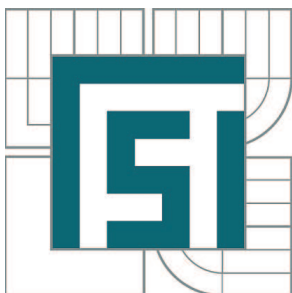


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## STEND PRO ANALÝZU PŘÍSTROJE K MAZÁNÍ OKOLKŮ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

STAND FOR ANALYSIS OF DEVICE TO LUBRICATION OF RAILWAY VEHICLES FLANGES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR ŠTĚNIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. JOSEF NEVRLÝ, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Štěnička

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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 diplomové práce:

### **Stend pro analýzu přístroje k mazání okolků kolejových vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Stand for analysis of device to lubrication of railway vehicles flanges**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh experimentálního stendu pro měření a následnou fyzikálně-technickou analýzu procesů probíhajících v reálném mazacím přístroji pro mazání okolků kolejových vozidel.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro potřeby průmyslu

Seznam odborné literatury:

Nevrlý, J. Methodology of modeling fluid power and lubrication systems. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2005. 107 p. ISBN 83-7085-848-1.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 18.11.2009

L.S.

---

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

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

---

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá konstrukcí experimentálního měřicího stendu. Tento stand bude sloužit k výzkumu zaměřenému na optimalizaci mazání okolků kolejových vozidel. Konstrukce zařízení vychází ze systému pro mazání okolků Tribotec OK-02. První část se zabývá problematikou dynamiky kolejových vozidel a mazání okolků, druhá část popisuje vlastní konstrukci.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

mazání okolků, experimentální měřicí stand, elastohydrodynamické mazání, průtokoměr, kolejová vozidla, dynamika dvojkolí

## **SUMMARY**

This work deals with construction of an experimental measuring stand. This stand will be used for research focused on wheel flange lubrication improvement. The construction is based on wheel flange lubrication system Tribotec OK-02. First part treats of rail vehicle dynamics and wheel flange lubrication problematics, second part describes construction itself.

## **KEYWORDS**

wheel flange lubrication, experimental measuring stand, elastohydrodynamic lubrication, flowmeter, rail vehicles, dynamics of the wheelset

---



---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

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.





---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci, stend pro analýzu přístroje k mazání okolků kolejových vozidel, 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 27.5.2010

.....  
podpis







---

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu prof. RNDr. Ing. Josefu Nevrlému, CSc. za odborné vedení a cenné podněty. Dále bych rád poděkoval pracovníkům firmy Tribotec, jmenovitě především panu Ing. Marku Hruškovi, za odborné rady, obětavost a trpělivost při tvorbě této diplomové práce. Touto cestou bych také rád poděkoval svým rodičům za jejich všestrannou podporu a trpělivost v průběhu mého studia.

---



**OBSAH**

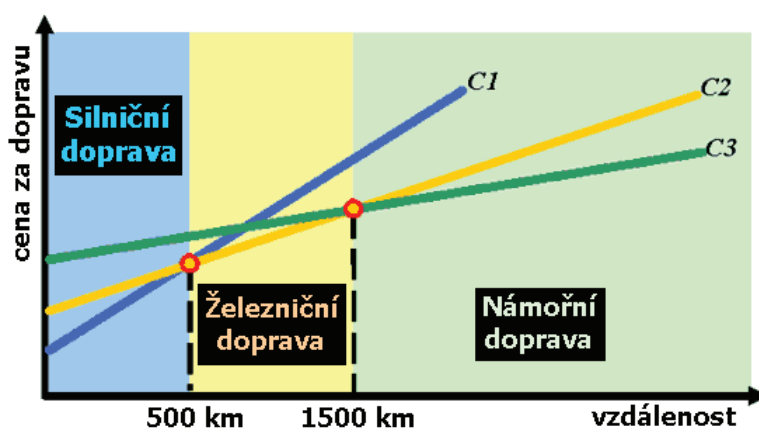
<b>OBSAH.....</b>	<b>11</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>14</b>
2.1 Kontaktní prvky .....	14
2.2 Jízda kolejového vozidla .....	16
2.2.1 Jízda po přímé koleji .....	17
2.2.2 Jízda v oblouku koleje .....	17
2.3 Přenos sil mezi dvoukolím a kolejí .....	18
2.4 Mazání okolků kolejových vozidel .....	20
2.4.1 Způsoby aplikace maziva .....	20
2.4.2 Mazací jednotka lokomotivy.....	21
2.5 Mazání okolků z tribologického hlediska .....	24
2.5.1 Elastohydrodynamický režim mazání .....	25
2.5.2 Kontrola trakce v kontaktu kolo-kolejnice .....	26
<b>3. FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>28</b>
3.1 Formulace řešeného problému.....	28
3.2 Popis přístroje OK-02 .....	29
<b>4. VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE .....</b>	<b>31</b>
4.1 Dílčí cíle práce .....	31
<b>5. NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ .....</b>	<b>32</b>
5.1 Postup řešení.....	32
5.2 Volba softwarových prostředků pro tvorbu diplomové práce .....	32
<b>6. NÁVRH VARIANT K ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY... 33</b>	
6.1 Shrnutí požadavků na stand.....	34
6.2 Regulace/měření průtoku vzduchu .....	35
6.2.1 Coriolisovy hmotnostní průtokoměry .....	35
6.2.2 Turbínové průtokoměry.....	36
6.2.3 Tepelné průtokoměry.....	36
6.3 Regulace množství dávkovaného maziva.....	38
6.3.1 Regulace pomocí distančního kroužku.....	39
6.3.2 Regulace pomocí čepu s maticí.....	39
6.4 Měření množství maziva dodávaného čerpadlem.....	40
<b>7. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>43</b>
7.1 Tvorba parametrického modelu přístroje OK-02.....	43
7.1.1 Přívod vzduchu .....	44
7.1.2 Škrticí ventily.....	44
7.1.3 Pneumatické čerpadlo.....	45
7.1.4 Nádrž maziva .....	45
7.1.5 Směšovač .....	45

---

7.2 Úprava pneumatického čerpadla maziva .....	46
7.2.1 Výpočet dávky maziva .....	47
7.3 Návrh vyměnitelné nádrže na mazivo .....	48
7.4 Přívod vzduchu stendu .....	50
7.5 Přívod vzduchu do směšovače .....	51
7.5.1 Tlakový regulátor .....	51
7.5.2 Průtokoměr a regulátor průtoku .....	52
7.5.3 Manometr .....	53
7.6 Přívod maziva do směšovače .....	54
7.7 Přívod směsi do trysky .....	55
7.8 Nosný rám přístroje .....	57
7.9 Elektroinstalace .....	59
7.9.1 Rozváděcí skříň .....	59
7.9.2 Zpracování signálů měřicích přístrojů .....	60
7.10 Celkové konstrukční řešení přístroje .....	61
7.11 Vyhodnocení nástřiku maziva .....	63
<b>8. KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ .....</b>	<b>64</b>
8.1 Konstrukční rozbor řešení .....	64
8.2 Technologický rozbor řešení .....	64
8.3 Ekonomický rozbor řešení .....	65
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>66</b>
<b>Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin .....</b>	<b>68</b>
<b>Seznam obrázků a grafů .....</b>	<b>69</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>70</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>71</b>

## 1 ÚVOD

Železniční doprava je jednou z klíčových složek přepravy zboží a osob. Z ekonomického hlediska je to nejefektivnější způsob dopravy na střední vzdálenosti, tedy cca 500 – 1500 km (viz graf 1.1). Přestože s rozvojem letecké a silniční dopravy v druhé polovině 20. století význam železniční dopravy poněkud upadl, současným vývojem a výstavbou vysokorychlostních tratí se opět stává jedním z nejhospodárnějších a nejekologičtějších způsobů dopravy. Dále je prakticky nenahraditelným přepravcem velkých objemů materiálů jako například uhlí, rud a podobně.



Graf 1.1 Hospodárnost jednotlivých typů dopravy [1]

Hospodárnost železniční dopravy tkví v nízkém koeficientu tření v kontaktu kolejnice s kolem podvozku. Kolejnice poskytuje rovinný či plynule zakřivený tuhý povrch, po kterém se kolo odvaluje s minimálním odporem. Kontaktní plocha mezi každým kolem a kolejnicí je navíc pouze několik milimetrů široká. Celková hmotnost je oproti silničním vozidlům mezi jednotlivé nápravy a kola rozložena mnohem rovnoměrněji, což umožňuje podstatně větší zatížení na nápravu a přispívá také k větší životnosti komponentů. Všechny tyto faktory vedou k tomu, že železniční doprava je z energetického hlediska efektivnější než například doprava silniční, která je závislá na poměrně vysoké hodnotě koeficientu valivého tření mezi pneumatikou a vozovkou.

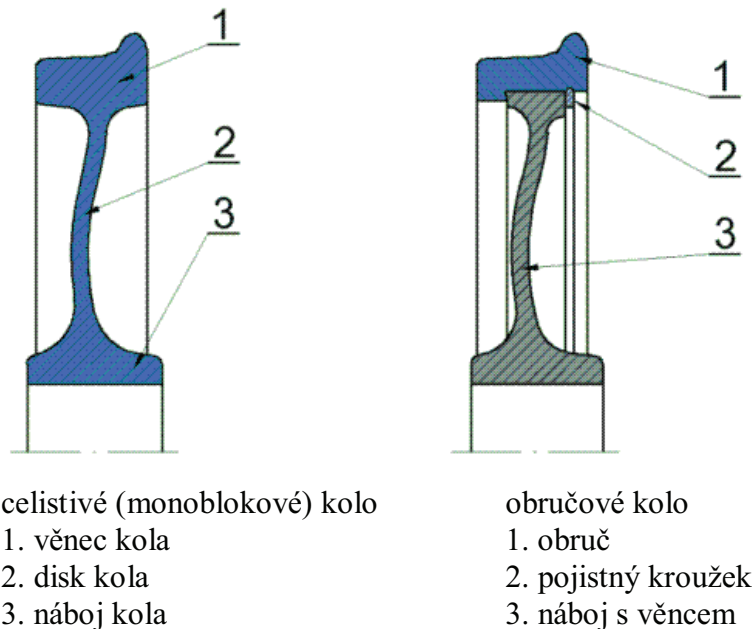
Jedním z hlavních faktorů přispívajících k hospodárnosti provozu a neméně také k životnosti součástí je mazání okolků, tedy místa kontaktu kola a kolejnice. Při optimální, řízené aplikaci maziva se dosahuje snížení energie potřebné k provozu až o 45%, úspory pohonných hmot až 30 % a redukce opotřebení samotných kol a kolejnic v řádech až tisíců procent [2]. Je tedy zřejmé, že mazání okolků hraje velmi významnou roli v celkových nákladech na železniční dopravu, ať už jde o úsporu pohonných hmot či prodloužení intervalu nutných výměn kolejnic a komponentů podvozku kolejových vozidel.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Kolejové vozidlo pohybující se po kolejnicích je velmi složitým dynamickým systémem. Tento systém obsahuje mnoho stupňů volnosti a nelinearit, především popis kontaktu kola a kolejnice je velmi náročný. Při jízdě vlakové soupravy dále dochází ke dvěma pohybům, jde o dopředný pohyb kolejištěm a o pohyb mezi jednotlivými vagóny, které vzniká jako reakce na jízdu v terénních nerovnostech. Výsledné působení všech těchto sil je velmi složité na popis a jejich působením vznikají problémy specifické právě jen pro železniční dopravu.

### 2.1 Kontaktní prvky

Při jízdě kolejového vozidla jsou kontaktními prvky kolo vozidla a kolejnice. Kola železničního vozidla jsou vyráběna z vysokolegované oceli s požadavkem na pevnost, životnost a korozivzdornost. V současnosti se používají 2 základní koncepce : celistivé (monoblokové) a obručové kolo.



celistivé (monoblokové) kolo

1. věnec kola
2. disk kola
3. náboj kola

obručové kolo

1. obruč
2. pojistný kroužek
3. náboj s věncem

Obr. 2.1 Typy železničních kol [3]

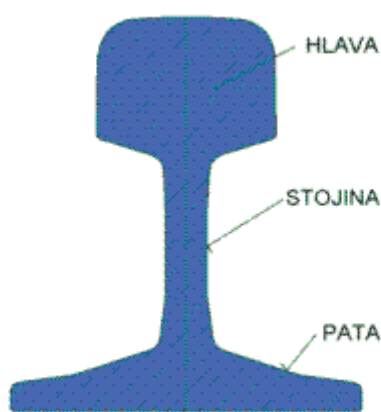
Obručová kola byla vyvinuta pro hnací vozidla z důvodu většího opotřebení těchto kol a potřeby častější opravy jízdní plochy kola. Železniční kolo je kónického tvaru s poloměrem rostoucím směrem k vnitřní straně, na které kolo plynule přechází do tzv. okolku. Okolek je bezpečnostní prvek, který zvyšuje bezpečnost proti vykolejení. Při jízdě do zatáčky setrvačné síly vozidla příslušné kolo zatíží, okolek se opře o bok hlavy kolejnice, čímž se zvýší bezpečnost proti vykolejení.

Celistvá kola jsou vyráběna kováním, lisováním a válcováním z jednoho kusu oceli (z materiálu převážně R7). Hotová kola jsou defektoskopována ultrazvukem a vyvažována. Kola obručová jsou složena z kotouče nebo hvězdice a obruče. Kotouče a hvězdice jsou dnes vyráběny odléváním, obruče jsou válcovány. Opracované obruče se lisují na kotouč za tepla (180 - 220°C), při přesahu za studena

na průměru 1000 mm 1,20 - 1,35 mm. Po natažení je obruč zajištěna vzpěrným kroužkem [4].

Kola jsou jednou z nejnámáhanějších součástí kolejových vozidel. Jejich návrhu i diagnostice se věnuje velmi velká pozornost. Přesnost křivky příčného profilu jízdní plochy řezu kola – tzv. **jízdního obrysu kola** je pak primární charakteristikou určující jak kvalitu jízdy, interakci kola s kolejí a také bezpečnost.

Kolejnice spolu s pražcem a upevněním tvoří tzv. kolejnicový rošt. Hlavními funkcemi kolejnicového roštu jsou nést vozidlo a náklad, bezpečně vozidlo geometricky vést po trajektorii, svou pružností tlumit dynamické účinky a roznést zatížení do dalších vrstev železničního svršku a spodku. V železniční dopravě se používá tzv. širokopatní kolejnice.



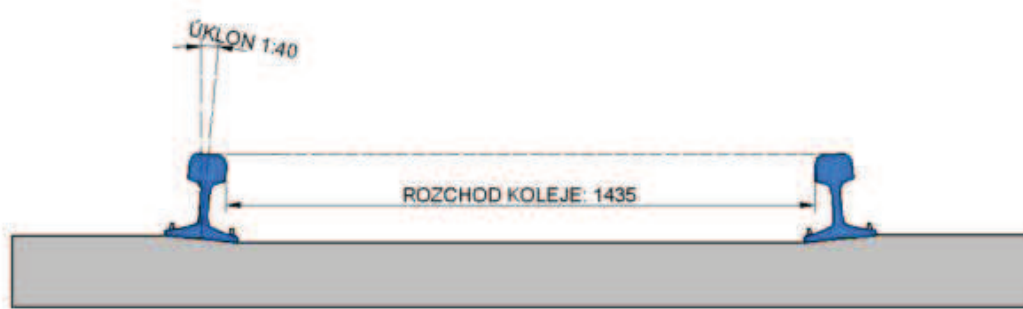
Obr. 2.2 Širokopatní železniční kolejnice [3]

Širokopatní železniční kolejnice se skládá z hlavy kolejnice, stojiny a paty kolejnice. Geometrie horní části hlavy kolejnice, která je při jízdě v kontaktu s kolem je dána tzv. **příčným profilem hlavy kolejnice**. Jde o křivku složenou z několika kružnic různých poloměrů, na přesnost této části kolejnice jsou kladeny velké nároky (v řádech desetin milimetru).

Kolejnice se vyrábí z uhlíkové vysoce legované oceli, požadavky jsou kladeny na vysokou pevnost, otěruvzdornost, korozivzdornost a dobrou svařitelnost. V současnosti Třinecké železářny vyrábějí kolejnicovou ocel o jakosti 900 A. Její pevnost v tahu je 880 až 1030 MPa a tažnost A5 max. 10 %. Obsah uhlíku se pohybuje od 0,6 do 0,8 %. Kolejnice na více zatížených tratích jsou legovány manganem (až 1,3%), křemíkem (do 0,5%) a dalšími prvky. Problém teplotní roztažnosti se dnes řeší svařováním s předpětím.

