktu kolejnice a železničních kol.

Mazací systém OK - 02 je určen k mazání okolků lokomotiv a tramvají převážně s obousměrným provozem. Je to mazací systém, u kterého mazivo rozptýlené ve vzduchu je nastříkáváno přímo na okolky. Olejová mlha se tvoří ihned v mazacím přístroji a dále je rozváděna k tryskám bez použití dalších pohyblivých mechanických dílů, které mohou být zdrojem poruch [19].

V roce 2012 byla prováděna na Ústavu konstruování měření tohoto systému v rámci projektu „Výzkum a vývoj adaptivního systému mazání okolků kolejových vozidel“. S využitím diplomové práce Petra Štěničky [22] a bakalářské práce Michala Popelky [23] byly vybrány měřicí senzory a zkonstruováno měřicí zařízení (obr. 2.1).



Obr. 2.1 Měřicí zařízení používané v roce 2012 k výzkumu mazacího systému OK – 02 [24]

Pro měření byly na základě pracovních podmínek mazacího systému vybrány čtyřiceticyklové série při režimu mazání 2 sekundy mazání a 2 sekundy přerušení dávkování maziva. Z určitého počtu vzorků naměřených hodnot tlaků a hmotností maziva vystříknutého jednotlivými tryskami byly pak stanovovány střední hodnoty, které byly následně statisticky vyhodnoceny [24].

Na základě těchto měření vyplynula nutnost navrhnout nový dělič průtoku mazací mlhy. Z tohoto důvodu bylo žádoucí měřicí systém upravit a uzpůsobit jej na případné proměření nového rozdělovače maziva. Taktéž se předpokládá budoucí měření jiných mazacích systémů i od jiných výrobců, proto bylo nutné měřicí systém připravit i na tuto skutečnost.

Cílem této práce pak tedy byla především adaptace měřicího systému pro analýzu funkce děliče maziva spočívající v konstrukčním návrhu a stanovení metodiky měření a vyhodnocení dat. V rámci modifikace bylo navrženo nové uspořádání laboratorního měřicího systému, byly stanoveny veličiny, které by měly být měřeny a vybrány senzory, kterými by toto měření mohlo být provedeno. Byl také navržen způsob vyhodnocení získaných dat. Veškeré návrhy byly prováděny s ohledem na plánované měření s mazivy o různé viskozitě.

## 2.2 Postup řešení

V první fázi bylo navrženo obecné konstrukční uspořádání celého měřicího systému, přičemž bylo nutné dbát především na správné umístění jednotlivých měřicích zařízení.

Pro určování vlastností mazacího systému bylo třeba použít senzory tlaku a průtoku. Bylo nutné vybrat z různých vyráběných typů ty, které jsou nejvhodnější pro použití v specificky pracujícím mazacím zařízení. S jejich pomocí lze pak sledovat chování celého systému a provádět optimalizaci, jež povede k efektivnímu dělení mazací mlhy a nanášení potřebné dávky maziva na okolky. Zároveň bylo nutné najít vhodnou měřicí kartu pro sběr dat a příslušný měřicí software.

Dalším úkolem byl návrh měřicího postupu. Byly stanovovány hodnoty tlaku, průtoku a v neposlední řadě hmotnosti maziva vystříkovaného z jednotlivých trysek. Při určování počtu mazacích cyklů je užitečné vycházet z hodnot, které jsou u mazacího zařízení již nastaveny výrobcem pro jeho použití v praxi. Bylo sledováno chování systému při regulaci průtoku mazací mlhy jednotlivými částmi rozvodného potrubí navrženého kaskádního systému dělení mazací mlhy. Měření byla navržena pro maziva o různé viskozitě a s různým zapojením dělicích cest.

Proces směšování, dělení a dávkování maziva je sice periodicky se opakující, avšak z důvodu jeho poměrně krátkého časového průběhu jej nelze považovat za přesně opakovatelný děj. Proto bylo nutné naměřená data zpracovat statisticky. Vzhledem k přechodovým dějům a objemu dat není vhodné vyhodnocovat vždy všechny hodnoty od prvního do posledního cyklu, ale nabízí se možnost empiricky vymežit určitý rozsah vzorků mezi některými cykly a následně pracovat s jejich středními hodnotami.

Pozornost byla zaměřena především na hodnoty dynamického účinku výstřiku směsi a na rovnoměrnost dělení maziva mezi výstupní cesty děliče.

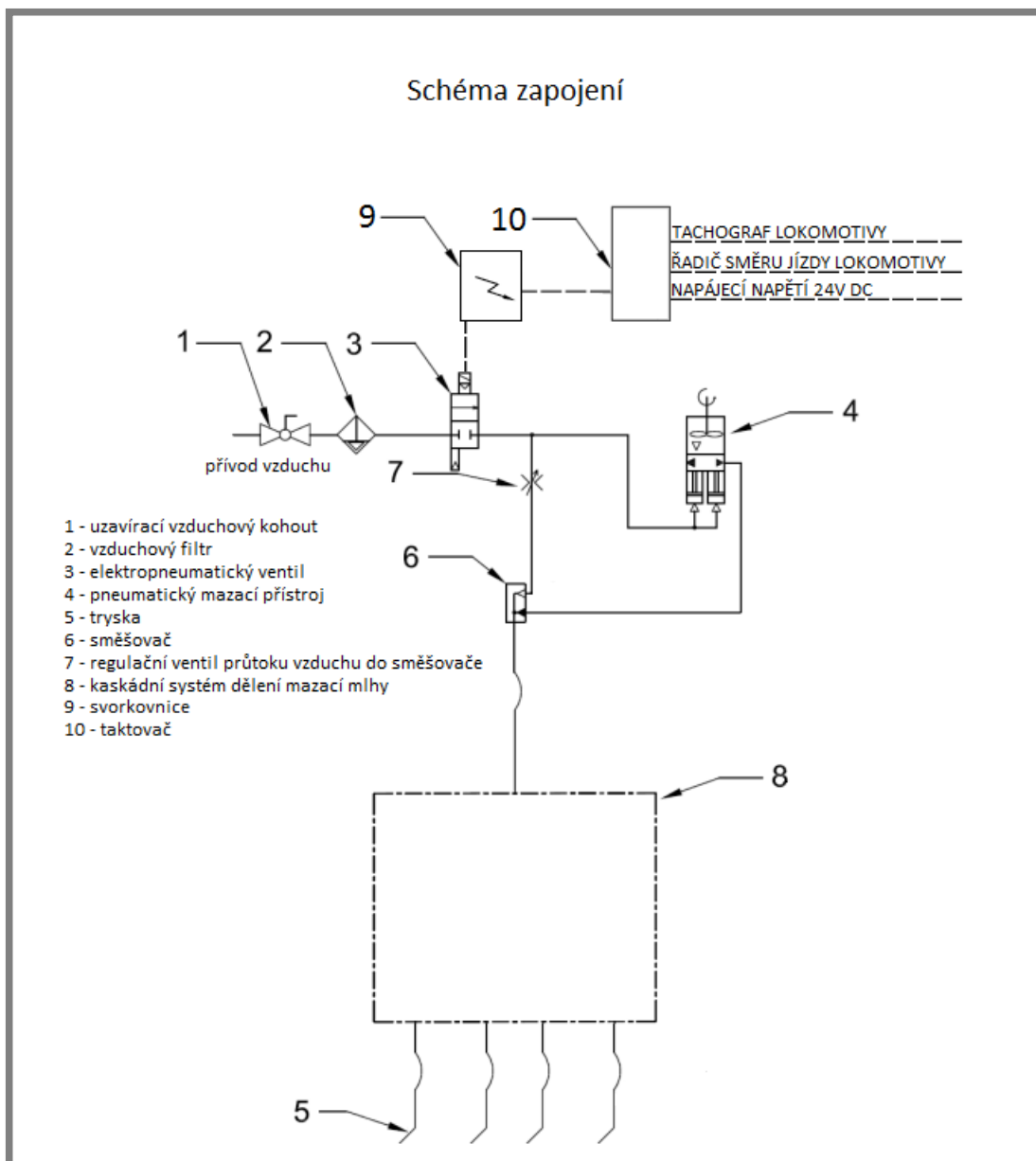
### 3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