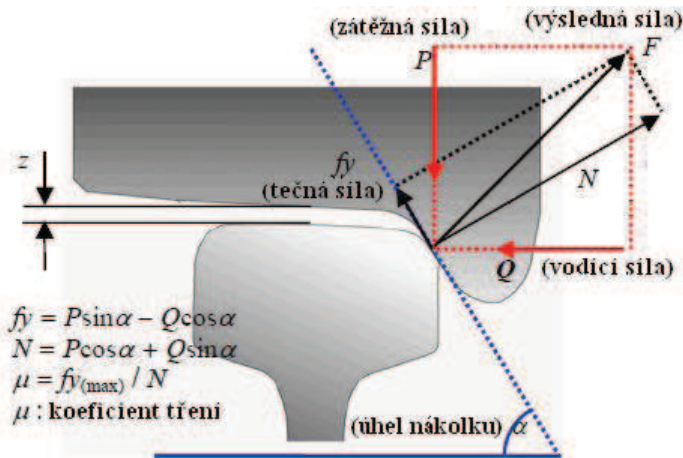
Kolejnice jsou na pražcích uloženy s tzv. úklonem, to znamená, že jsou vychýleny o určitý úhel směrem do osy koleje. Je tak zajištěno zejména neustálé středění dvojkolí do osy pohybu. U ČD se dříve používal úklon 1:20, v současnosti se používá hodnota 1:40.





Obr. 2.3 Úklon kolejnic [3]

Příčný profil hlavy kolejnice, spolu s jízdním obrysem kola se stýkají v kontaktní ploše a v této oblasti rozkládáme působící síly do svislého a příčného směru. Zatěžující síly a výsledné síly působící na kolo jsou orientačně znázorněny na obr. 2.4.

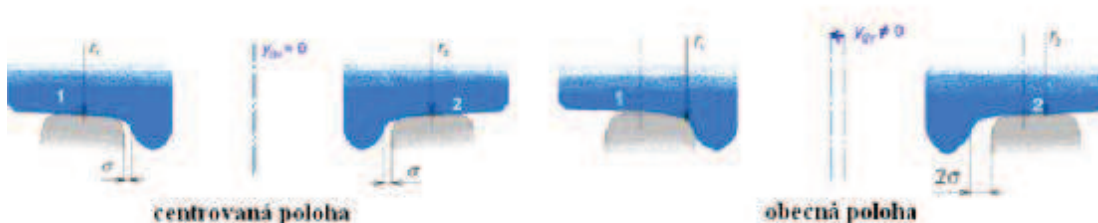


Obr. 2.4 Síly působící na kolo [5]

## 2.2

### 2.2 Jízda kolejového vozidla

Při jízdě železničního vozidla po koleji rozeznáváme v příčném řezu dvě geometrické konfigurace polohy dvojkolí vůči kolejnicím. Jde o centrovanou polohu a o obecnou polohu dvojkolí vůči koleji.



Obr. 2.5 Obecná a centrovaná poloha dvojkolí vůči koleji [3]

Centrovaná poloha dvojkolí vůči koleji je charakteristická tím, že na levé i pravé straně je stejné příčná vůle  $\sigma$ , osa dvojkolí je tedy shodná s osou koleje. Za předpokladu ideálních tvarů jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic se dotykové body nacházejí na tzv. styčných kružnicích o poloměrech  $r_1 = r_2$ . Obě kola se tedy odvalují se stejnou rychlostí.

U obecné polohy je dvojkolí vychýleno od polohy centrované. Uvažujme případ dle obr. 2.5, kdy levé kolo nabíhá okolkem na kolejnici, zatímco pravé kolo je od kolejnice vzdáleno o hodnotu  $2\sigma$ . Poloměry, na kterých se odvalují levé a pravé kolo jsou rozdílné, v tomto případě platí  $r_1 > r_2$ . Nabíhající levé kolo se tedy odvaluje po větším poloměru, což vede k zatáčivému pohybu celého dvojkolí, jež má tendenci navracet se do centrované polohy.

Tento efekt má dva zásadní praktické významy:

- Při jízdě v oblouku koleje dvojkolí zatáčí a opisuje tento oblouk, rozdílné poloměry valení odpovídají různým ujetým drahám vnějšího a vnitřního kola.
- Při jízdě po přímé koleji je dvojkolí nuceno se samovolně centrovat.

### 2.2.1 Jízda po přímé koleji

2.2.1

Při jízdě po přímé koleji je tedy dvojkolí centrováno geometrií jízdních obrysů kol a profilů hlav kolejnic směrem na střed koleje. Lze dokázat, že pohyb ve směru koleje nemůže být nikdy přímočarý. Jinak řečeno střed dvojkolí nemůže nikdy dosáhnout přímočaré trajektorie, nýbrž opisuje harmonickou křivku. Hovoříme o sinusovém, nebo obecně o vlnivém pohybu dvojkolí v přímé koleji. Lze odvodit vztah pro vlnovou délku tohoto pohybu:

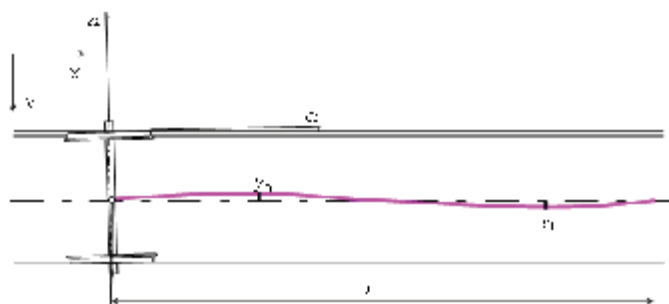
$$L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{R \cdot s}{\gamma}} \quad [3]$$

kde:  $L$  = vlnová délka kmitání [m]

$R$  = poloměr oblouku [m]

$s$  = polovina vzdálenosti styčných kružnic [m]

$\gamma$  = úhel úklonu kolejnic [rad]



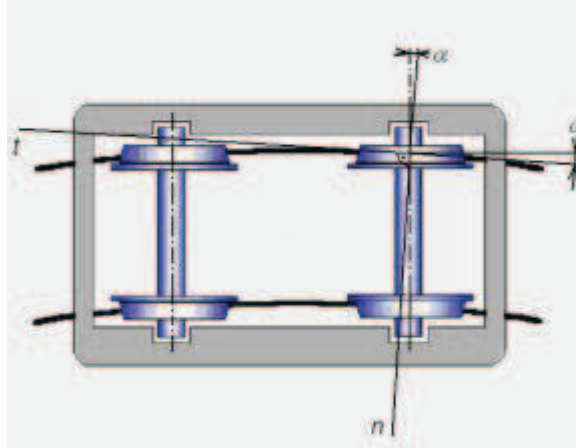
Obr. 2.6 Sinusový pohyb dvojkolí v přímé koleji [3]

### 2.2.2 Jízda v oblouku koleje

2.2.2

Jev, kdy je vozidlo usměrnováno kolejí po zakřivené dráze označujeme jako **vedení kolejí**. V jízdě obloukem je dvojkolí odstředivou silou příčně tlačeno na

stranu vnější kolejnice. Na tomto tzv. nabíhajícím kole se zvýší velikost vodící síly  $\Sigma Y$ . Geometrické postavení dvojkolí vůči koleji je také charakterizováno tzv. úhlem náběhu  $\alpha$ . Součin  $\Sigma Y \cdot \alpha$  pak vyjadřuje ztrátovou třecí práci.



Obr. 2.7 Úhel náběhu kola [3]

Se zvětšujícím se úhlem náběhu  $\alpha$  současně stoupá přídavný jízdní odpor z oblouku, opotřebením kolejníc a kol, hluk a také klesá bezpečnost proti vykolejení. Uvedené negativní jevy je možné řešit buď mechanickým systémem, který umožňuje natáčení dvojkolí do oblouku, nebo mazáním okolů, tedy řízenou aplikací maziva do oblasti kontaktu. Úhel náběhu není charakteristický jen pro jízdu v oblouku, toto přičtení se objevuje i při jízdě po přímé koleji jako důsledek sinusového pohybu dvojkolí. V oblouku koleje nabývá úhel náběhu reálných hodnot řádově ve stupních. I tato malá hodnota hraje velmi významnou roli z hlediska energetických ztrát a opotřebením povrchů kolejníc a kol.

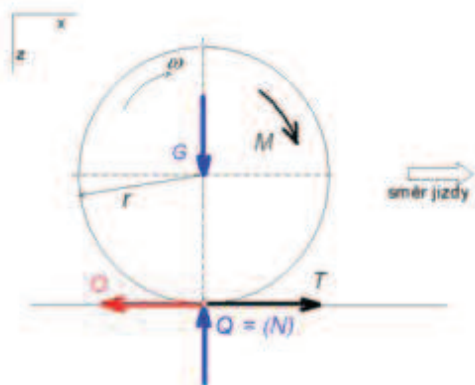
## 2.3

### 2.3 Přenos sil mezi dvojkolím a kolejí

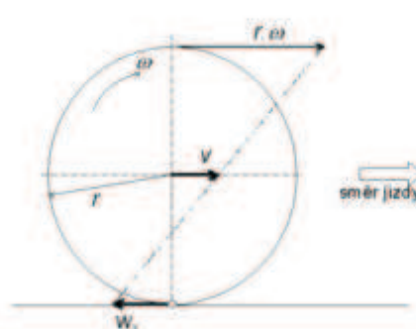
Mechanismem přenosu sil mezi kolem a kolejí je adheze. Adheze je schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou povrchů. Tato schopnost je základem pohybu všech dopravních prostředků, jejichž pohyb je založen na principu valícího se kola po jízdní dráze. U železničního vozidla je jízdní dráhou kolej, tečné síly jsou přenášeny přes kontaktní oblast. Adheze je z fyzikálního hlediska jev, při němž se uplatňují 3 základní jevy – smykové tření, valení a spin. Tyto jevy prakticky nemohou existovat odděleně. Dvojkolí se na koleji otáčí vždy nepatrně větší obvodovou rychlostí než odpovídá celkové rychlosti vozidla. Rozdíl těchto rychlostí se nazývá skluzová rychlost a činí od řádově několika desetin až po cca 3% celkové dopředné rychlosti.

Předpokladem vzniku tečného silového působení je existence svislé kolové síly  $Q$  a relativní skluzové rychlosti  $w$  mezi povrchy. Adhezní vlastnosti vyjadřuje součinitel adheze, což je závislost mezi svislou kolovou silou a tečnou silou.

HNACÍ MOMENT A SÍLY:



RYCHLOSTI:

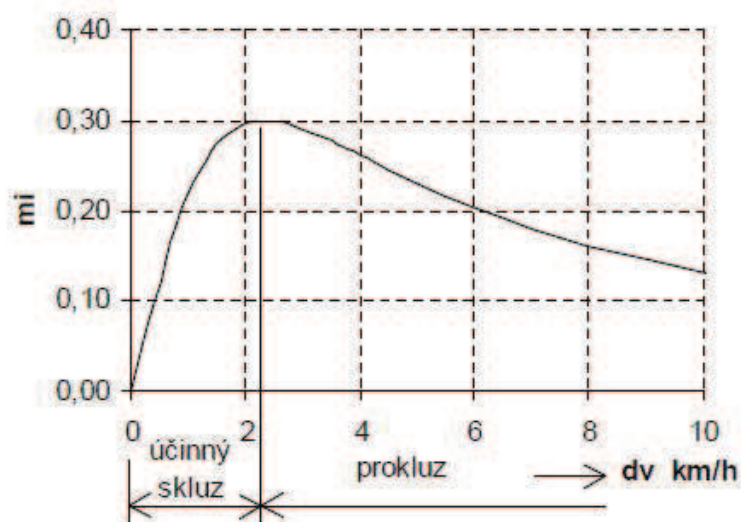


Obr. 2.8 Silové a rychlostní poměry v kontaktu [3]

$$\text{součinitel adheze } \mu = \frac{Q}{T}$$

Součinitel adheze dosahuje svého maxima, tzv. meze adheze  $\mu_{\max}$ . Pro adhezní přenos sil bez prokluzu kol nesmí být okamžitý součinitel adheze větší než mez adheze. Velikost koeficientu adheze závisí na mnoha okolnostech a většinou se určuje experimentálně. Hlavní vliv na koeficient adheze má stav kontaktní plochy, například přítomnost cizích látek ve styku (voda, olej, rez, prach různého původu a složení, listí atd.), rychlost relativního pohybu těles, vlastnosti materiálu stykových ploch (materiálové konstanty, drsnost) a další, obtížně definovatelné okolnosti.

Závislost součinitele adheze na skluzové rychlosti označujeme vyjadřuje tzv. skluzová charakteristika. Její obecný průběh je uveden na obr. 2.9.



Obr. 2.9 Skluzová charakteristika [6]

Pokud při nárůstu skluzové rychlosti roste i adhezní poměr, resp. velikost tažné síly, označujeme tento jev jako účinný skluz. Při překročení koeficientu adheze

skluzová rychlost rychle roste, tečná síla ve styku klesá a dochází k prokluzu. Vrcholu skluzové charakteristiky tedy odpovídá koeficientu adheze.

## 2.4 Mazání okolků kolejových vozidel

Při mazání okolků vozidel je mazivo aplikováno do oblasti, kde jízdní plocha přechází v okolek. Mazivo je aplikováno zpravidla jen u prvního dvojkolí, dále se využívá principu nepřímého mazání, kdy mazivo přechází z kola na kolejnici a tak je zajištěno mazání následujících dvojkolí. Množství aplikovaného maziva je závislé na počtu vagonů vlaku, za běžných provozních podmínek se aplikuje cca 0,2 gramu maziva na nápravu. Toto množství může být také řízeno řídicí jednotkou podle momentálních jízdních podmínek (rychlost jízdy, jízda v oblouku koleje,...).

Nejrozšířenější maziva pro mazání okolků jsou vápenatá, lithiová nebo hlinitá plastická maziva s obsahem grafitu, případně disulfidu molybdenu. Základními požadavky kladenými na mazivo jsou :

- vysoká adheze maziva
- odolnost proti vysokým tlakům
- vysoká teplota vzplanutí
- dostatečná viskozita za nízkých teplot

### 2.4.1 Způsoby aplikace maziva

Podle způsobu aplikace maziva rozeznáváme 4 typy mazání : manuální aplikace, „trackside“ aplikace, aplikace pomocí speciálního vozidla, nebo může být mazací jednotka umístěna přímo na vozidle.



Obr. 2.10 Manuální aplikace [8]



Obr. 2.11 Trackside aplikace [8]



Obr. 2.12 Pomocí spec. vozidla [8]



Obr. 2.13 Mazací jednotka na vozidle [8]

Manuální a trackside aplikace jsou vhodné především pro lokálně problémová místa koleje, jako jsou např. výhybky, úseky s malým poloměrem oblouku a podobně. Aplikace pomocí speciálního vozidla je vhodná zejména pro kratší, málo frekventované tratě, kde by nebylo ekonomické vybavovat každou lokomotivu vlastním mazacím systémem.

#### 2.4.2 Mazací jednotka lokomotivy

2.4.2

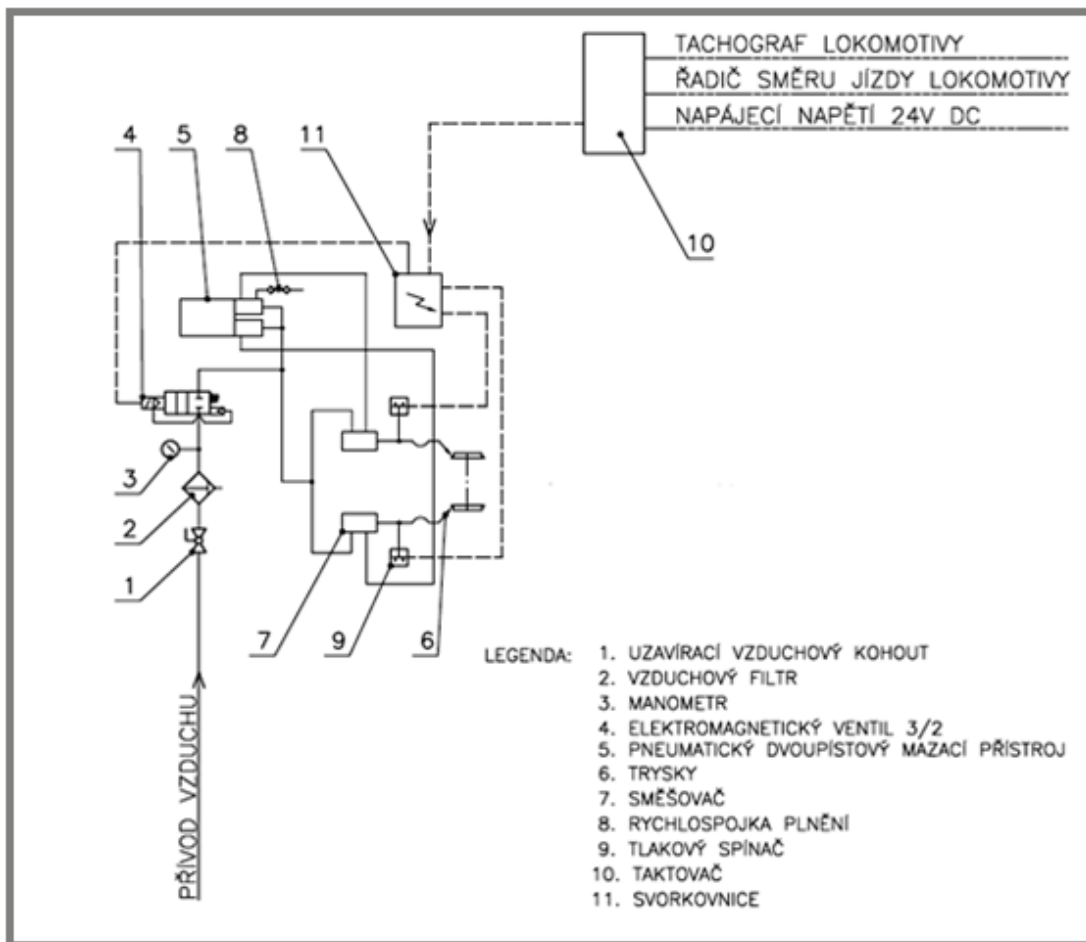
---

Současné mazací jednotky umístěné na lokomotivě jsou většinou řešeny jako centrální mazací systémy poháněné stlačeným vzduchem. Řídící jednotka zpravidla pracuje v několika módech, kdy je množství dávkovaného maziva řízeno momentální rychlostí soupravy. Nově se objevují řídicí jednotky, které obsahují např. GPS modul nebo senzory působících zrychlení, které jsou schopny mazivo dávkovat přímo podle okamžitých jízdních parametrů. Pro ilustraci principu činnosti jsou uvedeny mazací jednotky některých výrobců.

Mazací jednotka OK-02 firmy Tribotec



Obr. 2.14 Mazací jednotka OK-02 firmy Tribotec [9]



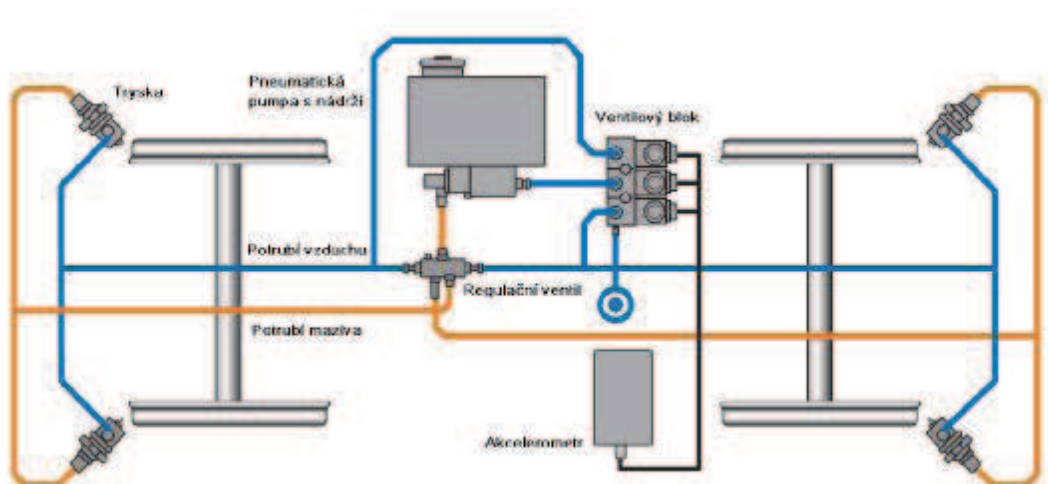
Obr. 2.15 Schéma mazací jednotky OK-02 [9]

Po dosažení požadované rychlosti jízdy spíná taktovač (10) elektromagnetický ventil (4) a tlakový vzduch je veden ke dvojici směšovačů (7) a dvojici pístů mazacího přístroje (5), který dává mazivo do směšovačů (7). Směs maziva a vzduchu vytvořená ve směšovačích (7) je pak vedena bez dalšího dělení přímo k příslušné trysce (6). Tyto mazací jednotky jsou řízeny tachografem, při rychlostech do 5 km/h mazání neprobíhá, při 5-10 km/h jsou okolky mazány pomalým cyklem a nad 10 km/h cyklem rychlým. Mazací cyklus sestává ze dvou fází:

- fáze 1 - aplikace maziva
- fáze 2 – přestávky

Optimální nastavení délky fáze 1 je přitom závislé na délce potrubí k tryskám. Mazána je vždy jedna náprava – „přední“ v závislosti na zapnutí řadiče směru jízdy lokomotivy vpřed nebo vzad [9].

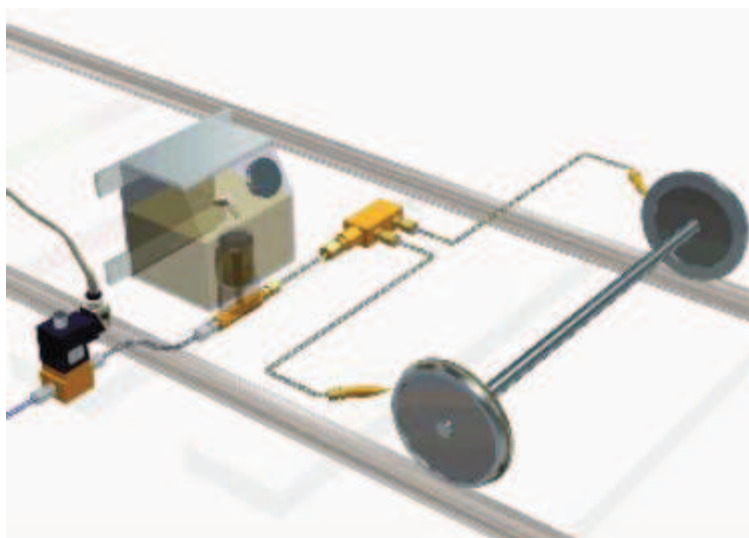
### Mazací jednotka SP8 firmy Vogel



Obr. 2.16 Mazací jednotka SP8 firmy Vogel [10]

Pneumatikky poháněné čerpadlo dávkuje mazivo do regulačního ventilu, odkud je dále vedeno k trysce samostatným potrubím. Množství maziva a vzduchu je zde řízeno ve ventilovém bloku pomocí údajů z akcelerometru. K mísení maziva se vzduchem dochází až přímo v trysce, což vede k lepší kontrole dávkování maziva, nevýhodou tohoto řešení je ovšem větší konstrukční složitost celého systému – je zde potřeba dvojího potrubí zvlášť pro mazivo a zvlášť pro vzduch [10].

### Systém mazání okolků firmy REBS



Obr. 2.17 Systém mazání okolků firmy REBS [11]

Systém firmy REBS je velmi podobný systému OK-02 firmy Tribotec. Mazivo je dávkováno do směšovací jednotky pomocí pneumatického čerpadla. Po smíšení je mazivo unášeno turbulentním prouděním vzduchu podél vnitřní stěny rozváděcího potrubí. Jde o patentovaný systém rozvodu maziva TURBOLUB, kde je

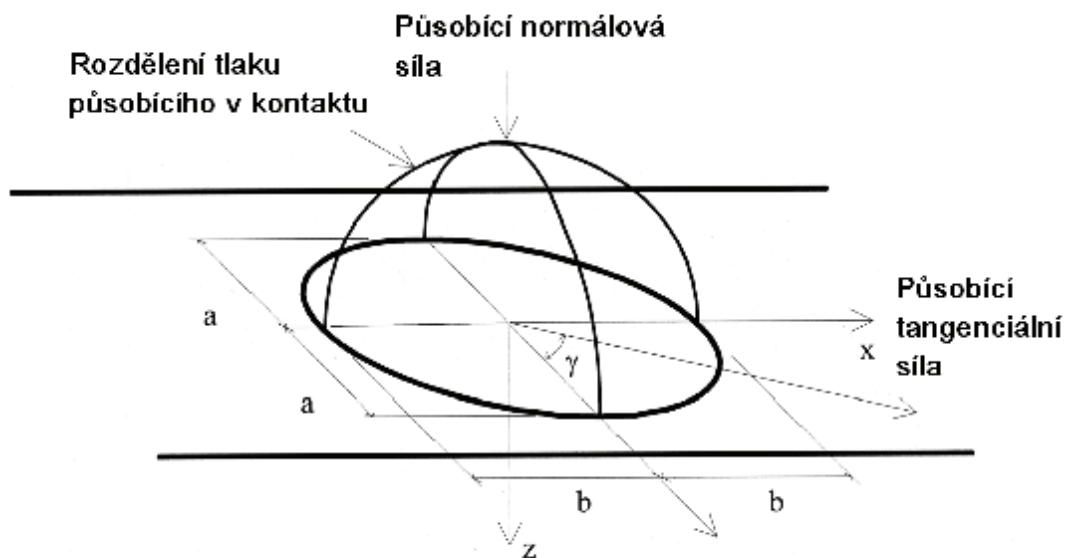


na konci potrubního systému umístěna dýza, která z maziva z okrajů potrubí vytváří aerosolovou směs maziva ve vzduchu aplikovanou přímo na okolek [11].

## 2.5

## 2.5 Mazání okolků z tribologického hlediska

Pro efektivní a ekonomickou železniční dopravu je kontaktní oblast kola a kolejnice jednou z nejdůležitějších oblastí zájmu. První vědecký popis kontaktu kola s kolejí uveřejnil již v 19. století německý vědec Gustav Ludwig Hertz. V letech 1881-1882 zveřejnil analytickou metodu popisující elastický kontakt dvou skleněných čoček. Později ovšem bylo zjištěno, že jeho teorii lze mimo jiné použít k popisu kontaktu zubů ozubených kol, kontaktu těles valivých ložisek a také právě k popisu kontaktu železničního kola s kolejnicí.



Obr. 2.18 Rozdělení působícího tlaku dle Hertzovy teorie [12]

Kontaktní plocha mezi dvěma obecně zakřivenými tělesy má dle Hertzovy teorie tvar elipsy, přičemž tlak působící v kontaktu je popsán rovnicí

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}},$$

kde  $p_0$  = maximální tlak v kontaktu [MPa]  
 $a$  = hlavní poloosa kontaktní elipsy [mm]  
 $b$  = vedlejší poloosa kontaktní elipsy [mm]  
 $x$  = vzdálenost od středu kontaktu ve směru osy X [mm]  
 $y$  = vzdálenost od středu kontaktu ve směru osy Y [mm]

S různými modifikacemi se tato teorie k popisu kontaktu kola s kolejnicí používá až dodnes.

Plocha kontaktu kola a kolejnice dosahuje velikosti cca  $100 \text{ mm}^2$ , tato hodnota je samozřejmě závislá na počtu náprav a hmotnosti vlaku. Typicky 8 (v případě 4-nápravového vozidla) těchto kontaktních ploch musí být schopno přenášet zatížení od cca 30 tun (lehké osobní vozy) až po 140 tun (nákladní vozy) a více. Přes tuto plochu jsou také přenášeny veškeré síly vznikající při zrychlování a brzdění vozidla. Materiál v místě kontaktu a okolo něj je tedy velmi silně namáhán. Dochází zde proto k velkému opotřebení, navíc zde v důsledku charakteristiky zatížení dochází také k únavovému porušení. V místě kontaktu také extrémně vzrůstá teplota až na hodnoty dosahující několika set stupňů Celsia. Úkolem výrobců železničních vozidel je zajistit takové podmínky, aby bylo dosaženo co nejdéších servisních intervalů a co největší životnosti komponentů. Jednou z možností zvýšení životnosti je řízená aplikace maziva do oblasti kontaktu [12].

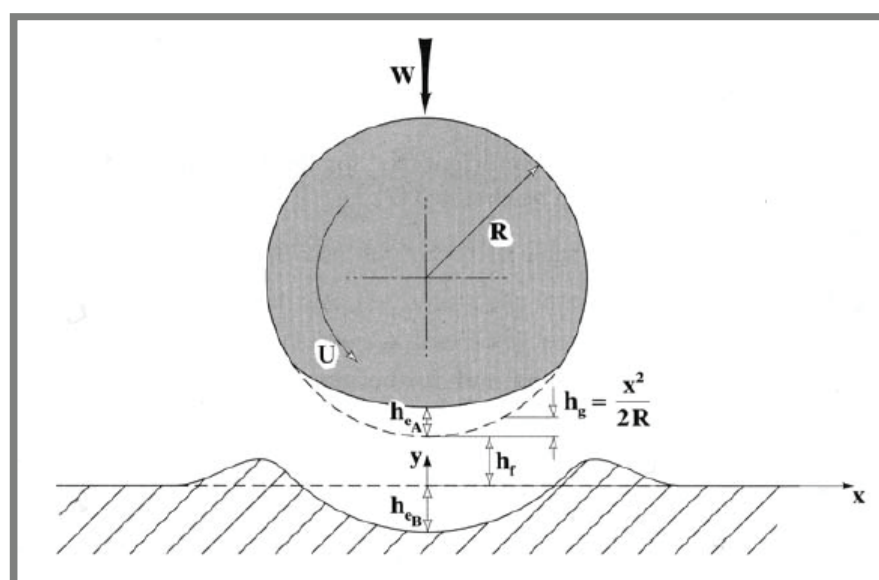
### 2.5.1 Elastohydrodynamický režim mazání

2.5.1

Pro popis chování maziva a kontaktních prvků se nejlépe hodí teorie elastohydrodynamického mazání. Pro režim elastohydrodynamického (EHD) mazání je charakteristické:

- jde o kapalinové mazání
- kontaktní prvky jsou nekonformně zakřivené
- tělesa se nacházejí v relativním pohybu
- dochází k elastickým deformacím kontaktních těles
- vysoké kontaktní tlaky
- dochází ke změně viskozity maziva vlivem zatížení
- velikost elastických deformací řádově stejně velká jako tloušťka filmu

Tvar EHD filmu je tedy ovlivněn deformacemi těles dle obrázku 2.19.



Obr. 2.19 Ovlivnění tvaru EHD filmu elastickými deformacemi [13]

tloušťka mazacího filmu  $h = h_f + h_g + h_e$  [mm],

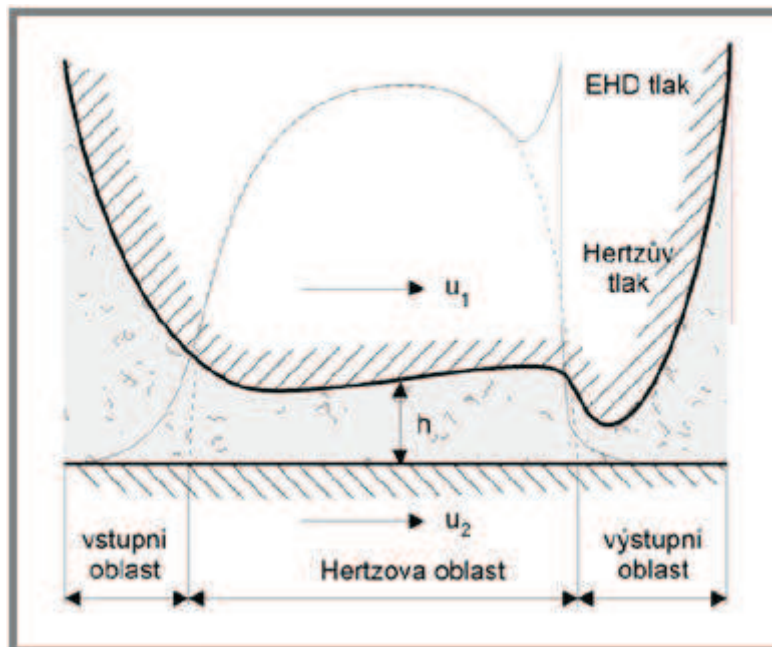
kde  $h_f$  = vzdálenost nedeformovaných těles [mm]  
 $h_g$  = příspěvek geometrie nedeformovaných těles ( $x^2/2R$ ) [mm]  
 $h_e$  = součet elastických deformací obou těles ( $h_{eA} + h_{eB}$ ) [mm]

Při vysokých tlacích, které vznikají při styku dvou nekonformních povrchů pod velkým zatížením, dochází k velkému zvýšení viskozity maziva v místě kontaktu. Viskozita maziva je na tlaku závislá dle Barusova vztahu :

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{\alpha p}, [13]$$

kde  $\mu_0$  = viskozita maziva při atmosférickém tlaku [ $m^2/s$ ]  
 $\alpha$  = viskózně-tlakový koeficient  
 $p$  = tlak v kontaktu [Pa]

Numerickým řešením byl vyjádřen obecný tvar a tloušťka mazacího filmu v elasto-hydrodynamickém režimu dle obr. 2.20,



Obr. 2.20 Tvar mazacího filmu v EHD režimu [13]

bylo zjištěno, že tloušťka mazacího filmu závisí zejména na viskozitě maziva ve vstupní oblasti kontaktu  $\mu_0$  a průměrné relativní rychlosti těles v kontaktu  $u$ . [13]

## 2.5.2

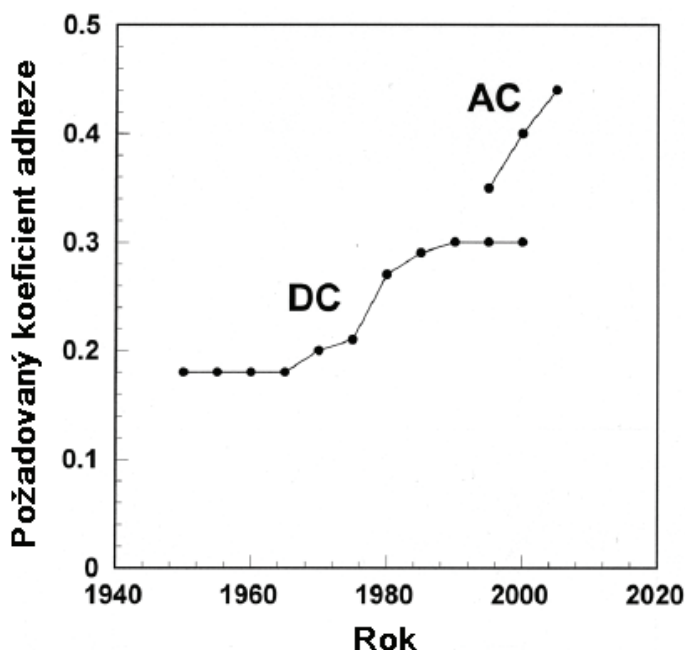
### 2.5.2 Kontrola trakce v kontaktu kolo-kolejnice

Pro nepoháněné železniční vagóny není zapotřebí udržovat větší koeficient trakce než takový, který zajistí dostatečné vedení v koleji na přímých a zakřivených úsecích a pro zajištění dostatečně intenzivního brzdění. Jde tedy o to, zajistit buď mazivem, nebo konstrukcí podvozku těchto vozidel maximální snížení opotřebení při zachování dostatečné trakce pro bezpečný provoz.