#### 3.1

#### 3.1 Rozmístění prvků měřicího systému

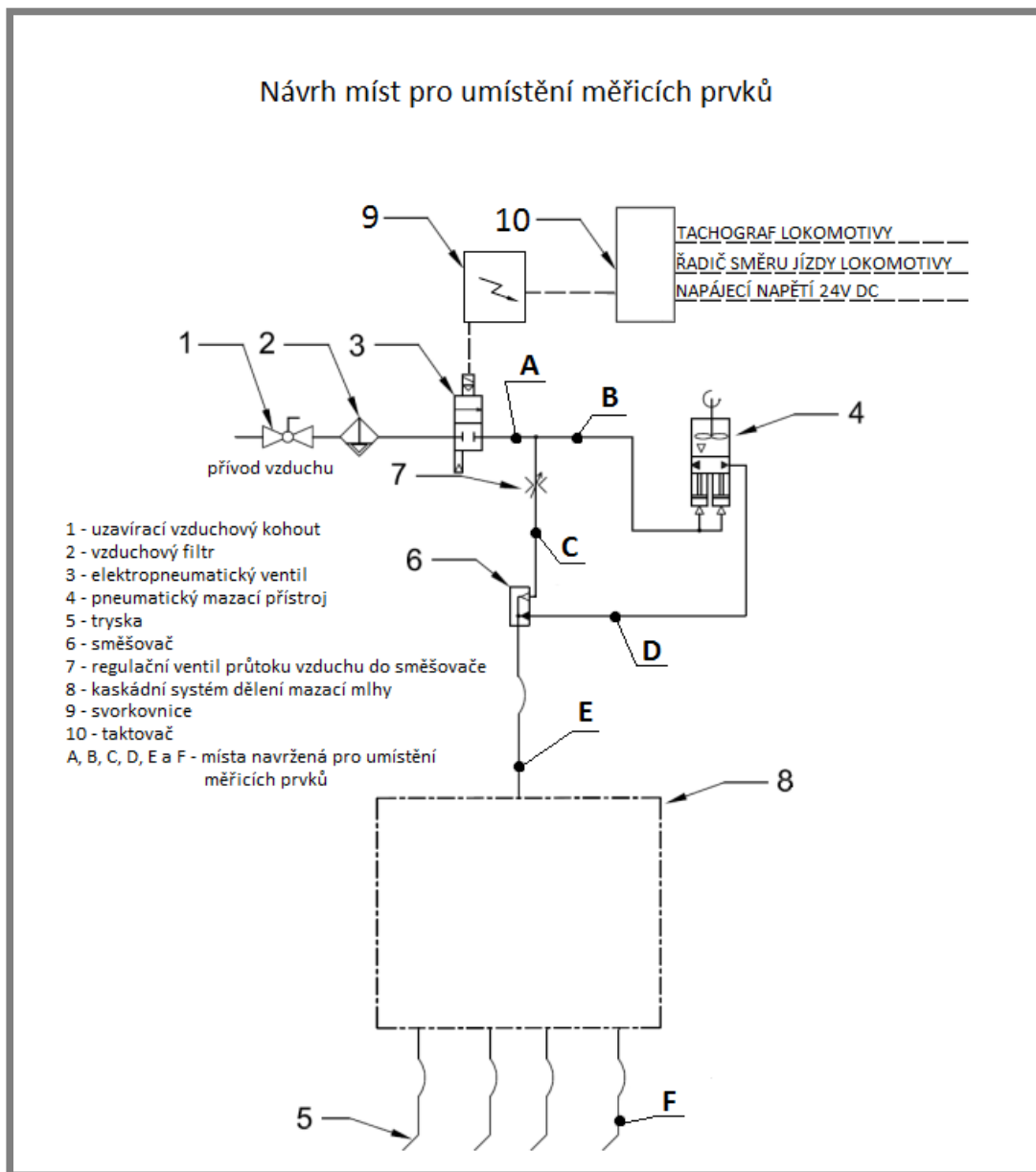
Nabízí se několik způsobů zapojení mazacího systému při jeho provozu. Firma TRIBOTEC, s.r.o., využívá různá zapojení mazacího přístroje pro tramvaje a pro lokomotivy. Varianty se od sebe liší především použitím rozdělovače maziva v případě zapojení pro tramvaje. Pro měření bude využito zapojení pro tramvaje.

Schéma zapojení bylo pak nově doplněno o kaskádní systém dělení mazací mlhy. Jeho nejjednodušší forma je na obr. 3.1 (viz příloha). Jedná se o dělič průtoku předběžně navržený tak, že u něj postupně dochází k větvení bez nepotřebných změn směru a průřezu vedení (viz příloha). Tím je dosaženo značného snížení hydraulických odporů a současně i nasměrování toku mazací mlhy.



Obr. 3.1 Schéma zapojení

Poté byla stanovena strategická místa pro instalaci měřicích prvků (obr. 3.2) a byly k nim následně vhodné měřicí prvky přiřčleněny.



Obr. 3.2 Návrh míst pro instalaci měřicích prvků

Úplné schéma zapojení (obr. 3.1) i schéma návrhu pro umístění měřicích prvků (obr. 3.2), doplněné o vizualizaci vnitřních částí kaskádního systému dělení mazací mlhy, je umístěno v příloze, protože na kaskádní systém dělení mazací mlhy je v současné době podána patentová přihláška u Úřadu průmyslového vlastnictví.

### Měřicí prvky za elektropneumatickým ventilem v místě A

Za místem přívodu stlačeného vzduchu do mazacího systému bude umístěn snímač tlaku, neboť stlačený vzduch celý mazací systém pohání a jeho tlak tedy ovlivňuje jak tvorbu mazací mlhy v směšovači, tak také její následné rozdělování v děliči.

Za elektropneumatický ventil není nutné umístit snímač průtoku vzduchu, protože proud stlačeného vzduchu je následně rozdělován a není plně využit k tvorbě a dělení mazací mlhy.

### **Měřicí prvky před pneumatickým mazacím přístrojem v místě B**

Určité množství stlačeného vzduchu proudí k pneumatickému mazacímu přístroji, který poháněn tímto stlačeným vzduchem, následně vytlačuje dávku maziva. V těchto místech není nutné znát hodnoty tlaku ani průtoku vzduchu, neboť množství maziva dávkovaného pneumatickým mazacím přístrojem je dáno jeho mechanickým nastavením. Proto na větev přivádějící stlačený vzduch do pneumatického mazacího přístroje nebudou umístěny žádné měřicí prvky.

### **Měřicí prvky před směšovačem vzduchu a maziva v místech C a D**

Před směšovač se umístí snímače průtoku vzduchu (místo C) a maziva (místo D), protože hodnoty průtoku maziva i vzduchu zásadně ovlivňují vlastnosti tvořené mazací mlhy stejně jako její následné dělení. Jelikož bude při měření kladen důraz především na stanovení charakteristik děliče maziva, není nutné před směšovač vzduchu a maziva umístit tlakoměr.

### **Měřicí prvky před kaskádním systémem dělení mazací mlhy v místě E**

Před dělič průtoku je vhodné umístit snímač tlaku. Znalost hodnoty tlaku mazací mlhy v tomto místě je nutná pro analýzu činnosti děliče. Průtokoměr zde není nutné umístit, neboť hodnoty průtoku vzduchu i maziva se změní před směšovačem.

### **Měřicí prvky za kaskádním systémem dělení mazací mlhy v místě F**

Za dělič průtoku již není nutné umístit tlakoměry ani průtokoměry, neboť směrodatná je v těchto místech především hmotnost maziva vystříknutého jednotlivými tryskami a rovnoměrnost jeho rozdělení mezi jednotlivé trysky. Tyto hodnoty se budou určovat pomocí dynamických vah.