Jiná situace je u poháněných kolejových vozidel (lokomotiv). Zde je požadována vysoká adheze pro zajištění přenosu krouticího momentu dostatečného pro požadovanou akceleraci, deceleraci a udržení provozní rychlosti. Vysokého

koeficientu adheze je požadováno zejména u těžkých nákladních souprav, kde až pět spřažených lokomotiv musí být schopno vléci náklad o celkové hmotnosti až 10 000 tun. Novější modely elektrických lokomotiv na střídavý proud (AC) jsou přitom schopny dosáhnout takřka o 100% většího koeficientu trakce oproti starším lokomotivám na stejnosměrný proud (DC). Tento jev je způsoben dvěma hlavními důvody:

- Pokud dojde k prokluzu kol u lokomotivy s DC pohonem, trakční stejnosměrný elektromotor začne okamžitě zvyšovat své otáčky, dochází k prokluzu a koeficient trakce se rapidně snižuje. U lokomotivy s AC pohonem je situace odlišná. Asynchronní elektromotor vytváří točivé elektromagnetické pole, které se oproti hnanému rotoru otáčí zhruba o 1% rychleji. Pokud tedy dojde k prokluzu hnaných kol, motor už z podstaty své funkce ani zvyšovat otáčky nemůže.
- DC lokomotivy zpravidla používají několik přednastavených úrovní výkonu elektromotoru. I když je tento systém jednoduchý a efektivní, není schopen produkovat konstantní moment motoru, protože výkon je součinem točivého momentu a otáček. Proto se tažná síla značně liší u každého stupně nastavení v závislosti na rychlosti, takže je nemožné udržet podmínky maximální přílnavosti. Naproti tomu asynchronní elektromotor AC pohonu umožňuje točivý moment plynule regulovat a udržovat tak optimální trakční podmínky.



Graf 2.21 Vývoj požadavků na koeficient adheze lokomotiv 1940-2020 [12]

Graf 2.20 znázorňuje vývoj požadavku na koeficient adheze lokomotiv v letech 1940-2020 a vyšší schopnost trakce AC lokomotiv oproti DC lokomotivám.

Při provozu kolejového vozidla je požadován různý koeficient adheze dle momentálních provozních podmínek. Správné řízení dávkování maziva v průběhu jízdy je tedy klíčovou součástí přístrojů na mazání okolků [12],[14].

### **3 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA**

Firma Tribotec, s.r.o., je českým výrobním podnikem, působícím v oblasti dodávek centrálního mazání, centrálních mazacích systémů, mazací techniky a hydrauliky. Přístroje pro mazání okolků kolejových vozidel tvoří významnou součást výrobní produkce firmy. Jejich přístroj pro mazání okolků lokomotiv nese označení OK-02.

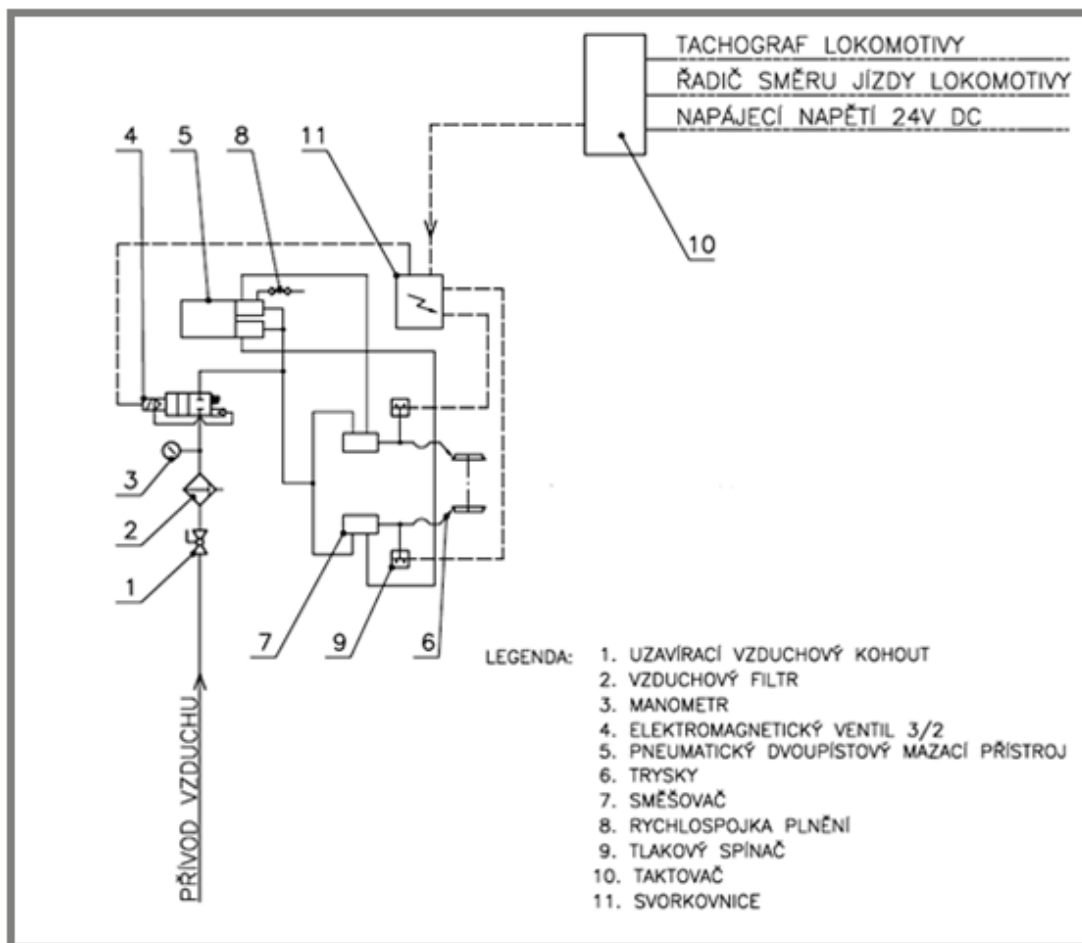
OK - 02 je centrální mazací systém poháněný stlačeným vzduchem. Je určen k mazání okolků lokomotiv převážně s obousměrným provozem. Je to moderní mazací systém, u kterého mazivo rozptýlené ve vzduchu je nastříkáváno přímo na běžné dráhy okolků. Olejová mlha se tvoří ihned za mazacím přístrojem a dále je rozváděna přímo k tryskám, bez dalších mechanických dílů, které mohou být zdrojem poruch.

#### **3.1 Formulace řešeného problému**

Ing. Marek Hruška, zaměstnanec firmy Tribotec s.r.o. , zpracovává disertační práci na ústavu konstruování na téma kontinuální a cyklické mazání otevřených kluzných ploch řízeným postřikem. Jeho práce se zabývá experimentálním a teoretickým výzkumem větvených mazacích obvodů pro kontinuální a cyklické mazání otevřených kluzných ploch metodou řízeného postřiku směsí ekologického plastického maziva a vzduchu s využitím matematického modelování. Výsledky jeho práce pak budou použity pro návrh přístroje pro mazání okolků nové generace. Experimentální část disertační práce bude měřena na experimentálním měřicím stendu. Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem tohoto experimentálního měřicího stendu, který konstrukčně vychází z přístroje OK-02.

## 3.2 Popis přístroje pro mazání okolků OK-02

3.2



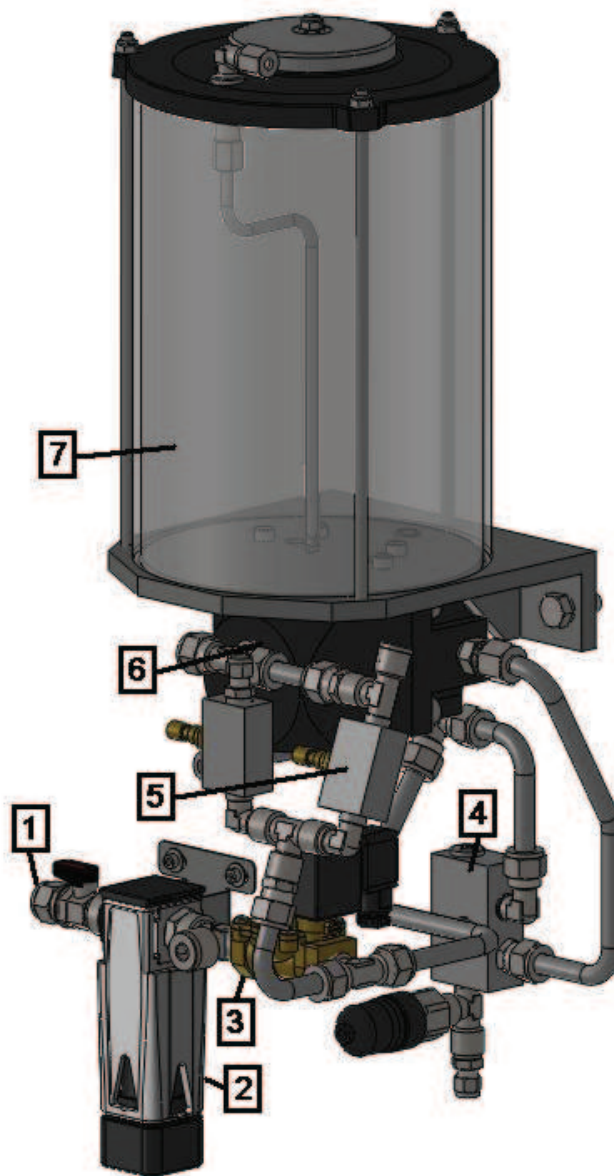
Obr. 3.1 Schéma přístroje OK-02 [12]

Okruh mazání okolků lokomotivy je tvořen dvojicí přístrojových desek se zařízením pro dávkování maziva, jeho směšování se vzduchem, které jsou umístěny v přední a zadní části lokomotivy a společným taktovačem.

Osazení desek je shodné. Sestává ze vzduchové části, připojené na tlakový vzduch lokomotivy, dávkovacího a směšovacího zařízení. Trysky (6) jsou umístěny přímo na nápravě. Vzduchovou část desky tvoří uzavírací kohout (1), filtr (2) s manometrem (3) a elektromagnetický ventil (4).

Olejovou část desky tvoří dvoupístový mazací přístroj (5) s plnicí rychlospojku (8), dvojice směšovačů (7) a kontrolní spínače tlaku (9).

Mazací okruh je řízen elektronickým taktovačem (10), ke kterému jsou připojeny řadič směru jízdy lokomotivy a tachograf lokomotivy. Na taktovači (10) jsou umístěny časové přepínače pro nastavení požadovaných časů, tlačítka volby pracovních režimů a kontrolky funkcí.



Obr. 3.2 Přístroj OK-02

Stlačený vzduch je přiváděn přes kulový ventil (1), vzduchový filtr (2) a řízený elektromagnetický ventil (3), za kterým se potrubí rozděluje na dvě větve. Jedna větev vede přímo ke směšovači (4), druhá větev vede přes škrticí ventil (5) do pístového mazacího přístroje (6). Zde mechanismus poháněný stlačeným vzduchem dávkuje z nádrže (7) potrubím mazivo do směšovače (4). Ve směšovači (4) dochází ke smísení maziva se vzduchem a tato směs je vedena dále až k tryskám.

## **4 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE**

**4**

---

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh experimentálního měřicího stendu vycházejícího z přístroje na mazání okolků OK-02. Na tomto stendu bude prováděno měření veličin nutných pro popis dějů uvnitř přístroje a také vyhodnocení nástřiku maziva přístrojem.

### **4.1 Dílčí cíle práce**

4.1

---

- Konstrukční návrh stendu
- Návrh zpracování signálů měřicích přístrojů
- Tvorba výkresové a průvodní dokumentace



## **5 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ**

### **5.1 Postup řešení**

Postup řešení je chronologicky shrnut v následujícím textu.

- Shromáždění potřebných technických informací
- Tvorba parametrického modelu přístroje OK-02 dle výkresové dokumentace
- Specifikace měřených veličin, regulovaných parametrů a míst měření a regulace
- Výběr vhodných měřicích a regulačních přístrojů
- Adaptace měřicích a regulačních přístrojů do pneumatického mechanismu OK-02
- Tvorba podpůrného hliníkového rámu přístroje
- Tvorba výkresové a průvodní dokumentace

Při adaptaci měřicích a regulačních přístrojů do pneumatického mechanismu OK-02 bylo snahou co nejméně zasahovat do konstrukce přístroje z důvodu snahy o co nejmenší ovlivnění původních průtokových podmínek.

### **5.2 Volba softwarových prostředků pro tvorbu diplomové práce**

Konstrukční část diplomové práce byla zpracována v programu SolidWorks 2008, který používají také ve firmě Tribotec. Dále byl použit program AutoCAD Mechanical 2008 pro práci s výkresovou dokumentací, neboť pro přístroj OK-02 měla firma Tribotec k dispozici pouze 2D výkresovou dokumentaci. Ke konstrukci rámu byl využit software Kanyathek3D výrobce použitého hlinkového systému Kanya. Textová část diplomové práce byla zpracována v programu Microsoft Word 2007.

## 6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

6

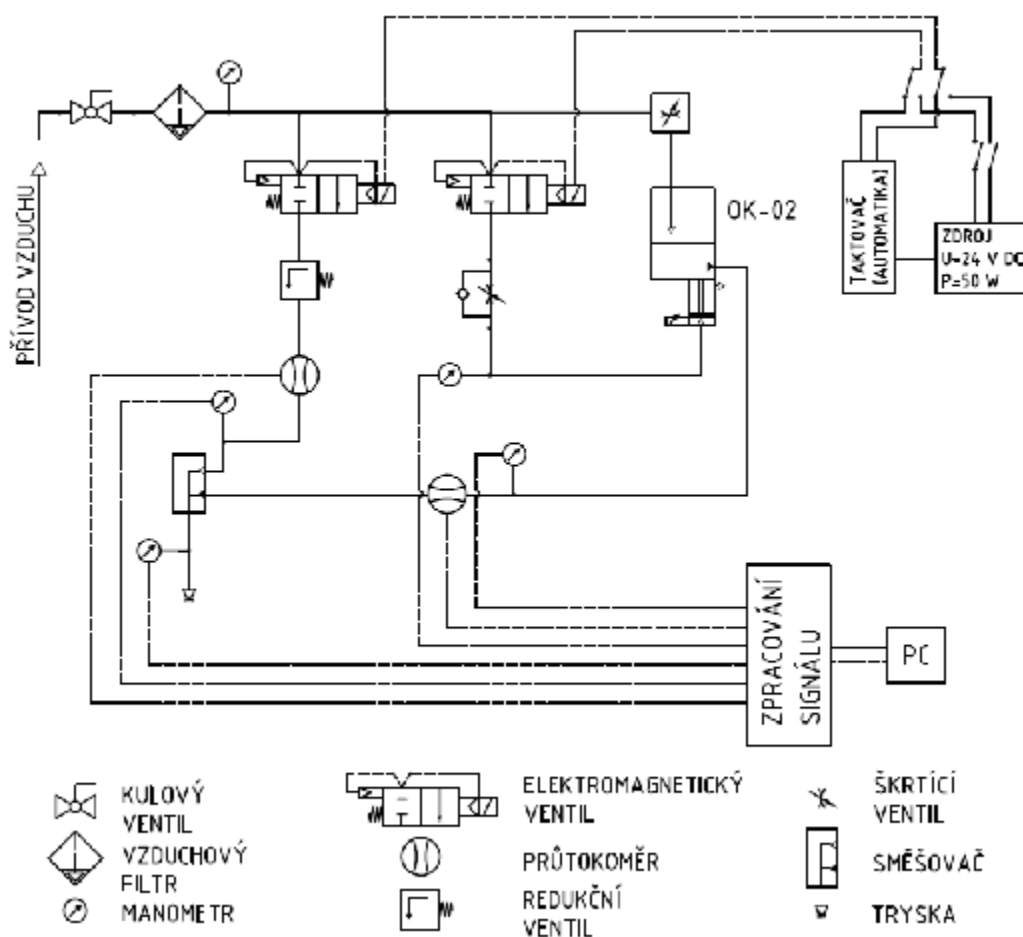
### 6.1 Shrnutí požadavků na stand

6.1

Návrh měřicího stendu vycházel z požadavků firmy, specifikovány byly tyto požadavky:

- regulovat/měřit průtok vzduchu před směšovačem
- regulovat množství maziva dodávaného do směšovače
- měřit množství maziva přicházejícího do směšovače
- navrhnout vyměnitelnou nádrž na mazivo
- měřit tlak ve vybraných místech přístroje

Ve spolupráci s firmou Tribotec bylo vypracováno funkční schéma experimentálního stendu, podle něhož jsem postupoval.



Obr. 6.1 Funkční schéma experimentálního stendu

## 6.2 Regulace/měření průtoku vzduchu

Regulátorů průtoku vzduchu je dnes na trhu již celá řada. Velká většina regulátorů průtoku vzduchu se skládá z tělesa regulátoru s regulační klapkou, sondy pro stanovení průtoku vzduchu a servopohonu pro ovládání regulační klapky. Správný výběr metody měření průtoku média je zde přitom rozhodující.

Tab. 6.1 Osvědčené aplikace jednotlivých typů průtokoměrů [15]

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
<b>Kapaliny</b>												
čisté (voda)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
pomalou proudící (< 2l/min)	X	X	X	X	-	X	?	X	X	?	-	-
rychle proudící (> 20l/min)	X	-	?	X	?	X	X	-	-	-	-	X
nevodivé (např. oleje, rozpouštědla)	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
velké potrubí (DN>500)	X	-	-	?	-	X	X	-	-	X	-	X
horké (>200 °C)	X	?	-	X	X	-	?	X	?	X	-	-
viskózní (>50 cP)	?	-	X	-	-	X	?	X	-	?	-	-
kryogenické (tekutý O <sub>2</sub> )	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	-	-
potraviny (mléko, pivo)	-	-	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
<b>Plyny</b>												
obecné (např. vzduch)	X	X	?	X	X	-	?	X	X	?	-	-
pomalou proudící (<20l/min)	?	X	X	?	-	-	-	X	X	X	-	-
rychle proudící (klimatizace)	X	-	-	-	?	-	-	-	X	?	-	-
horké (>200 °C)	X	-	-	-	X	-	?	?	?	X	-	-
pára	X	-	-	-	X	-	?	?	-	X	-	-
<b>Různé směsi</b>												
kaše (např. barvy)	?	-	-	-	-	X	?	?	-	-	-	-
směs kapalin (voda/olej)	X	-	?	?	X	?	?	X	-	?	-	-
směs plyn/kapalina	-	-	-	-	-	?	-	?	-	-	-	-
korozivní kapaliny	?	?	?	?	?	X	X	X	-	-	-	-
korozivní plyny (HCl)	?	?	-	?	?	-	-	-	-	-	-	-
kaly v hornictví	?	-	-	-	-	X	-	-	-	?	X	-
prášky/zrna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	?	X	-
<b>Otevřené kanály</b>												
obecné (řeky, kanály)	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X
odpadové kanály	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
zavlažování	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X

S1 DP-tlak.rozdíl -škrticí orgány (clony)

S2 Jiné typy DP (Pitot, plováčkové)

S3 Terčíky

S4 Turbíny

S5 Vírové/fluidické

S6 Elektromagnetické (indukční)

S7 Ultrazvukové

S8 Coriolisovy

S9 Tepelné

S10 Jiné(vážení, značky, rad. záření)

S11 Průtokoměry pevných částic

S12 Otevřené kanály

- X vhodné
- ? vhodné pouze za jistých podmínek
- nevhodné

Z tabulky 6.1, osvědčených aplikací jednotlivých typů průtokoměrů vyplývá, že pro měření průtoku vzduchu se nejvíce hodí diferenční průtokoměry, průtokoměry pracující na principu tlakového rozdílu, turbínové, vírové, fluidické, Coriolisovy a tepelné průtokoměry.

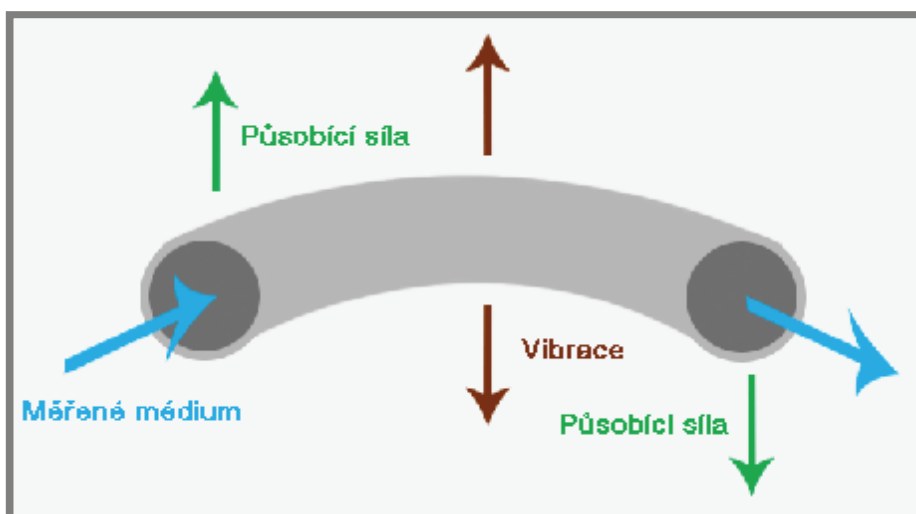
### 6.2.1 Coriolisovy hmotnostní průtokoměry

6.2.1

Coriolisovy hmotnostní průtokoměry využívají principu Coriolisova zrychlení. Měřicím členem je zde zakřivená trubice, která je elektromagneticky vertikálně rozkmitávána a vykonává periodický kývavý pohyb s harmonickým průběhem o kmitočtu  $\omega$ . Při nenulové rychlosti průtoku měřeného média budou vznikat Coriolisovy síly opačného směru, vyvolující na trubici krouticí moment daný vztahem:

$$M = 2dF_c = 4db\omega q_m ,$$

- kde
- d= délka zakřivené části trubice [m]
  - b= rameno působící síly [m]
  - q= průtok média [l/s]



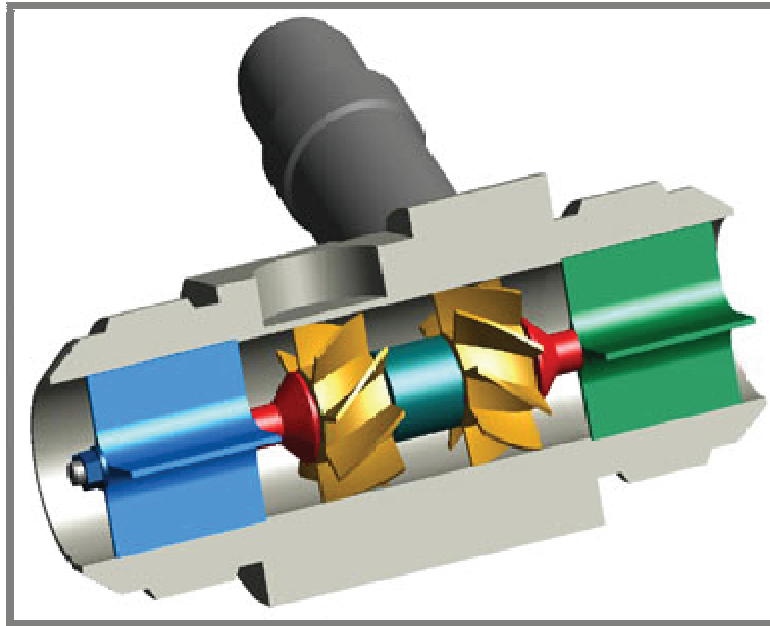
Obr. 6.2 Princip Coriolisova hmotnostního průtokoměru [16]

Měřením působícího momentu je tak možné vypočítat průtok dané látky trubicí. Coriolisovy hmotnostní průtokoměry se však používají spíše pro měření průtoku kapalin, i když v poslední době se po zdokonalení jejich mechanické konstrukce ukázaly jako vhodné i pro měření průtoku plynů [15].

## 6.2.2

**6.2.2 Turbínové průtokoměry**

Protékající tekutina uvádí do rotačního pohybu lopatkový rotor s vhodně zakřivenými lopatkami, umístěný v ose tělesa průtokoměru. Každému průchodu lopatky odpovídá jisté objemové množství a objemový průtok se určuje z počtu průchodů listů turbíny nebo lopatek pod senzorem polohy. Měřený objemový průtok odpovídá proteklému objemovému množství a není přímo závislý na hmotnosti.



Obr. 6.3 Princip turbínového průtokoměru se dvěma protiběžnými rotory [17]

Turbínové průtokoměry při minimalizaci ztrát třením mají široký rozsah lineární závislosti úhlové rychlosti rotoru  $\omega_r$  na rychlosti proudění a ve standardním konstrukčním provedení pracují spolehlivě v rozmezí Reynoldsových čísel 4000 až 20 000. V typickém provedení turbínového průtokoměru je k urovnání proudění umístěn před a za rotorem usměrňovač proudění upravující turbulentní proudění na přibližně laminární.

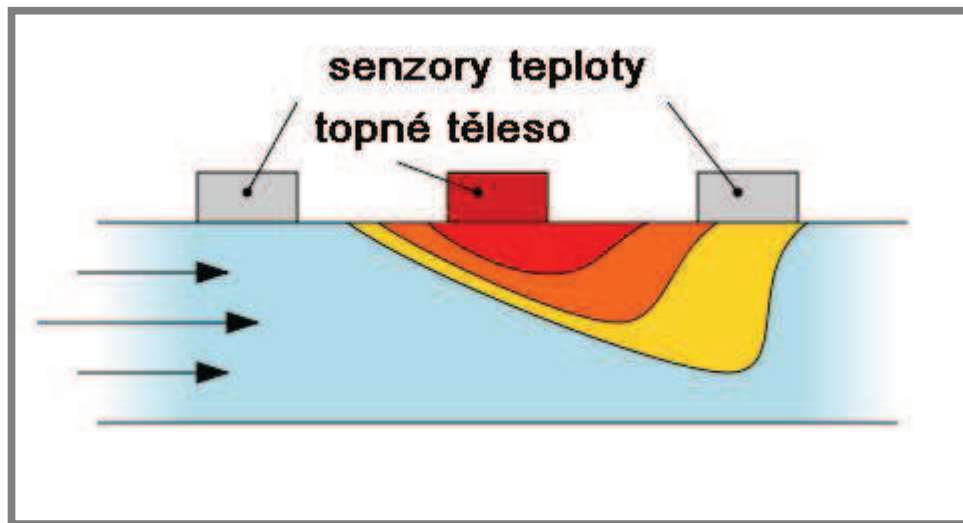
Mezi výhody turbínových průtokoměrů patří široký rozsah měřených rychlostí a dobrá krátkodobá přesnost. Nevýhodou je náchylnost k opotřebení pohyblivých součástí a tím zkrácená doba životnosti [15].

## 6.2.3

**6.2.3 Tepelné průtokoměry**

Tepelné hmotnostní průtokoměry pro průmyslové aplikace využívají závislost mezi rychlostí proudu plynu a odvodem tepla z obtékaného tělesa. Průtokoměr má dva snímací prvky – snímač rychlosti proudění a snímač teploty, jehož výstup se využívá k vyloučení vlivu změny teploty proudícího plynu. Vyhodnocovací elektronika řízeně ohřívá senzor ve snímači rychlosti na teplotu, která je o předem danou hodnotu větší než teplota proudícího plynu. Výkon potřebný k udržení senzoru na této teplotě je úměrný hmotnostnímu průtoku plynu.

Uvedený měřicí princip je velmi vhodný pro měření hmotnostního průtoku suchých plynů o malém tlaku i podtlaku a malé rychlosti proudění, tedy v případech, kdy jsou mnohé jiné měřicí principy nepoužitelné [18].

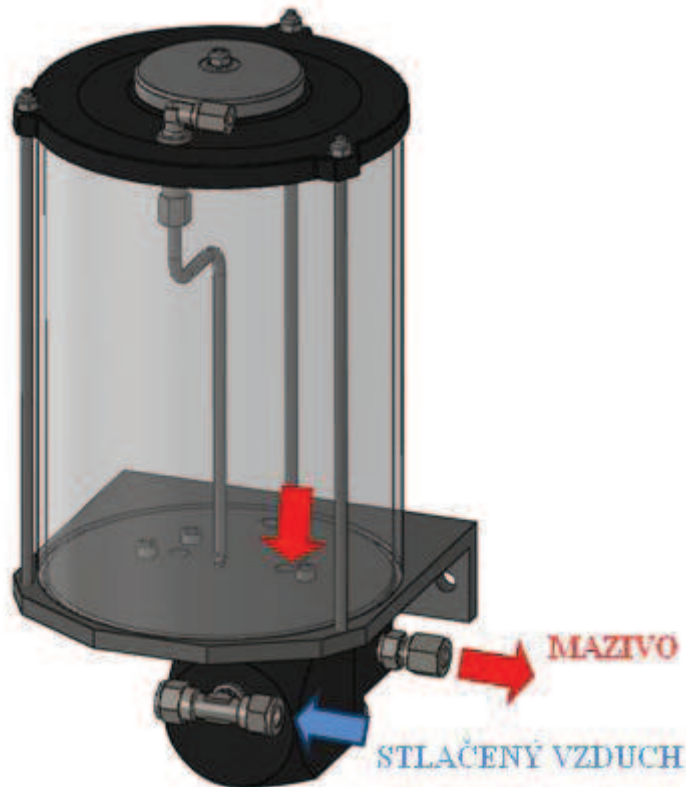


Obr. 6.4 Princip tepelného průtokoměru [19]

Jako nejvhodnější varianta pro měření průtoku vzduchu byl nakonec zvolen **tepelný průtokoměr**, především pro jeho schopnost měřit i velmi malé průtoky plynu, jeho relativně vysokou přesnost a spolehlivost.

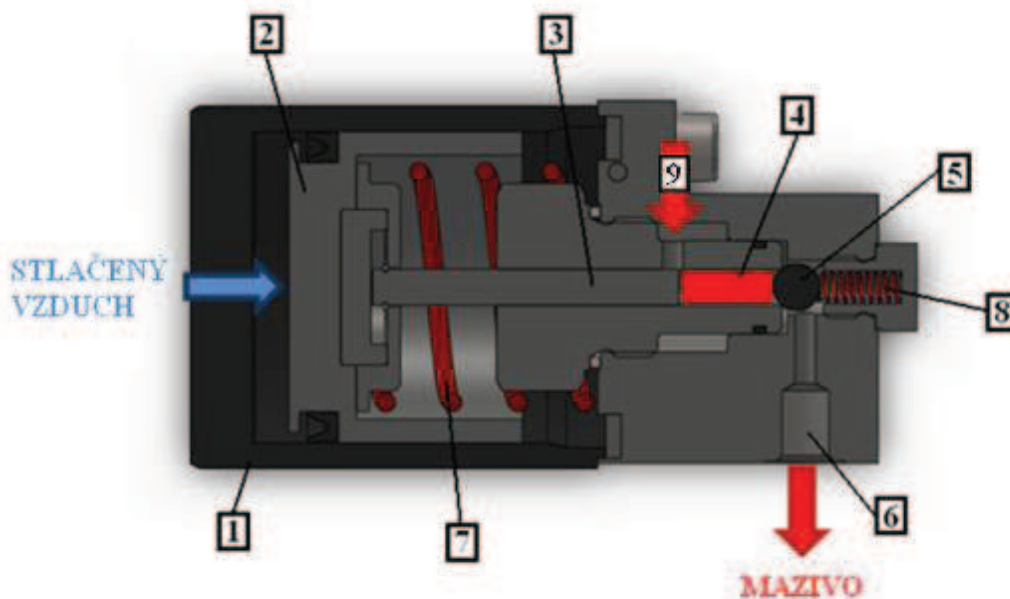
### 6.3 Regulace množství dávkovaného maziva

Dalším z požadavků bylo konstrukční řešení regulace dávkování množství maziva dodávaného čerpadlem. Čerpadlo je poháněno stlačeným vzduchem a dodává mazivo z nádrže do potrubí vedoucího dále do směšovače.



Obr. 6.5 Nádrž a čerpadlo přístroje OK-02

Princip funkce čerpadla je znázorněn na obrázku 6.6 v řezu.