---

## 3.2

### **3.2 Volba optimálních měřicích prvků**

I když měřicí prvky byly již dříve navrženy [22] [23], vzhledem k jejich neustálému vývoji a rozšiřování nabídky jednotlivých firem bylo vhodné provést novou vlastní rešerši a rovněž posoudit dosud používané měřicí prvky.

---

### 3.2.1

#### **3.2.1 Tlakoměry**

Snímače tlaku musí spolehlivě měřit hodnotu tlaku vzduchu i mazací směsi a nesmí zároveň ovlivňovat jejich pohyb skrze větve mazacího systému.

#### **Typ tlakoměru**

Obecně lze tlakoměry rozdělit na hydrostatické, silové, deformační, elektromechanické a elektrické tlakoměry pro extrémní tlaky [25].

Prvně zmíněné mají příliš malý měřicí rozsah a jejich použití tudíž není vhodné [25]. U silových tlakoměrů se měření tlaku převádí na měření síly, jejíž účinky jsou vyvažovány např. pružinou nebo závažím [25]. Z tohoto důvodu tyto senzory nejsou



vhodné pro měření krátkých rychlých dějů v mazacím systému, neboť nedojde k ustálení pohybu vyvažovacího prvku.

Deformační tlakoměry využívají skutečnosti, že vlivem působení tlaku dochází k pružné deformaci tlakoměrného prvku. Ta pak přes mechanický převod způsobuje pohyb ukazatele na stupnici. V případě tlakoměrného prvku ve formě membrány je tlakoměr vhodný i pro měření rychlých pulsujících tlaků [25]. Nevýhodou je absence digitálního výstupu.

Tento problém lze vyřešit přidáním vhodného senzoru s elektrickým výstupem [26] nebo nahrazením membrány několika disky z piezokeramiky, čímž vznikne piezoelektrický tlakoměr [27]. Ten se vyznačuje především nízkou odezvou vlivem příznivých dynamických vlastností, což jej předurčuje pro použití při měření rychlých tlakových dějů. Vzhledem k těmto skutečnostem se jeví piezoelektrický tlakoměr jako nejvhodnější.

### Konkrétní vybraný tlakoměr

Na základě konzultace se zaměstnanci Odboru fluidního inženýrství Energetického ústavu FSI byl zvolen tlakoměr DMP 331 [28] (obr. 3.3) od českého výrobce BD SENSORS, s.r.o. Tento tlakoměr byl také úspěšně použit při předchozích měřeních mazacího přístroje [24] a pro jeho výběr tedy mluví i dobré zkušenosti.



Obr. 3.3 Tlakoměr BD SENSORS DMP 331 [28]

Základní parametry:

- měřicí rozsahy: od 0...0,01 MPa do 0...4 MPa
- přesnost: 0,1 / 0,25 / 0,35 %
- tlaková přípojka G 1/2" čelní od 0,01 MPa

Technický list je umístěn v příloze.

### 3.2.2 Průtokoměry

Snímače průtoku musí s dostatečnou přesností podávat informace o hodnotách průtoku vzduchu i vysoce viskózního maziva. Zároveň jejich použitím nesmí docházet k tlakové ztrátě v mazacím systému.

#### Typy průtokoměrů

Průtokoměry lze obecně podle metody měření průtoku rozdělit na objemové, rychlostní a hmotnostní [29].

Objemové průtokoměry fungují na principu odměřování objemu tekutiny v odměrných prostorách, které se cyklicky plní a vyprazdňují [29]. Vzhledem ke krátkému časovému průběhu dějů probíhajících v mazacím systému lze využít pro měření pouze spojitá měřidla s několika odměrnými prostory, aby byl průtok spojitý a měření plynulé. Nabízí se využití oválových měřidel, u kterých je plnění a vyprazdňování odměrných prostorů způsobeno pohybem dvou oválných rotujících těles [29]. Nevýhodou je ale přítomnost pohyblivých mechanických dílů, které mohou být po čase zdrojem poruch.

Rychlostní průtokoměry stanovují hodnoty průtoku ze znalosti rychlosti proudícího média a rozměrů průtočného profilu a průřezu. Hmotnostní průtokoměry fungují na principu měření veličiny přímo úměrné hmotnostnímu průtoku [29].

Na základě dostupných informací a doporučení ohledně použití jednotlivých průtokoměrů [29], [30], [31] se pro měření průtoku vzduchu jeví jako nejvhodnější Coriolisův průtokoměr a tepelný průtokoměr. Prvně jmenovaný funguje na principu detekce deformace prvku, na který působí Coriolisova síla. Výhodou je velmi malá nejistota až 0,1 % z měřené hodnoty a nezávislost na druhu média, nevýhodou naopak vysoká cena [31]. Tepelný průtokoměr využívá vlivu proudění tekutiny na šíření tepla. Výhodou je možnost měření i velmi malých průtoků a minimální ztráta tlaku [31]. S přihlédnutím k těmto faktům byl zejména vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům Coriolisova průtokoměru zvolen pro měření hodnoty průtoku vzduchu tepelný průtokoměr.

Pro měření hodnoty průtoku maziva se na základě zdrojů informací [29], [30], [31] hodí nejlépe korelační průtokoměr a Coriolisův průtokoměr. Korelační průtokoměr funguje na principu detekce zvolené náhodné proměnné proudícího média a následné korelace signálů ze dvou za sebou umístěných detektorů [30]. Jedná se o vysoce sofistikovaný senzor, který je použitelný v širokém spektru aplikací, avšak vyznačuje se složitostí zařízení i zpracování signálu [29]. Vzhledem k nutnosti minimalizace ekonomických nároků na měření však ani jeden z těchto průtokoměrů není vyhovující. Na základě zkušeností z předchozích měření [24] a odborných rad ze strany zaměstnanců Ústavu konstruování FSI bylo nakonec rozhodnuto využít průtokoměr s oválnými ozubenými koly. Ten funguje na objemovém principu, kdy je médium vlivem rotace oválných ozubených kol unášeno podél stěn.

### Konkrétní vybrané průtokoměry

Pro určování hodnot průtoku vzduchu bylo navrženo použít opět průtokoměr BROOKS SLA5861 [32] (obr. 3.4), protože nebyl v katalozích renomovaných výrobců nalezen žádný lépe vyhovující senzor.



Obr. 3.4 Průtokoměr BROOKS SLA5861 [32]

Základní parametry:

- měřicí rozsah:  $20-100 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- přesnost:
  - $\pm 1,0 \%$  naměřené hodnoty (při průtoku od 20% do 100% měřicího rozsahu)
  - $\pm 0,2 \%$  měřicího rozsahu (při průtoku 0% až 20% měřicího rozsahu)
- provozní teplota:  $0-65 \text{ }^\circ\text{C}$
- tlak: max. 10 MPa

Technický list je umístěn v příloze.

Pro měření průtoku maziva byl zvolen průtokoměr Burkert 8071 [33] (obr. 3.5), neboť je určen pro měření nízkých průtoků. V katalogích jiných výrobců nebyl nalezen jiný vhodnější průtokoměr s ozubenými koly.



Obr. 3.5 Průtokoměr Burkert 8071 [33]

Základní parametry:

- měřicí rozsah:  $0,5-500 \text{ dm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
- přesnost:  $\pm 1,0 \%$  naměřené hodnoty
- opakovatelnost:  $0,03 \%$  naměřené hodnoty
- provozní teplota: max.  $120 \text{ }^\circ\text{C}$
- tlak: max. 5,5 MPa

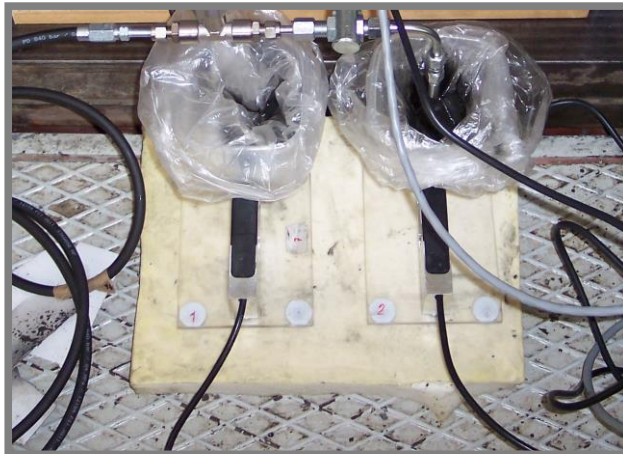
Technický list je umístěn v příloze.