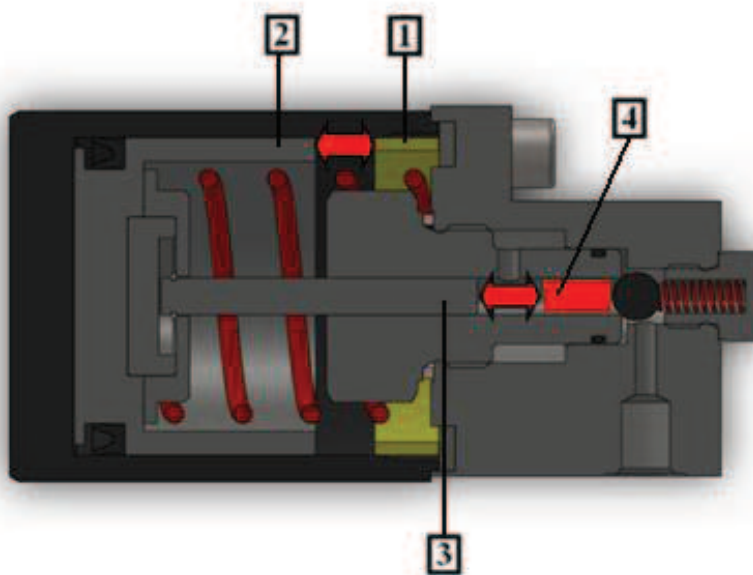
Obr. 6.6 Princip funkce čerpadla OK-02

Stlačený vzduch přicházející do válce (1) uvádí do pohybu píst (2) a s ním zároveň výtlačný čep (3). Tento čep vytlačuje mazivo z prostoru plnicího válce (4) přes těsnicí kuličku (5) dále do potrubí vedoucího ke směšovači (6). Po zamezení přístupu stlačeného vzduchu vrací pružiny  $\varnothing 48$  mm (7) a  $\varnothing 5,8$  mm (8) píst a těsnicí kuličku zpět do původní polohy. Do prostoru plnicího válce natéká gravitačně další dávka maziva od nádrže (9) a čerpadlo je připraveno na další dávkovací cyklus.

### 6.3.1 Regulace pomocí distančního kroužku

6.3.1

---



Obr. 6.7 Regulace pomocí distančního kroužku

Umístěním distančního kroužku (1) do prostoru válce se omezí délka chodu pístu (2) a tím i výtlačného čepu (3). Tak dojde k vytlačení množství maziva přímo uměrnému délce distančního kroužku (4). Tento systém používají ve firmě Tribotec pro úpravu dávkování dle požadavků zákazníka. Je to spolehlivý a jednoduchý způsob konstantní regulace dávkování maziva, ale pro požadavky proměnlivé regulace stendu se nehodí, protože pro změnu množství maziva je nutné čerpadlo rozebrat a vyměnit distanční kroužek za kroužek jiné délky.

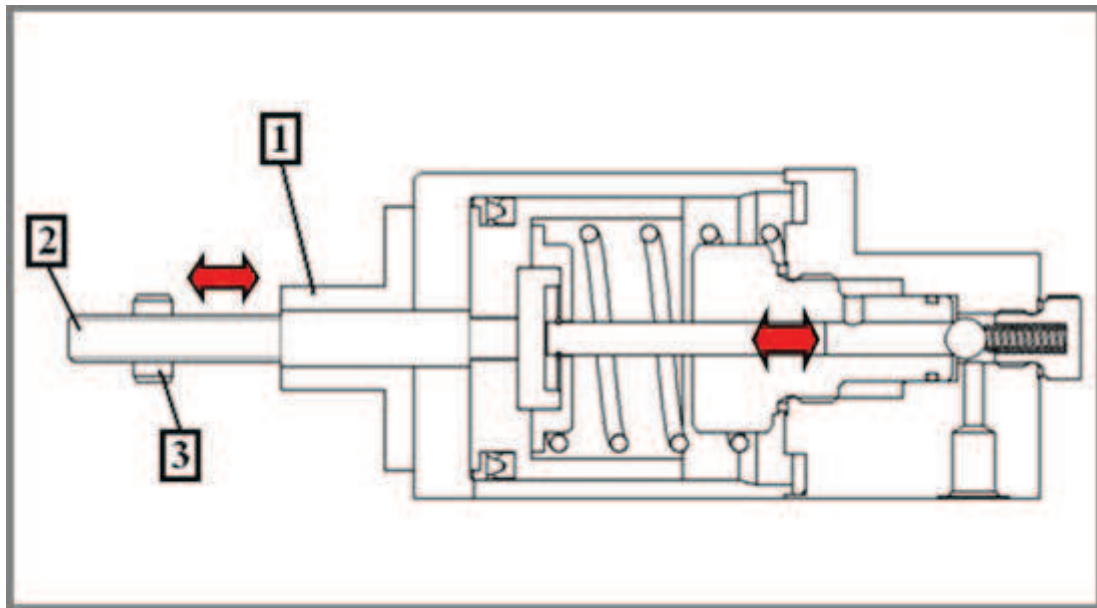
### 6.3.2 Regulace pomocí čepu s maticí

6.3.2

---

Ve spolupráci s pracovníky firmy Tribotec bylo vyvinuto řešení regulace v podobě čepu s maticí (viz obr. 6.8). Příruba (1) s dosedací plochou je umístěna zvenčí na tělese válce. Skrze ni procházející čep (2) je napevno spojen s pístem, na čepu je z druhé strany umístěn závit. Regulací vzdálenosti matice (3) od dosedací plochy příruby dochází k omezení chodu výtlačného čepu a tím je zároveň ovlivněno množství dávkovaného maziva.





Obr. 6.8 Regulace pomocí čepu s maticí

6.4

#### 6.4 Měření množství maziva dodávaného čerpadlem

Množství maziva dodávaného čerpadlem by bylo teoreticky možné určit výpočtem objemu maziva vytěsněného výtlačným čepem v závislosti na nastavení regulační matice, regulační čep označit značkami a takto dávkovat známý objem maziva (viz obr. 6.8). Tento způsob měření objemu by ovšem byl pouze orientační a nepřesný a proto bylo rozhodnuto umístit za čerpadlo ještě průtokoměr.

Pro správný výběr kapalinového průtokoměru jsou důležitými parametry objem protékajícího média za čas a viskozita maziva. Přístroj OK-02 je primárně navržen pro mazivo Mogul Eko OK, i když dovoluje použití jiných maziv. Mogul Eko OK je polosyntetické, polotekuté mazivo, vyrobené ze směsi kvalitního řepkového oleje a syntetického esterového oleje, zpevněné hliníovým mýdlem. Je zušlechtěno přísadami ke zvýšení oxidační stability a ochranných schopností proti korozi. Obsahuje grafit. Vyznačuje se snadnou biologickou rozložitelností. Je určeno především pro ztrátové mazání okolků dvojkolí kolejových vozidel, kolejnic a pro další podobné aplikace, jako biologicky rozložitelná alternativa maziv na ropné bázi. Je vhodné k mazání pohyblivých kontaktů, které pracují ve vlhkém prostředí nebo v přímém kontaktu s vodou. S výhodou se používá k mazání delšími tukovody prostřednictvím centrálního mazacího systému [20].

V běžně dostupném bezpečnostním listu maziva Mogul Eko OK (viz příloha 1) hodnota viskozity uvedena není. Proto byl kontaktován výrobce maziva, společnost Paramo, a. s., který poskytl interní technickou normu maziva Eko OK. V té je uvedena hodnota zdánlivé dynamické viskozity (viz tabulka 6.2)

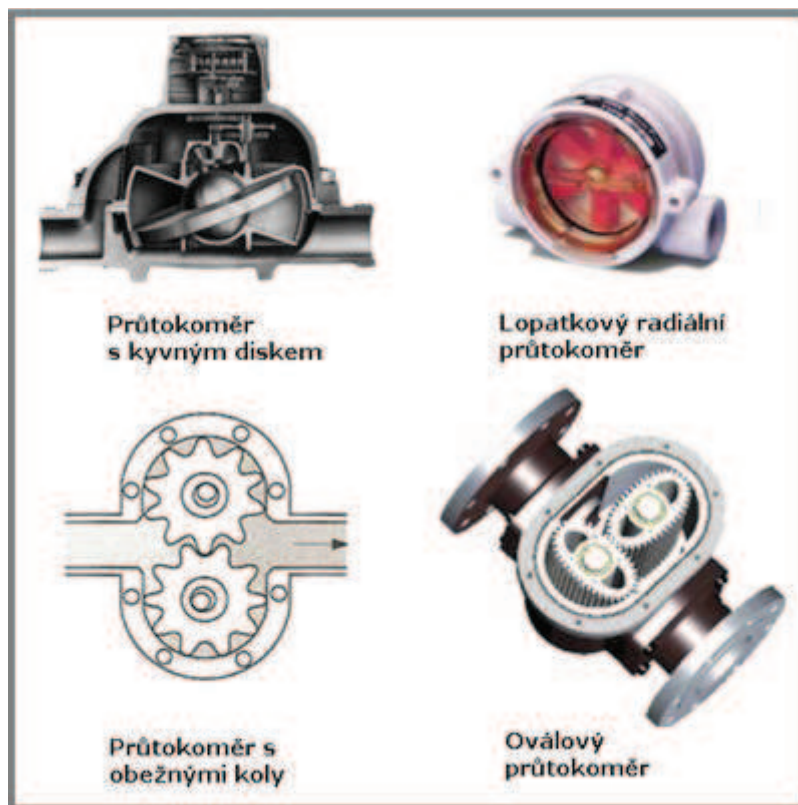
Tab. 6.2 Charakteristické parametry Mogul Eko OK [21]

Parametr	Jednotka	Hodnota	Norma
Teplotní rozsah použitelnosti	°C	-15 až 50	
Zpevňovadlo		Al mýdlo	
Zdánlivá dynamická viskozita při 25 °C a gradientu rychlosti 9 s <sup>-1</sup>	Pa s	1 až 6	PZME č. 509
Zdánlivá dynamická viskozita při -10 °C a gradientu rychlosti 9 s <sup>-1</sup>	Pa s	max. 40	PZME č. 509

Zpevňovaná maziva se již neřadí mezi newtonovské kapaliny, ale mezi kapaliny neneutronovské. To znamená, že jejich viskozita není látkovou konstantou, ale závisí na rychlosti deformace nebo tečném napětí. Údaj o hodnotě zdánlivé viskozity má význam pouze tehdy, jsou-li současně uvedeny podmínky měření a hodnota příslušného rychlostního gradientu.

Objem dávkovaného maziva činí na jeden dávkovací cyklus cca 1 cm<sup>3</sup>, při regulaci dávky tedy 0 – 1 cm<sup>3</sup>. To při průměrné provozní frekvenci dávkování 2 mazací cykly za minutu činí průtok maziva potrubím 0 – 2 ml / min, ovšem ne kontinuálně, ale s přerušovaným průběhem.

Měřit takto malé, nárazové průtoky a takto viskózní kapalinu konvenčními tepelnými nebo Coriolisovými průtokoměry není vhodné, bylo proto rozhodnuto použít mechanického objemového průtokoměru.



Obr. 6.9 Mechanické objemové průtokoměry [15]

**Průtokoměr s kyvným diskem** (obr. 6.9 vlevo nahoře) je průtokoměrem často používaným k měření k odběru vody. Průtok média měřicí komorou způsobuje kývavý pohyb disku, který je spojen s vyhodnocovacím zařízením. Při každé otáčce zachytí průtokoměr stálý objem média a úhlová rychlost otáčení vřetene je přímo úměrná objemovému průtoku kapaliny.

U **lopatkového radiálního průtokoměru** (obr. 6.9 vpravo nahoře) slouží jako měřicí člen oběžné kolo s radiálními lopatkami, osa rotace je kolmá k ose toku média. Pro zvýšení citlivosti lze použít více vtoků, kdy se k oběžnému kolu přivádí kapalina z více otvorů tangenciálně orientovaných k lopatkám turbíny.

**Průtokoměr s oběžnými koly** (obr. 6.9 vpravo dole) funguje na principu do sebe zapadajících ozubených kol. Médium je zachycováno mezi zuby oběžných kol a vysouváno směrem k výtokovému otvoru. Mezi zuby je zachyceno vždy konstantní množství média. Počet otáček se indikuje a z něho se odvozuje průtok kapaliny.

**Oválný průtokoměr** (obr. 6.9 vlevo dole) je složen ze dvou ozubených oválných těles zapadajících do sebe a komory. Při otáčení těles vznikají mezi nimi a stěnami komory střídavě se plnící a vyprazdňující odměrné prostory. Při dodržení rozměrů kol a vyloučení prokluzu mezi zuby může být dosaženo velmi malých hodnot nejistot [15].

Jako nejvhodnější byl nakonec vybrán **průtokoměr s oběžnými koly**, protože je vhodný pro měření kapalin s vysokou viskozitou a pro měření průtoku s přerušovaným průběhem.

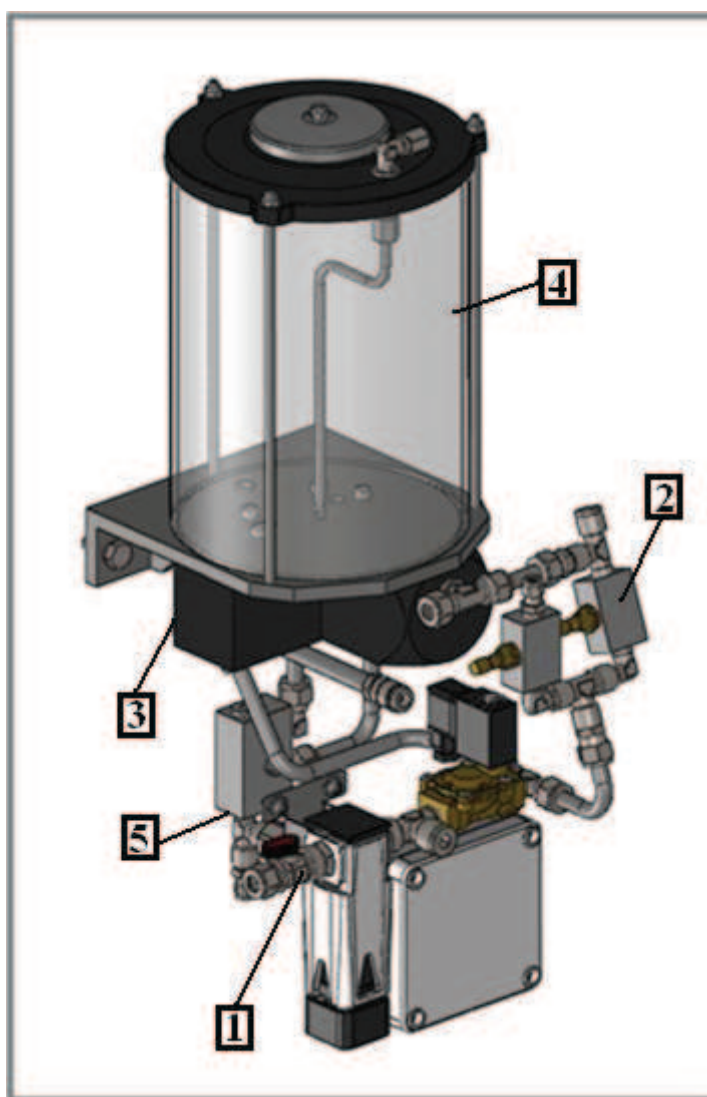
## 7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

7

### 7.1 Tvorba parametrického modelu přístroje OK-02

7.1

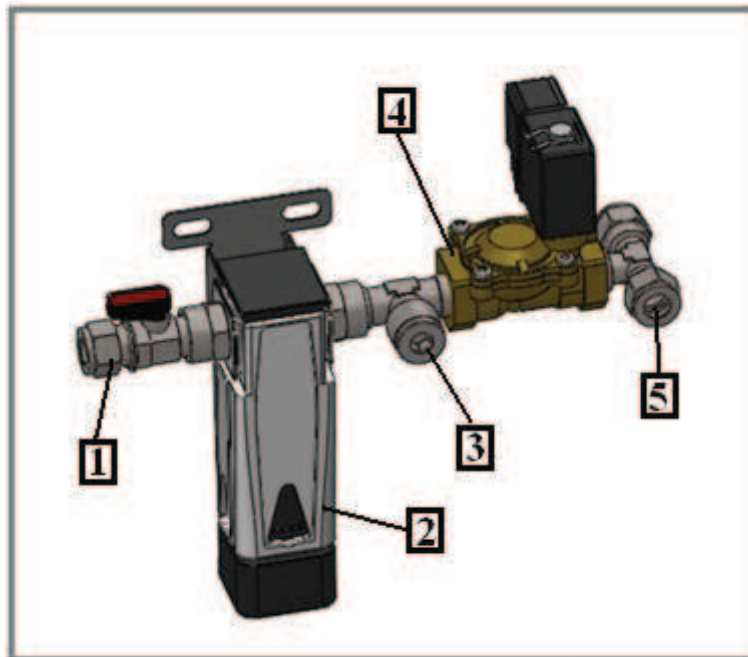
Prvním krokem při návrhu stendu byla tvorba parametrických modelů přístroje OK-02. Model byl vytvořen v programu Solidworks 2008 dle dodaných výrobních výkresů. Přístroj OK-02 používá 2 čerpadla a 2 směšovače, zvlášť pro levé a pro pravé kolo lokomotivy. Pro potřeby měřicího stendu však postačovalo modelovat pouze jednu mazací větev (1 čerpadlo a 1 směšovač), obě větve jsou zrcadlově symetrické.



Obr. 7.1 Parametrický model přístroje OK-02

Model OK-02 obsahuje 142 součástí a dosahuje velikosti 32,3 MB dat. Na popisu jednotlivých podsestav je patrný i princip činnosti přístroje. Sestava přístroje se skládá z podsestav přívodu vzduchu (1), škrticích ventilů (2), sestavy čerpadla (3), nádrže (4) a sestavy směšovače (5).

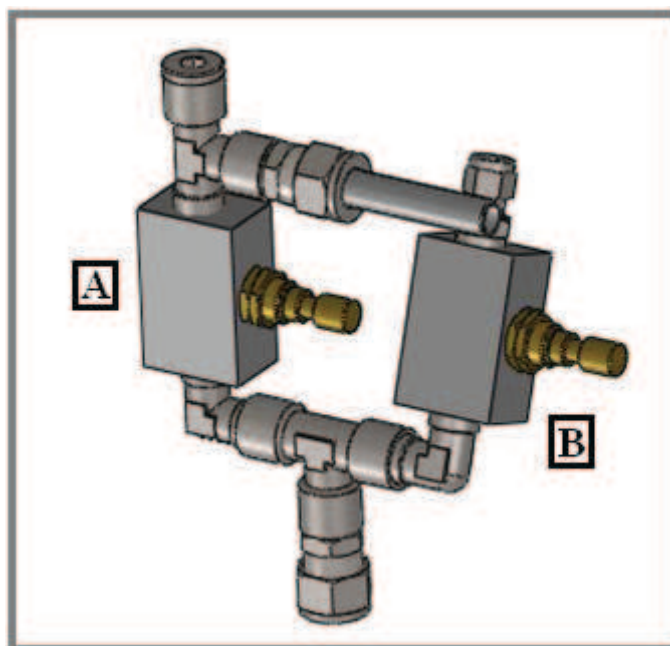
### 7.1.1 7.1.1 Přívod vzduchu



Obr. 7.2 Přívod vzduchu

Sestava přívodu vzduchu sestává z kulového ventilu Aignep (1) , filtru pevných částic Parker (2), T- šroubení Aignep rozměru 3/8 (3 a 5) a elektromagnetického solenoidového ventilu ASCO. Elektromagnetický ventil je přitom řídicím členem celého přístroje, protože jeho otevíráním a zavíráním se řídí činnost čerpadla maziva i přívod vzduchu do směšovače.

### 7.1.2 7.1.2 Škrťací ventily



Obr. 7.3 Škrťací ventily

Škrticí ventily jsou v přístroji umístěny z důvodu regulace tlaku vzduchu pohánějícího čerpadlo (ventil A) a vzduchu k provzdušnění nádrže (ventil B).

### 7.1.3 Pneumatické čerpadlo

7.1.3

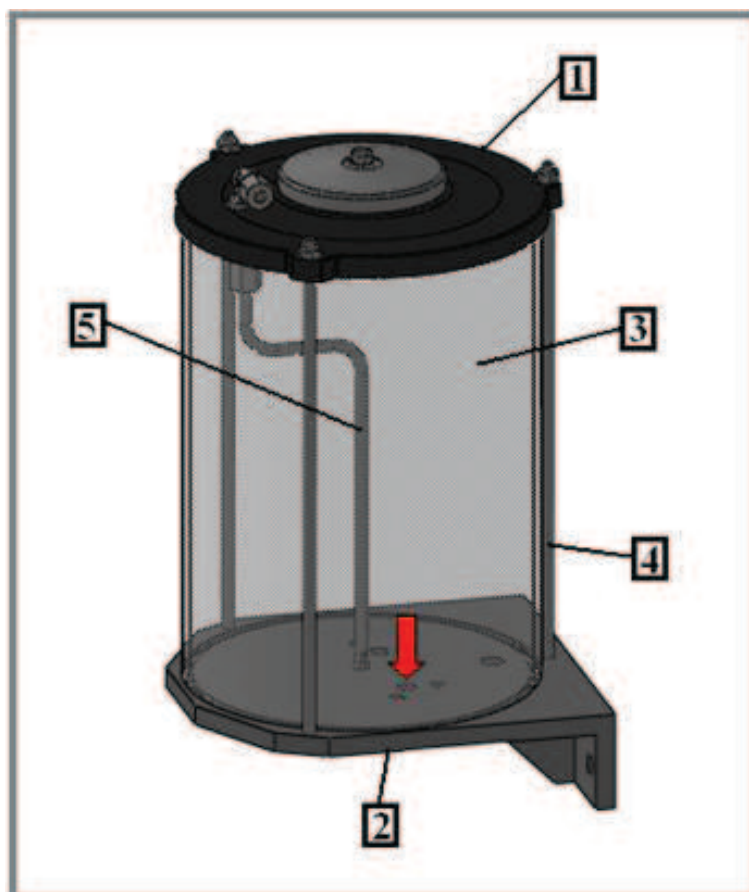
---

Princip funkce čerpadla je již uveden v kapitole 6.3, regulace množství dávkovaného maziva.

### 7.1.4 Nádrž maziva

7.1.4

---



Obr. 7.4 Nádrž maziva

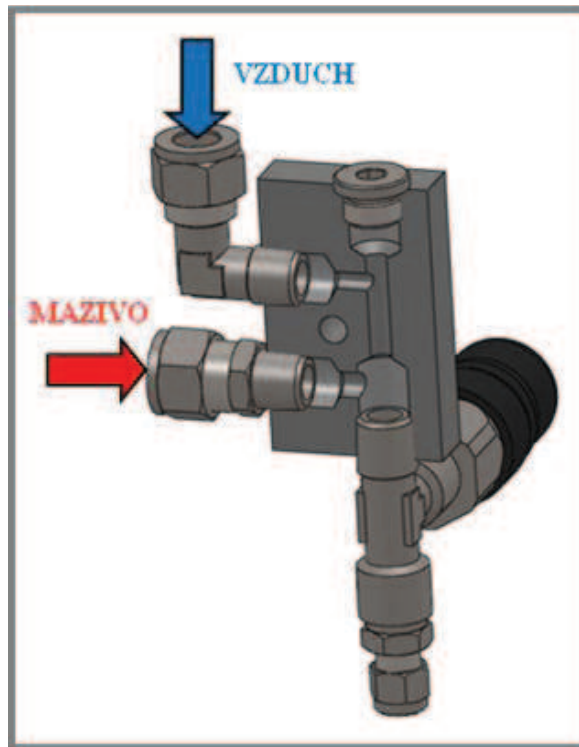
Sestava nádrže maziva se skládá z víka nádrže (1), dna (2), skla (3), vzpěrných svorníků (4) a provzdušňovacího systému (5). Provzdušňovací systém je přes jeden ze škrticích ventilů (viz kapitola 7.1.2) poháněn stlačeným vzduchem a zabraňuje sedimentaci grafitových částic maziva na dně nádrže. Ve dnu nádrže je umístěn otvor, kterým gravitačně natéká mazivo do čerpadla.

### 7.1.5 Směšovač

7.1.5

---

Ve směšovači dochází k mísení maziva dodávaného od čerpadla se vzduchem a výsledná směs je vedena dále ke trysce (viz obr. 7.5). Za směšovačem je také umístěn tlakový spínač, který dává informaci řídicí jednotce při sepnutí.

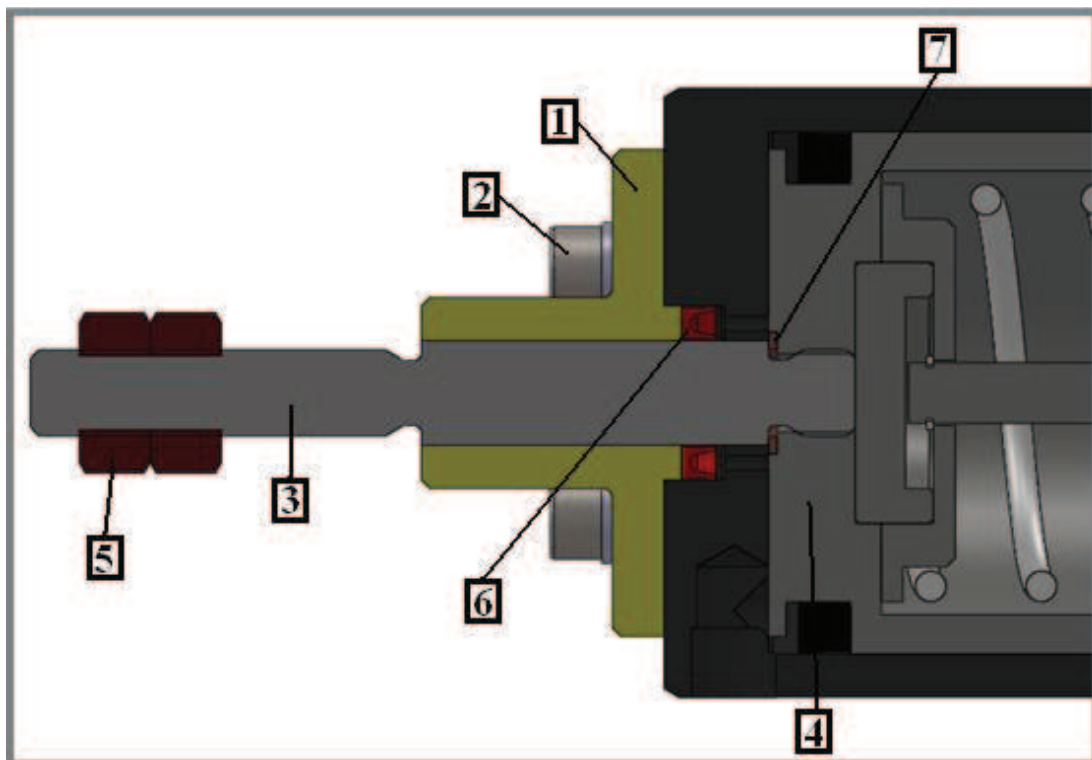


Obr. 7.5 Směšovač

7.2

## 7.2 Úprava pneumatického čerpadla maziva

Pro regulaci dávkování maziva bylo nakonec vybráno řešení pomocí čepu s maticí (viz kapitola 6.3.2).

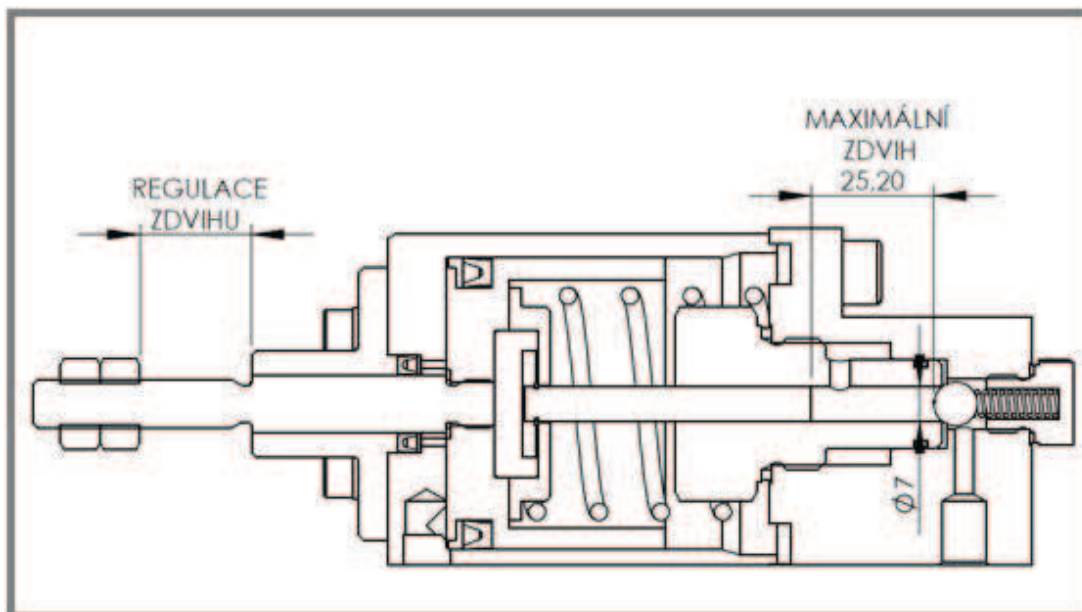


Obr. 7.6 Konstrukční úprava čerpadla

Příruba (1) je k tělesu válce uchycena čtyřmi šrouby M6x12 (2). Čep (3) procházející přírubou je do tělesa pístu (4) uchycen pomocí závitu M10. Z druhé strany čepu jsou našroubovány dvě regulační matice M10 (5), umožňující regulovat zdvih pístu od 0 mm až po 25 mm. Ve stěně válce je také umístěna těsnicí manžeta profilu U dle ČSN 02 9261 (6), aby nedocházelo k úniku vzduchu ven z válce. Mezi čepem a tělesem pístu je umístěn měděný těsnicí kroužek 10x14x1 dle ČSN 029310 (7), který zabraňuje nežádoucímu pronikání vzduchu do prostoru válce za pístem.

### 7.2.1 Výpočet dávky maziva

7.2.1



Obr. 7.7 Konstrukční úprava čerpadla II

Maximální dávku maziva bude čerpadlo dávkovat při maximálním zdvihu výtlačného čepu (viz obr. 7.7). Objem maziva vytlačeného při maximálním zdvihu pístu tedy činí:

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{\pi 7^2}{4} \cdot 25,4 = 977,5 \text{ mm}^3 = 0,9775 \text{ ml}$$

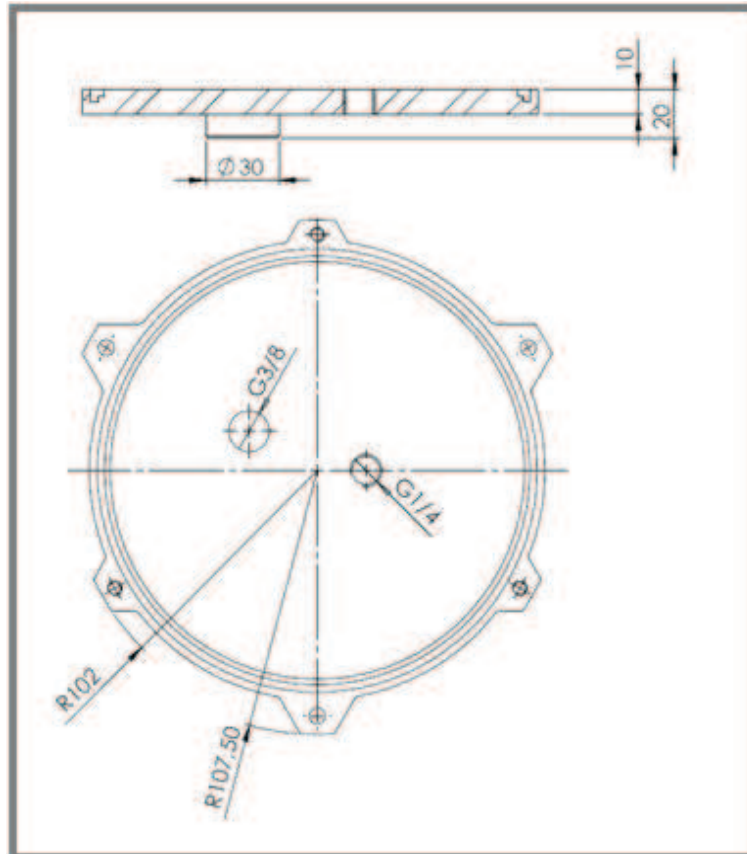
Úpravou čerpadla jsme tedy schopni regulovat dávku maziva na jeden zdvih v rozmezí 0 – 0,9775 ml. Při regulaci zdvihu maticemi o 1 mm zmenšíme dávku maziva o:

$$V_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l = \frac{\pi 7^2}{4} \cdot 1 = 38,5 \text{ mm}^3 = 0,0385 \text{ ml}$$



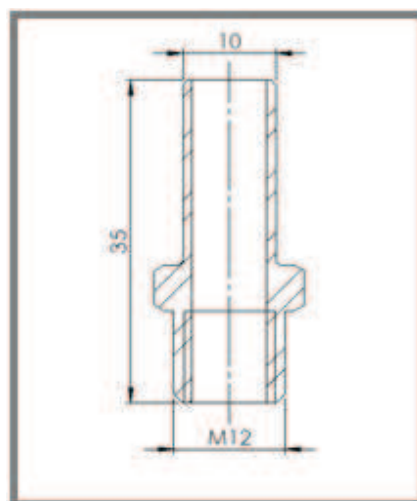
### 7.3 Návrh vyměnitelné nádrže na mazivo

Aby bylo možno na stendu provádět měření s různými druhy maziva, byl jedním z požadavků konstrukční návrh vyměnitelné nádrže maziva. Bylo navrženo nové dno nádrže dle obr. 7.8.