### 3.2.3 Dynamické váhy

Nejdůležitějšími údaji z měření vlastností děliče maziva jsou rovnoměrnost dělení maziva, hodnoty množství maziva a hodnoty dynamického účinku výstřiku směsi. Pro jejich změření je nutné použít měřicí zařízení schopné zjistit množství maziva vystřikávaného tryskami i průběh sil během tohoto procesu. Pro tuto aplikaci se nabízí v podstatě jediné dynamické váhy, které se však běžně neprodávají. Již dříve byly speciálně pro tuto aplikaci vyrobeny dynamické váhy SENZOR plus 1042 s předzesilovačem Vishay BA660 [24] (obr. 3.3). Vzhledem k dobrým zkušenostem s tímto měřicím zařízením i vzhledem k vyšším nákladům na výrobu nových vah bylo rozhodnuto opět použít stejné dynamické váhy. Technické listy obou hlavních částí, tj. tenzometrického siloměru a předzesilovače, jsou v příloze.

3.2.3

---



Obr. 3.3 Dynamické váhy SENZOR plus 1042 s předzesilovačem Vishay BA660

## 3.3

### 3.3 Hardware a software pro sběr dat

U předchozích měření [24] byla úspěšně použita externí měřicí karta NI USB-6009 [34]. Má 8 analogových vstupů (14-bit, 48 kHz, viz technický list v příloze) [34], což odpovídá zároveň počtu měřicích prvků, a je v majetku FSI. Z těchto důvodů nebylo nutné ji měnit za jinou měřicí kartu nebo programovatelný logický automat.

Měřicí karta NI USB-6009 je kompatibilní podle oficiálních údajů výrobce se softwarem LabVIEW, LabWindows/CVI, a Measurement Studio [34]. Prvně zmíněný software LabVIEW je na FSI běžně dostupný v rámci komplexní univerzitní síťové licence. Tento sofistikovaný software je vhodný především pro sběr dat, programování systémů a řízení experimentů [35].

Pro sběr dat z měřicích prvků lze také využít software Matlab. I když je tento software primárně určen pro numerické modelování, výpočty a simulace, s doplňkem Data Acquisition Toolbox™ se jedná o efektivní nástroj pro sběr a analýzu dat [36]. Tímto softwarem FSI také disponuje.

Na FSI je rovněž k dispozici software DEWESoft 7.0.4. Jedná se o vysoce výkonný nástroj určený primárně pro sběr dat, který je využíván mnoha velkými firmami po celém světě [37]. Výhodou je jeho poměrná jednoduchost a přehlednost spolu s velkým množstvím funkcí. Vzhledem k těmto faktům byl DEWESoft 7.0.4 shledán nejlépe vyhovujícím.

## 3.4

### 3.4 Měřicí postup

Jak již bylo uvedeno, proces směšování, dělení a dávkování maziva není přesně opakovatelným dějem a tudíž je nutné realizovat měření při určitém počtu cyklů. Firma TRIBOTEC, s.r.o., využívá pro stabilizaci systému i při jeho provozu 40 mazacích cyklů [18]. Z tohoto důvodu je vhodné provádět u systému OK - 02 měření čtyřiceticyklových sérií. Obecně je nutné najít vhodný kompromis tak, aby počet cyklů byl dostatečný a výsledky měly vypovídací hodnotu a zároveň nebyl počet cyklů příliš velký, neboť měření i následné zpracování dat by bylo příliš zdlouhavé.

Doba výfuku (proces, kdy je část maziva vytlačena ze zásobníku a dopravena k okolku kola) a přestávky (pauza mezi těmito opakujícími se procesy) je volně nastavitelná. Při jejím stanovování můžeme vyjít již ze zkušeností z předchozích měření [24] a na jejich základě stanovit režim 2 sekundy výfuk a 2 sekundy přestávka.

Dále je nutné stanovit vstupní tlak vzduchu a režimy průtoku maziva a vzduchu. Z předchozích měření [24] lze vysledovat, že nanášení potřebné dávky maziva bylo dosaženo při průtoku vzduchu  $70 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  (v místě průtokoměru C) a výtláčném objemu maziva  $0,2$  nebo  $0,4 \text{ cm}^3$  na jeden cyklus. Vstupní tlak vzduchu v těchto případech byl  $0,6$  nebo  $0,7 \text{ MPa}$  [24]. Pro měření se tedy využije kombinace těchto režimů. V případě, kdy by tyto hodnoty nebyly známy, bylo by nutné jednotlivé režimy měření stanovit empiricky.

### Vymezení porovnávacích parametrů děliče

Jednotlivé veličiny a tekutiny proudícím mazacím systémem se označí indexy dle tab. 2.

Tab. 2 Indexy

veličina	index	tekutina	index
tlak	$p$	mazivo	z
vstupní tlak vzduchu	$p_{in}$	vzduch	v
hmotnost	$m$		
objem	$V$		
hmotnostní průtok	$W$		
objemový průtok	$Q$	počet trysek	n

Měření budou následující charakteristiky:

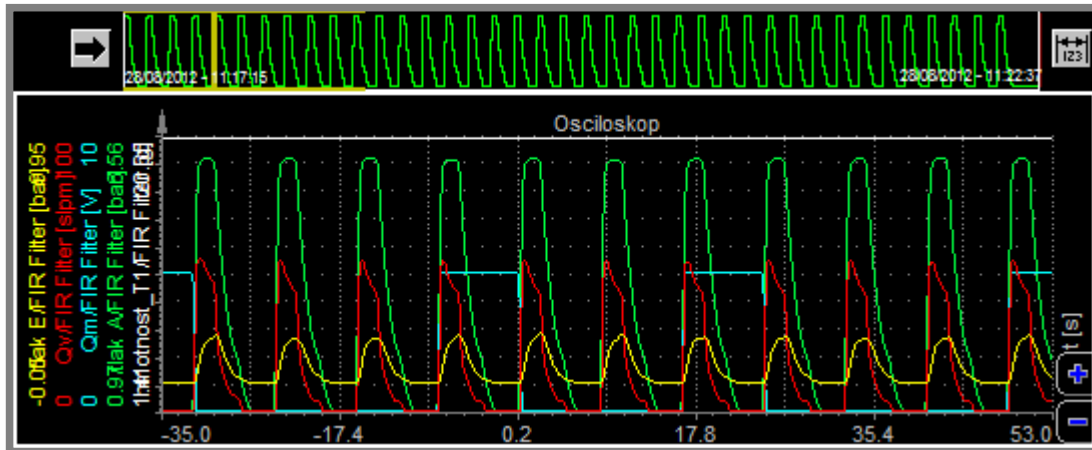
1. Charakteristika  $m_{zn}=f(t)$  při  $Q_z=\text{konst}$ ,  $W_v=\text{konst}$   
 $p_{in(i+1)} = p_{in(i)} + \Delta p_{in}$
2. Charakteristika  $m_{zn}=f(t)$  při  $p_{in}=\text{konst}$ ,  $W_v=\text{konst}$   
 $Q_{z(i+1)} = Q_{z(i)} + \Delta Q_z$
3. Charakteristika  $m_{zn}=f(t)$  při  $Q_z=\text{konst}$ ,  $p_{in}=\text{konst}$   
 $W_{v(i+1)} = W_{v(i)} + \Delta W_v$

Dělič průtoku maziva se nejprve zapojí tak, že budou využity všechny dělicí cesty, poté se provede měření při menším počtu dělicích cest. Takto lze pak z naměřených dat určit rovnoměrnost dělení mazací mlhy při různém zapojení děliče.

Při měření se pracuje s výrobcem doporučeným mazivem Mogul Eko OK [19] a následně s mazivem o rozdílné viskozitě. Bezpečnostní list maziva Mogul Eko OK je umístěn v příloze.

### 3.5 Způsob vyhodnocení dat

Při statistickém zpracování dat je vhodné pracovat se středními hodnotami jednotlivých veličin z určitého počtu vzorků z jednotlivých čtyřcyclových sérií. Stanovování počtu vzorků je záležitost empirická a při její realizaci mohou opět napomoci zkušenosti z předchozích měření. Příhodné je také využít názornosti a přehlednosti měřicího software DEWESoft (obr. 5.3).



Obr. 5.3 Příklad výstupu měření při použití software DEWESoft

Na základě zkušeností z předchozích měření u dřívějšího systému [24] je pak možné stanovovat u tlakoměrů střední hodnotu z 50 vzorků zpět od sestupné hrany 2. nebo 12. cyklu. Hodnota hmotnosti maziva před sérií cyklů bude určena jako střední hodnota z 30 vzorků zpět od vzestupné hrany 2. cyklu kanálů od jednotlivých dynamických vah do řádku 2. cyklu. Hodnota hmotnosti maziva po sérii cyklů bude vymezena jako střední hodnota z 30 vzorků zpět od vzestupné hrany 13. cyklu kanálů od jednotlivých dynamických vah do řádku 12. cyklu.

Dále je nutné určit rozdíl hmotností před a po sérii cyklů a vydělit jej počtem cyklů, ze kterých jsou hmotnosti stanovovány. Z těchto údajů se také sestaví procentuální podíl přenesené hmotnosti mazací mlhy mezi jednotlivými cestami děliče.

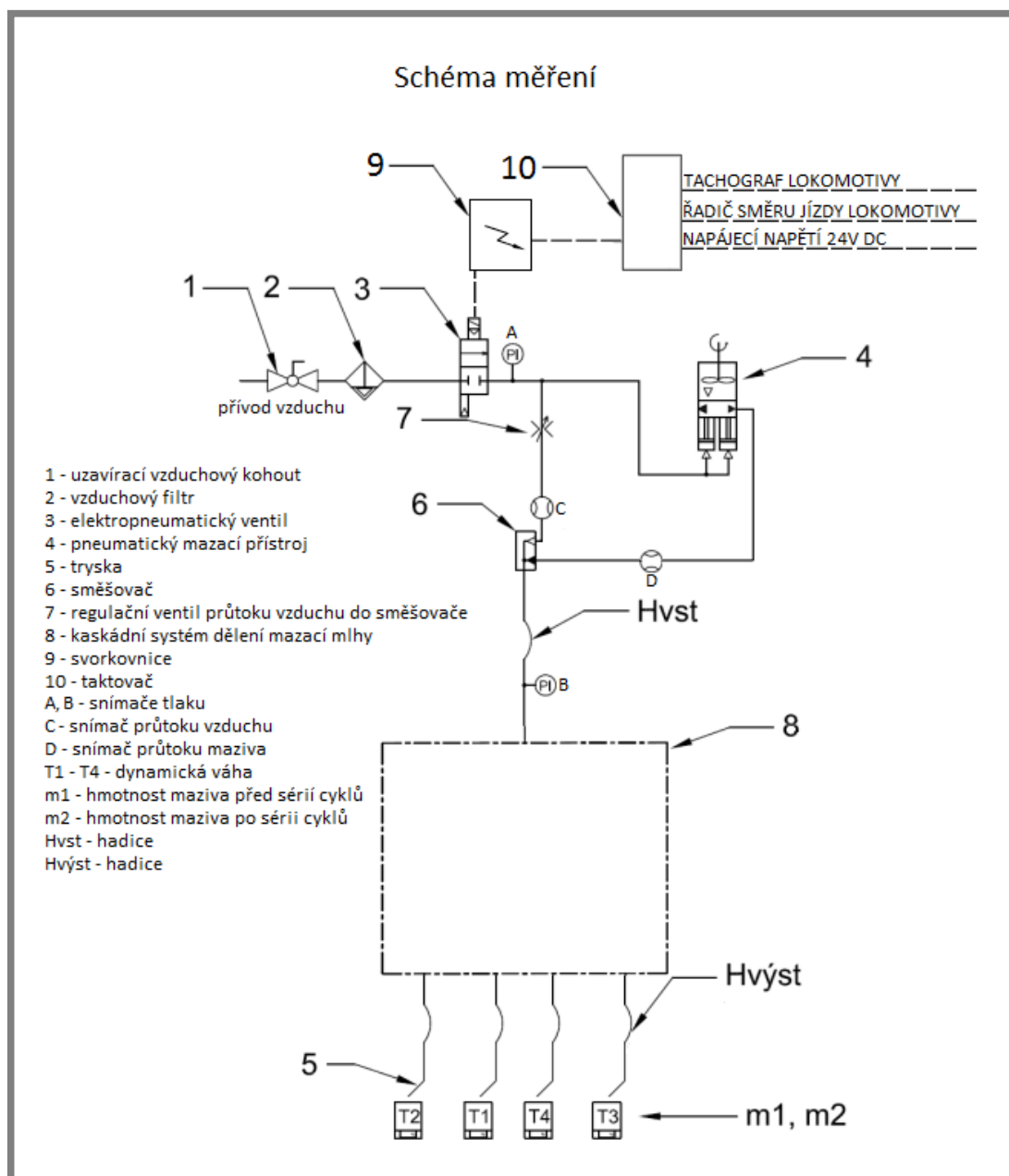
Z maximálních sil u cyklů série stanovených pomocí dynamických vah bude stanovena střední hodnota, označená jako dynamický účinek výstřiku směsi.

V rámci výzkumné zprávy [24] byla určena korelační závislost mezi tlakem před tryskou a dynamickým účinkem výstřiku směsi. Tím se otevřela možnost zjišťovat, zda mazivo dostříkne v dostatečné dávce na okolek, jen ze znalosti dynamického účinku výstřiku směsi. Pro vzdálenost výstupní trysky 67 mm od kola nastane mezní stav, kdy se mazivo na okolek již nepřenese, když dynamický účinek výstřiku směsi bude menší než 1,5 gramů [24]. S touto hodnotou bylo možno pak porovnat získané hodnoty dynamického účinku výstřiku mazací směsi a stanovit tak, zda je na okolek nanese potřebná dávka maziva.

Nakonec bude porovnána rovnoměrnost dělení maziva mezi výstupní cesty děliče; ta je důležitou charakteristikou děliče. Procentuální podíl přenesené hmotnosti mezi jednotlivými cestami by měl být stejný, tedy např. v případě zapojení čtyřcestného děliče by jeho hodnota pro jednotlivé cesty měla činit v ideálním případě 25%.

## 4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Celkové nové konstrukční uspořádání celého laboratorního měřicího systému, jehož cílem je analýza funkce celého mazacího systému s důrazem na dělič maziva, je na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Schéma měření

Úplné schéma měření (obr. 4.1) obsahující zobrazení vnitřních částí kaskádního systému dělení mazací mlhy, je opět umístěno vzhledem k patentovému řízení v příloze.

Dle schématu (obr. 4.1) bude sestaveno laboratorní měřicí zařízení. Vybraná místa se osadí příslušnými měřicími přístroji. Do míst A a B budou instalovány tlakoměry BD SENZORS DMP 331. Na obě přívodní větve směšovače se zařadí průtokoměry. Pro stanovování hodnot průtoku vzduchu se použije průtokoměr BROOKS SLA5861, pro určování hodnot průtoku maziva bude použit průtokoměr Burkert 8071. Za trysky se umístí dynamické váhy SENZOR plus 1042 s předzesilovačem Vishay BA660.

Nádrž mazacího přístroje (4), (obr. 4.2), bude naplněna mazivem Mogul Eko OK. Poté se provedou měření (viz kapitola 3.4) a měřené hodnoty se přes měřicí kartu NI USB-6009 uloží do počítače. Nádrž pneumatického mazacího přístroje (4) bude poté vyprázdněna a celý mazací obvod včetně trysek se pročistí profukem. Následně bude měření provedeno s jinými mazivy o rozdílné viskozitě oproti mazivu Mogul Eko OK.



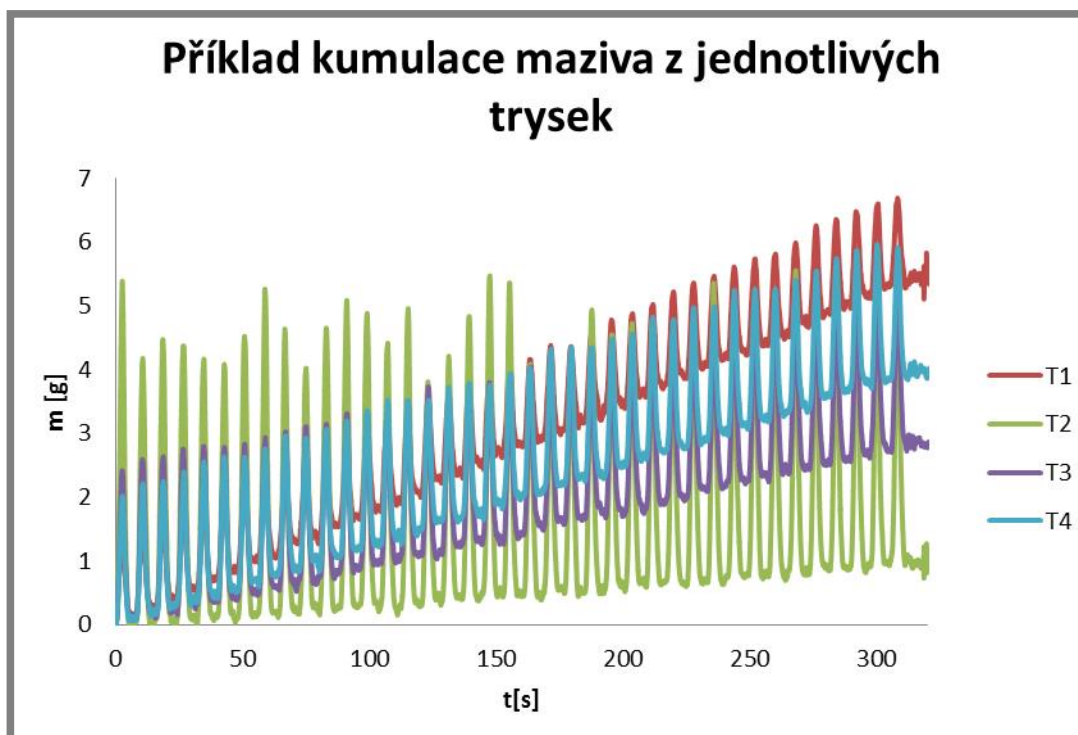
**Obr. 4.2** Nádrž mazacího přístroje s mazivem Mogul Eko OK

Naměřená data se pak dle zpracované metodiky (viz kapitola 3.5) vyhodnotí a porovná se rovnoměrnost dělení maziva mezi výstupní cesty děliče.



## 5 DISKUZE

Konstrukčnímu návrhu měřicího systému pro analýzu mazacího přístroje se zaměřením na stanovení vlastností děliče průtoku maziva předcházely různé problémy způsobené především neustálým vývojem situace. Nejprve byla prováděna měření na původním měřicím zařízení. Ta především prokázala nutnost změny konstrukce děliče maziva, neboť docházelo k nerovnoměrnému rozdělování maziva mezi jednotlivé výstupní trysky, jak je patrné např. z grafu 5.1 [24].



Graf 5.1 Kumulace maziva z jednotlivých trysek [24]

Dalším důležitým výstupem těchto měření bylo zjištění korelační závislosti mezi tlakem před tryskou a dynamickým účinkem výstřiku směsi [24]. Tyto poznatky byly shrnuty do výzkumné zprávy [24], na jejíž tvorbě se podílel i autor této bakalářské práce a mohly pak být využity při návrhu adaptace měřicího systému pro analýzu funkce děliče maziva.

Nové konstrukční uspořádání se od původního liší především rozdílným množstvím měřicích prvků, neboť po uvážení důležitosti různých měřených hodnot bylo shledáno, že pro analýzu děliče maziva nejsou některé původní senzory nutné. Původně byly tlakoměry umístěny i na obou větvích před směšovačem maziva a taktéž hned za směšovačem ještě před hydraulickou hadicí [24]. Protože ale byla prokázána spolehlivá funkčnost směšovače a zároveň dostatečně velké hodnoty tlaku za hydraulickou hadicí spojující směšovač s děličem [24], lze výše zmíněné tlakoměry vynechat. Původní konstrukční celek také neobsahoval hned při třech způsobech hydraulického zapojení ze čtyř snímač průtoku maziva [24]. Množství maziva dávkovaného pneumatickým mazacím přístrojem je sice dáno přímo mechanickým nastavením mazacího přístroje, ale pro analýzu funkce děliče je nutné znát skutečné hodnoty průtoku maziva. Ty jsou důležité např. už jen kvůli popsatelnosti režimu průtoku maziva a vzduchu, při kterém měření probíhá.

Ve snaze o co nejlepší adaptaci celého měřicího systému byla také provedena samostatná nezávislá rešerše tlakoměrů i průtokoměrů s cílem ověřit vhodnost původních měřicích prvků a popřípadě navrhnout nové. Jako podkladů pro stanovení vhodných typů měřicích prvků bylo využito článků z odborného časopisu *Automa*, jejichž autorem je doc. Ing. Karel Kadlec, CSc. z ústavu fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha. Dále byly měřicí prvky diskutovány se zaměstnanci Odboru fluidního inženýrství a Ústavu konstruování FSI a byl brán zřetel na dlouhodobé zkušenosti s některými měřicími prvky ve školních laboratořích. Byl také proveden průzkum nabídky různých českých i zahraničních firem, ve snaze najít senzory optimálnějších parametrů. Na základě tohoto důkladného průzkumu však bylo zjištěno, že dříve používané měřicí prvky jsou zcela vyhovující a tudíž není nutné je měnit za jiné.

Určitá možnost inovace se nabízí v použití Coriolisova průtokoměru, avšak proti jeho aplikaci mluví stále značně vysoké pořizovací náklady [38]. Také by bylo možné místo tlakoměrů DMP 331 od firmy BD SENZORS použít levnější stejných parametrů od firmy JSP Jičín, avšak je zbytečné pořizovat nové tlakoměry.

Obecně lze s jistotou nadsázkou říci, že kromě speciálních typů velká většina firem nabízí měřicí prvky velmi podobných parametrů, zejména co se přesnosti měření týče.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce byla adaptace měřicího systému pro analýzu funkce děliče maziva, která spočívala v sestavení nového konstrukčního návrhu a následném stanovení metodiky měření a vyhodnocení dat. Cíle práce vycházely z výsledků dřívějších měření pro firmu Tribotec, s.r.o., [24] a situace z tohoto plynoucí. Na základě adaptace měřicího systému je možné provádět optimalizaci mazacího přístroje vedoucí k efektivnímu dělení mazací mlhy a nanášení potřebné dávky maziva na okolky.

V první fázi bylo navrženo obecné konstrukční uspořádání celého měřicího systému. Ten byl instalován na mazací systém OK – 02 (obr. 3.1), přičemž sestával z tlakoměrů, průtokoměrů a dynamických vah umístěných do vhodných míst (obr. 3.2). Bylo rozhodnuto umístit snímače průtoku vzduchu a maziva před směšovač a snímače tlaku dát k místu vstupu stlačeného vzduchu do systému a před kaskádní systém dělení mazací mlhy. Dynamické váhy byly umístěny k jednotlivým výstupním tryskám (viz kap. 3.1).

Dalším úkolem bylo zhodnocení již použitých měřicích prvků a popř. následný výběr nových. Zároveň bylo nutné najít vhodný hardware a software pro sběr dat. Po provedení rozsáhlého průzkumu byly dříve použité měřicí prvky, měřicí karta i software vyhodnoceny jako zcela vyhovující. K určování hodnot tlaků se použijí již několik let ve škole úspěšně užívané tlakoměry BD SENZORS DMP 331, které fungují na principu piezoelektrického jevu a jsou dostatečně přesné i vhodné pro měření tlakových pulzací (viz kap. 3.2.1). Pro stanovení hodnot průtoku vzduchu bude použit průtokoměr BROOKS SLA5861 využívající vlivu proudění tekutiny na šíření tepla, hodnoty průtoku maziva budou určovány pomocí průtokoměru Burkert 8071 s oválnými ozubenými koly, který je vhodný pro měření průtoku kapalin o vysoké viskozitě (viz kap. 3.2.2). Pro získání hodnoty dynamického účinku výstřiku směsi a ověření rovnoměrnosti dělení maziva mezi výstupní cesty děliče budou využity dynamické tenzometrické váhy SENZOR plus 1042 s předzesilovačem Vishay BA660 (viz kap. 3.2.3).

Sběr dat bude probíhat s využitím měřicí karty NI USB-6009 a softwaru DEWESoft 7.0.4 (viz kap. 3.3).

Dále bylo nutné navrhnout měřicí postup. Budou určovány hodnoty tlaku, průtoku a hmotnosti maziva vystřikovaného z jednotlivých trysek. Bylo rozhodnuto využít pro měření série sestávající ze 40 mazacích cyklů, neboť mazací systém OK – 02 tento počet cyklů využívá při provozu i pro stabilizaci systému [19]. Jeden cyklus sestává z dávkování maziva po dobu 2 sekundy a pauzy po dobu 2 sekundy. Na základě zkušeností z předchozích měření byly pro nové měření stanoveny režimy s parametry: počáteční tlak vzduchu 0,6 a 0,7 MPa; hodnota průtoku vzduchu 70 l/min; hodnota průtoku maziva 0,2 nebo 0,4 cm<sup>3</sup> na jeden mazací cyklus (viz kap. 3.4). Předpokládá se měření s mazivou o různých viskozitách a s různými zapojeními dělicích cest.

Následně byla stanovena metodika vyhodnocení dat. Protože proces směšování, dělení a dávkování maziva nelze považovat i přes jeho periodicitu za přesně opakovatelný děj, je nutné naměřená data zpracovat statisticky. Vzhledem k přechodovým dějům a objemu dat bylo na základě zkušeností z předchozích měření [24] rozhodnuto při zpracování dat počítat se středními hodnotami z určitého počtu vzorků mezi některými cykly (viz kap. 3.5).

U vyhodnocených dat bude pozornost zaměřena především na hodnoty dynamického účinku výstřiku směsi a na rovnoměrnost dělení maziva mezi výstupní cesty děliče. Místo původního problémového děliče maziva byl navržen již zmíněný kaskádní systém dělení mazací mlhy, jehož hlavním specifikem je především zrovnoměnění dodávky maziva do výstupů děliče a minimalizace hydraulických odporů vlivem použití nového vnitřního uspořádání. Na tento systém byla také podána patentová přihláška u Úřadu průmyslového vlastnictví. Zároveň bylo firmě Tribotec, s.r.o., navrženo, aby tento systém byl firmou vyroben. Z tohoto důvodu byly v této bakalářské práci vypracovány i dvě varianty jeho možné reálné podoby (viz příloha). Bohužel systém firmou zatím nebyl vyroben a proto měření zatím nemohlo být realizováno.

Bude-li zájem ze strany podniku, dá se předpokládat v budoucnu provedení navrhnutých měření. Ta mohou pak být prováděna a analyzována například v rámci diplomové práce. Lze očekávat, že navržené konstrukční uspořádání laboratorního měřicího systému a metodika měření a vyhodnocení dat budou úspěšně využity a realizace měření prokáže kvality kaskádního systému dělení mazací mlhy.

**7 BIBLIOGRAFIE**

- [1] ROLT, L.T.C. Richard Trevithick (English engineer) -- Britannica Online Encyclopedia. *Britannica Online Encyclopedia*. [Online] Encyclopædia Britannica, Inc. , 2013. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/604469/Richard-Trevithick>
- [2] MTS: Why Current Maglev is not viable. *Magnetic Transport Systems Corporation* [online]. © 2009-2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.magnetictransportsystems.com/maglevnotviable.shtml>
- [3] BESTA, Petr. Porovnání jednotlivých druhů dopravy. In: *Technický portál* [online]. 22. 1. 2009 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.techportal.cz/download/e-noviny/enlog/porovnani\\_jednotlivych\\_druhu\\_dopravy.pdf](http://www.techportal.cz/download/e-noviny/enlog/porovnani_jednotlivych_druhu_dopravy.pdf)
- [4] TOMEOKA, Masao, Naoji KABE, Masuhisa TANIMOTO, Eiji MIYAUCHI a Machi NAKATA. Friction control between wheel and rail by means of on-board lubrication. *Wear* [online]. roč. 253, 1-2, s. 124-129 [cit. 2013-04-27]. ISSN 00431648. DOI: 10.1016/S0043-1648(02)00091-1. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164802000911>
- [5] SKF EasyRail. *SKF Group* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/lubrication-systems-for-special-applications/skf-easyrail/index.html>
- [6] SIMS, R.D., K.A. MILLER a G.F. SCHEPMANN. Rail lubrication measurement. *Proceedings of the 1996 ASME/IEEE Joint Railroad Conference* [online]. IEEE, 1996, s. 23-33 [cit. 2013-04-27]. DOI: 10.1109/RRCON.1996.507956. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=507956>
- [7] Kolejová doprava / Aplikátory / Aplikátor Tralub / Sklenář s.r.o. *Sklenář s.r.o. - Transportní systémy, Kolejová doprava, Obnovitelné zdroje* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.sklenar.cz/kolejova-doprava/aplikatory/aplikator-tralub/3/23.html>
- [8] Friction management brochure. *L.B.Foster -The Leader in Innovative Rail Friction Management* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.lbfoster-railtechnologies.com/pdf/brochures/Friction\\_Mgnt\\_Brochure.pdf](http://www.lbfoster-railtechnologies.com/pdf/brochures/Friction_Mgnt_Brochure.pdf)
- [9] Hi-Rail Lubrication System. *L.B.Foster -The Leader in Innovative Rail Friction Management* [online]. © 2002 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.lbfoster-railtechnologies.com/pdf/brochures/PortecHi-Rail.pdf>

- [10] Rail Capabilities. *Lincoln Industrial* [online]. © 2010 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.lincolnindustrial.com/Catalogs/Uploaded/Catalog\\_88/Rail\\_Capabilities.pdf](http://www.lincolnindustrial.com/Catalogs/Uploaded/Catalog_88/Rail_Capabilities.pdf)
- [11] RAILJET Wheel flange lubrication. *Bijur Delimon Automatic Lubrication Systems* [online]. © 2009 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.bijurdelimon.com/fileadmin/products/docs/bdius/Brochures/1107\\_SY\\_S\\_Railjet.pdf](http://www.bijurdelimon.com/fileadmin/products/docs/bdius/Brochures/1107_SY_S_Railjet.pdf)
- [12] Rail - Lubricurve 10-20. *QHi Rail* [online]. [2013] [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.qhirail.com/rail\\_lubricurve10\\_20.html](http://www.qhirail.com/rail_lubricurve10_20.html)
- [13] Trackside rail flange lubricators. *Dipostel* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.dipostel.fr/en/railway-friction-management/trackside-rail-flange-lubricators>
- [14] Friction Management and Lubrication. *U.S.Train Products* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.ustrain-products.com/Friction\\_modifier.htm](http://www.ustrain-products.com/Friction_modifier.htm)
- [15] SKF EasyRail. *SKF Group* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/binary/12-90207/1-2008-EN.pdf>
- [16] SKF EasyRail System Components. *SKF Group* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/binary/12-100950/1-8092-EN.pdf>
- [17] Kolejová doprava. *Sklenář s.r.o. - Transportní systémy, Kolejová doprava, Obnovitelné zdroje* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.sklenar.cz/dokumenty/24.pdf>
- [18] *Tribotechnické informace* [online]. Praha: TES, 3. 5. 2011 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1212-0081. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.cz/doc/tribo%202011%2001.pdf>
- [19] MAZÁNÍ OKOLKŮ LOKOMOTIV OK - 02. *TriboTec* [online]. [2006] [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.tribotec.cz/tribotec/cz/pdf/08-smesovaci/02-ko-02/dokumentace-ok-02.pdf>
- [20] FluiLub. *BEKA* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.beka-lube.de/download/fluilub/SKP.pdf>
- [21] Wheel flange lubrication. *REBS* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.rebs.de/en/solutions/railway-technology/spurkranzschmierung-wfl/>

- [22] ŠTĚNIČKA, P.: *Stend pro analýzu přístroje k mazání okolků kolejových vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 71 s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [23] POPELKA, M.: *Měřicí systém pro analýzu tlakových poměrů v ostřikovém mazacím přístroji*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 35 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [24] NEVRLÝ, J.: *Měření mazacích přístrojů firmy Tribotec*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 59 s.
- [25] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 1). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2007, č. 2 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au020728.pdf>
- [26] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 2). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2007, č. 7 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070725.pdf>
- [27] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 3). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2007, č. 10 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/automa/2007/au100723.pdf>
- [28] DMP 331. *BD SENZORS* [online]. 7. 1. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.bdsensors.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Datenblaetter\\_datasheets/DB\\_DMP331\\_D.pdf](http://www.bdsensors.de/fileadmin/user_upload/Download/Datenblaetter_datasheets/DB_DMP331_D.pdf)
- [29] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 1). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2006, č. 10 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100605.pdf>
- [30] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 2). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2006, č. 11 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au110624.pdf>
- [31] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 3). *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2006, č. 12 [cit. 2013-04-27]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au120630.pdf>

- [32] Data sheet SLA5800 Series. *Brooks Instrument* [online]. 2010 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.brooksinstrument.com/downloads/Product%20Documentation/Thermal%20Mass%20Flow%20Meters%20Controllers%20Digital%20Gas/Data%20Sheets/ds-tmf-sla5800-mfc-eng.pdf>
- [33] 8071. *Bürkert Fluid Control Systems* [online]. 4. 10. 2010 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: [http://www.burkert.cz/home/technicka\\_data/katalogove\\_listy/ds8071\\_standard\\_eu\\_en.pdf](http://www.burkert.cz/home/technicka_data/katalogove_listy/ds8071_standard_eu_en.pdf)
- [34] NI USB-6009. *National Instruments* [online]. © 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/cs/nid/201987>
- [35] What is LabVIEW?. *National Instruments* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-104/lang/cs/fmid/1762/>
- [36] Data Acquisition Software - Data Acquisition Toolbox - MATLAB. *MathWorks* [online]. © 1994-2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/daq/>
- [37] *Dewesoft* [online]. © 2000-2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.dewesoft.com/>
- [38] *Cole-Parmer - Lab Equipment, Fluid Handling, Laboratory Supplies and Industrial Instruments* [online]. © 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.coleparmer.com/Search/coriolis%20flow%20meter>



**8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN****8**

dB	- jednotka intenzity zvuku
km·h <sup>-1</sup>	- jednotka rychlosti
μm, mm	- jednotky délky
MPa	- jednotka tlaku
dm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> , dm <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup>	- jednotky objemového průtoku
°C	- jednotka teploty
cm <sup>3</sup>	- jednotka objemu
bit	- jednotka informace
kHz	- jednotka vzorkovací frekvence
<i>p</i> [Pa]	- tlak
<i>m</i> [g]	- hmotnost
<i>V</i> [m <sup>3</sup> ]	- objem
<i>W</i> [kg·s <sup>-1</sup> ]	- hmotnostní průtok
<i>Q</i> [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	- objemový průtok
<i>n</i> [-]	- počet trysek
<i>t</i> [s]	- čas
MGT	- million gross tons
USD	- americký dolar
GPS	- Global Positioning Systém
NI	- National Instruments
VŠCHT	- Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

**9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ**

<b>Obr. 1.1</b>	Ruční aplikátor maziva TRALUB [7]	13
<b>Obr. 1.2</b>	Mazací systém ROAD-RUNNER [8]	13
<b>Obr. 1.3</b>	Detail výstupních trysek mazacího systému ROAD-RUNNER [9]	14
<b>Obr. 1.5</b>	Systému Lincoln Wayside Lubricator [10]	14
<b>Obr. 1.4</b>	Detail dávkovací desky systému Lincoln Wayside Lubricator [10]	14
<b>Obr. 1.6</b>	SSV dělič [10]	15
<b>Obr. 1.7</b>	Srovnání SSV děliče firmy Lincoln Industrial a běžných děličů [10]	15
<b>Obr. 1.8</b>	Mazací systém PROTECTOR IV [8]	15
<b>Obr. 1.9</b>	Mazací systém 761 Hydralaube [8]	15
<b>Obr. 1.10</b>	Mazací systém SKF EasyRail Compact [15]	16
<b>Obr. 1.11</b>	Výstupní směšovací tryska SP9-2 [16]	16
<b>Obr. 1.12</b>	Mazací systém SKF EasyRail High Pressure [15]	17
<b>Obr. 1.13</b>	Mazací systém SKF EasyRail Airless [15]	17
<b>Obr. 1.14</b>	Aplikace tuhého maziva Kelsan LCF [8]	18
<b>Obr. 1.15</b>	Mazací systém Railjet [18]	18
<b>Obr. 1.16</b>	Mazací systém OK – 02 [19]	19
<b>Obr. 1.17</b>	Směšovač používaný v systémech FluiLub [20]	19
<b>Obr. 2.1</b>	Měřicí zařízení používané v roce 2012 k výzkumu mazacího systému OK – 02 [24]	20
<b>Obr. 3.1</b>	Schéma zapojení	22
<b>Obr. 3.2</b>	Návrh míst pro instalaci měřicích prvků	23
<b>Obr. 3.3</b>	Tlakoměr BD SENZORS DMP 331 [28]	25
<b>Obr. 3.4</b>	Průtokoměr BROOKS SLA5861 [32]	26
<b>Obr. 3.5</b>	Průtokoměr Burkert 8071 [33]	27
<b>Obr. 3.3</b>	Dynamické váhy SENZOR plus 1042 s předzesilovačem Vishay BA660	28
<b>Obr. 5.3</b>	Příklad výstupu měření při použití software DEWESoft	30
<b>Obr. 4.1</b>	Schéma měření	31
<b>Obr. 4.2</b>	Nádrž mazacího přístroje s mazivem Mogul Eko OK	32
<b>Graf 5.1</b>	Kumulace maziva z jednotlivých trysek [24]	33

**10 SEZNAM TABULEK**

**10**

---

**Tab. 1** Energetické úspory při různých způsobech aplikace  
maziva do kontaktu kolejnic a kola [6]

12

**Tab. 2** Indexy

29

**11 SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 - Úplné nákresy schémat
- Příloha 2 - Schematický nákres kaskádního systému dělení mazací mlhy
- Příloha 3 - Technický list tlakoměru BD SENZORS DMP331
- Příloha 4 - Technický list průtokoměrů BROOKS SLA58xx
- Příloha 5 - Technický list průtokoměru Burkert 8071
- Příloha 6 - Technický list tenzometrického siloměru Vishay 1042
- Příloha 7 - Technický list předzesilovače Vishay BA660
- Příloha 8 - Bezpečnostní list maziva Mogul Eko OK
- Příloha 9 - Technický list měřicí karty NI USB-6009
- Příloha 10 – První varianta kaskádního systému dělení mazací mlhy (1-2)
- Příloha 11 – Druhá varianta kaskádního systému dělení mazací mlhy (2-2)