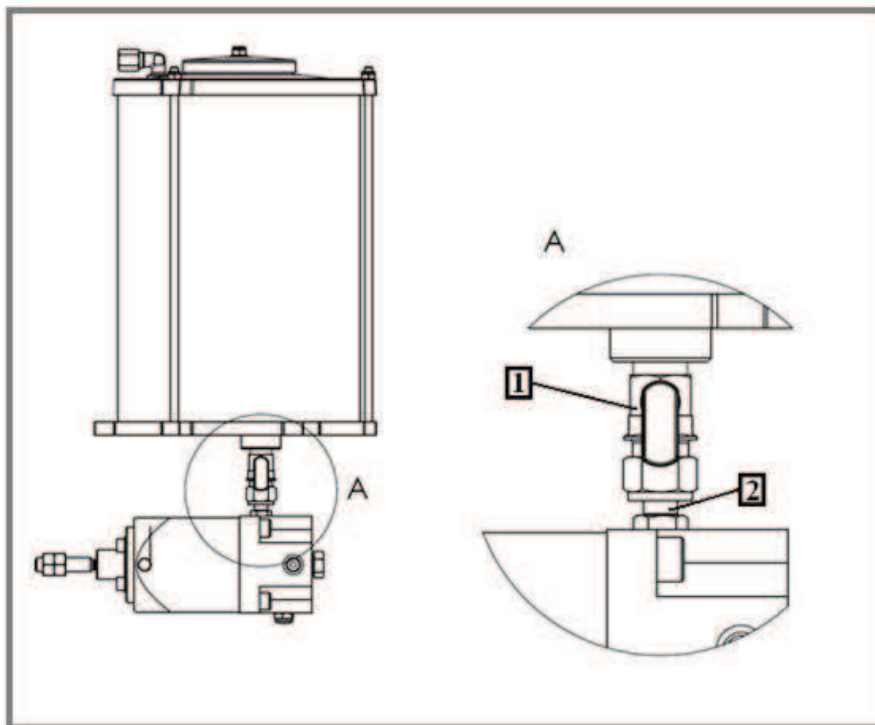


Obr. 7.8 Dno nádrže

Do závitu G 3/8 ve dně nádrže je vešroubován kulový ventil 3/8 Aignep, viz obr. 7.10, pozice 1. Do ventilu je vsunut dutý čep, viz obr. 7.10, pozice 2 a obr. 7.9.

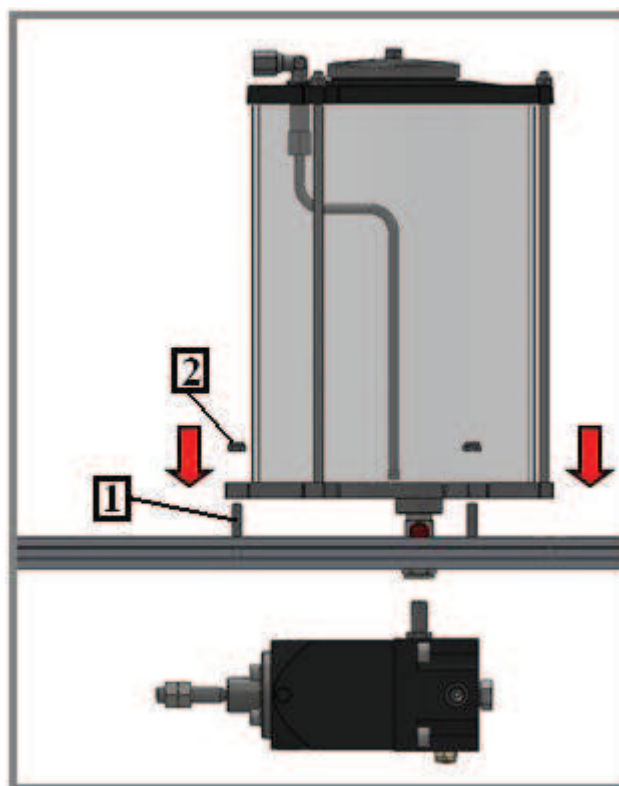


Obr. 7.9 Dutý čep připojení čerpadla



Obr. 7.10 Sestava čerpadla a nádrže

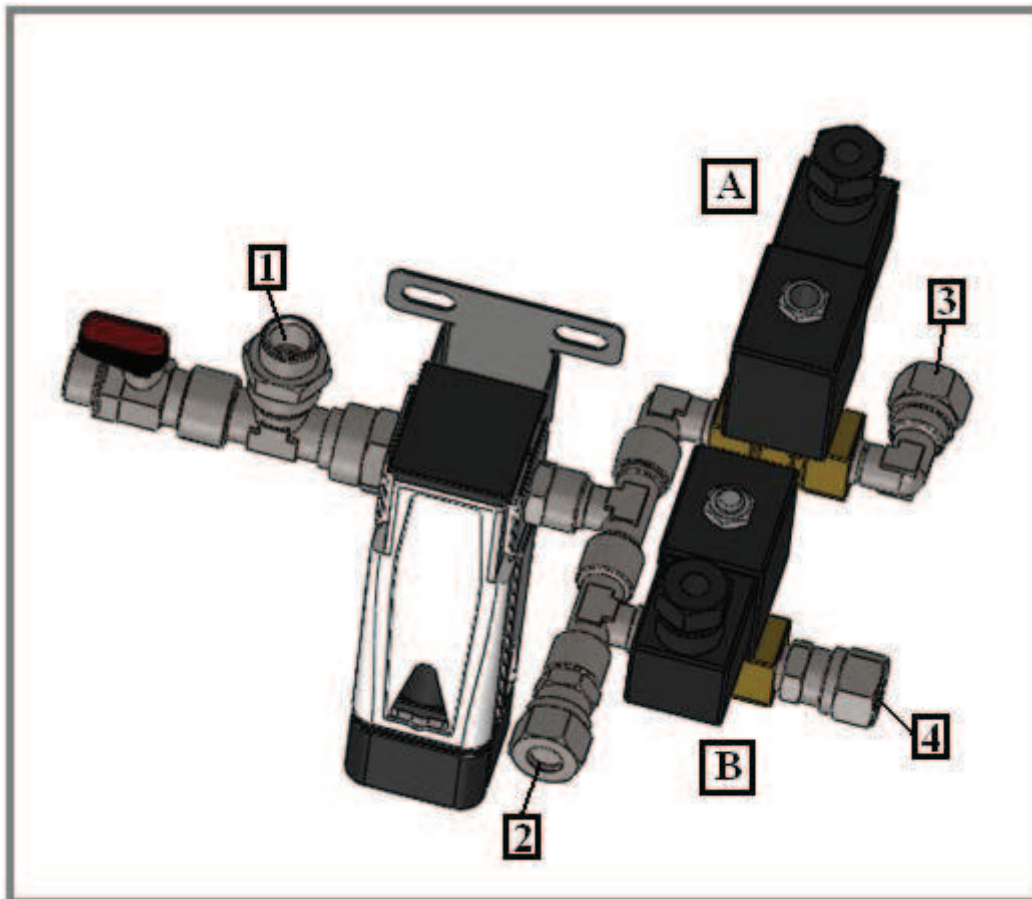
Nádrž je nasazena na závrtné šrouby uchycené v rámu (1) a zajištěna maticemi M6 (2). Dutý čep čerpadla dosedající do ventilu je zajištěn pákou ventilu.



Obr. 7.11 Nasazení nádrže

## 7.4 Přívod vzduchu stendu

Sestava přívodu vzduchu byla přepracována dle obr. 7.12. U původního přístroje OK-02 byl použit jeden pneumatický ventil, který řídil zároveň přívod vzduchu do směšovače i spínání čerpadla maziva. Ve stendu jsou použity dva ventily ASCO SCE 238 dle funkčního schématu stendu (obr. 6.1). Jeden slouží pro řízení přívodu vzduchu do směšovače (A), druhý pro spínání čerpadla (B). Tím je dosaženo nezávislého řízení přívodu vzduchu a maziva do směšovače.



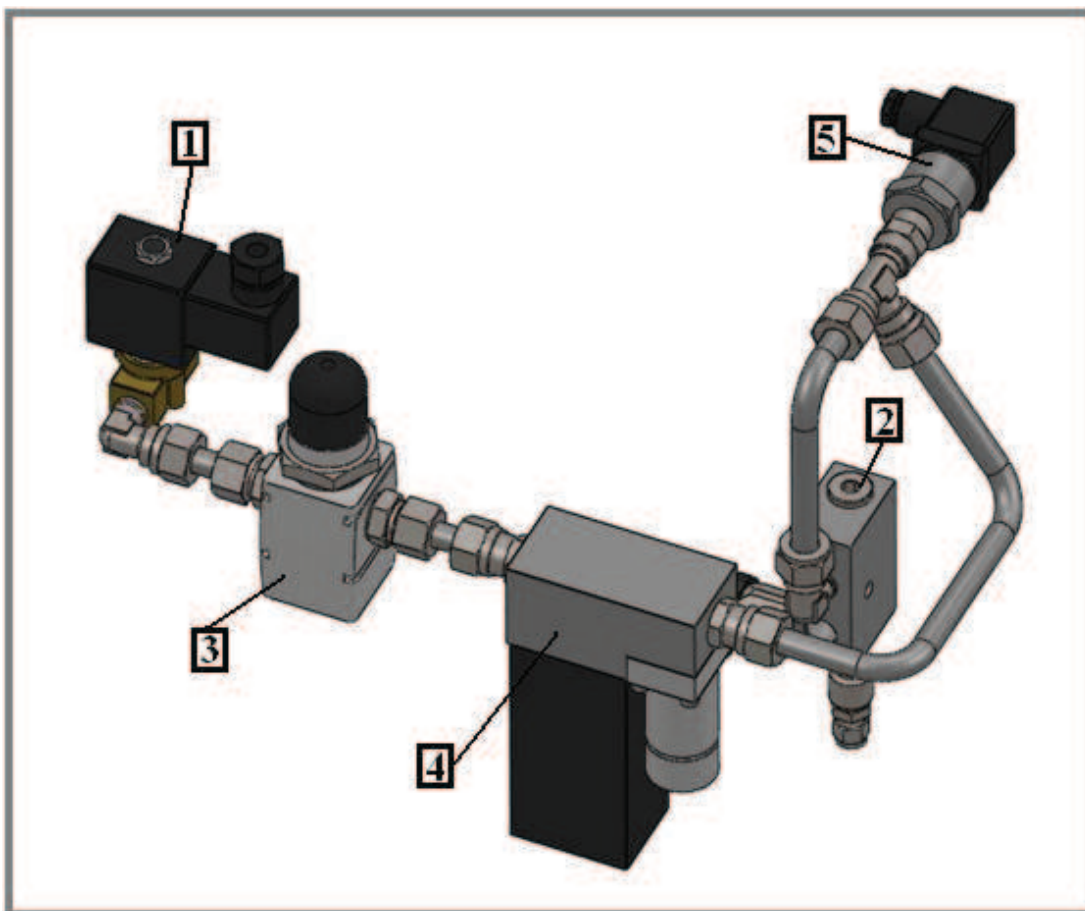
Obr. 7.12 Přívod vzduchu stendu

V sestavě je za kulovým uzavíracím ventilem umístěno šroubení pro měření vstupního tlaku vzduchu (1), za vzduchovým filtrem je ještě před ventily umístěn vývod pro provzdušňování nádrže (2). U přístroje OK-02 je větev pro provzdušňování nádrže umístěna až za ventilem a k provzdušňování nádrže tak dochází až po sepnutí ventilu. Umístěním vývodu před ventilem vede k provzdušňování již při otevření kulového ventilu, což je pro koncepci měřicího přístroje vhodnější. Větev za ventilem A (3) vede vzduch do směšovače, druhá větev za ventilem B (4) k čerpadlu.

## 7.5 Přívod vzduchu do směšovače

7.5

V přívodu vzduchu mezi ventilem (1) a směšovačem (2) jsou umístěny tlakový regulátor (3), průtokoměr a regulátor průtoku (4) a manometr (5). Lze tak regulovat, měřit tlak a objemový tok vzduchu do směšovače.



Obr. 7.13 Přívod vzduchu do směšovače

### 7.5.1 Tlakový regulátor

7.5.1

Tlakový regulátor umožňuje nastavení požadovaného tlaku vzduchu v potrubí. Byl zvolen regulátor P3HRA vyráběný firmou Parker. Jeho technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.1.



Obr. 7.14 Parker P3HRA [22]

Tab. 7.1 Technické parametry tlakového regulátoru Parker P3HRA [22]

Port size	Description	Order Code	Flow l/s *	Max bar	Min temp °C	Max temp °C	Height mm	Width mm	Depth mm	Weight g
G1/8	8 bar relieving	P3HRA11BNNP	15	17	-20	+80	112	40	40	196
G1/8	8 bar relieving	P3HRA11BNGP	15	17	-20	+80	112	40	78	200
G1/4	8 bar relieving	P3HRA12BNNP	29	17	-20	+80	112	40	40	196
G1/4	8 bar relieving	P3HRA12BNGP	29	17	-20	+80	112	40	78	200

7.5.2

7.5.2 Průtokoměr a regulátor průtoku

Dle kapitoly 6.2, Regulace/měření průtoku vzduchu, byl jako nejvhodnější způsob měření průtoku zvolen tepelný průtokoměr. Konkrétně byl zvolen digitální regulátor průtoku/průtokoměr Brooks SLA 5851 D (viz příloha 2).



Obr. 7.15 Brooks SLA 5850 D [23]

Základní technické informace jsou uvedeny v tabulce 7.2.

Tab. 7.2 Technické parametry průtokoměru/regulátoru průtoku Brooks SLA 5850 D [23]

Digitální tepelné hmotnostní průtokoměry						
Typ	Model	Měřicí rozsah	Přesnost	Max tlak psig (bar)	Vstup/ výstup	Napájení
Regulátor/ průtokoměr těsnění elastomer	Model SLA5800	3 sccm – 2500 lpm	±0.7% hodnoty, 1.0% hodnoty nebo 0.2% měřicího rozsahu	4500 (300)	0-5 V ss, 4-20 mA, RS485	13.5-27 V ss
					DeviceNet	11-25 V ss
					Profibus*	15-24 V ss
					Foundation Fieldbus	14-27 V ss
Regulátor/ průtokoměr odolný vůči vlivům počasí	Model SLAMF	3 sccm – 2500 lpm	±0.7% hodnoty, 1.0% hodnoty nebo 0.2% měřicího rozsahu	1500 (100)	0-5 V ss, 4-20 mA, RS485	13.5-27 V ss
					DeviceNet	11-25 V ss
					Profibus*	15-24 V ss
					Foundation Fieldbus	14-27 V ss
Regulátor/ průtokoměr těsnění elastomer	Model 4800	50 sccm – 40 slpm	±1.0% nebo ±3.0% měřicího rozsahu	150 (10)	0-5 V ss, 4-20 mA	15-24 V ss

## 7.5.3 Manometr

7.5.3

Pro měření tlaku v celém přístroji byl vybrán piezoelektrický manometr s analogovým výstupem Honsberg PS-010 (viz příloha 3).



Obr. 7.16 Honsberg PS-010 [24]

Základní technické údaje jsou uvedeny v tabulce 7.3

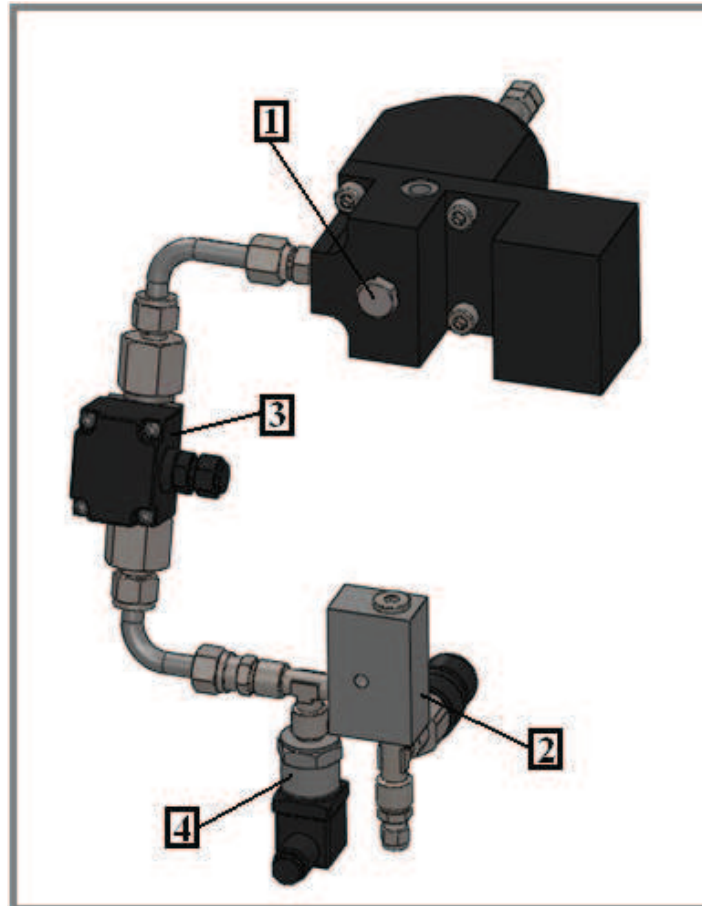
Tab. 7.3 Technické parametry Manometru PS-010 [24]

	G	Type	PN bar	measuring range bar (rel.)	weight kg
1.4305	G 1/4 A	PS-006K008H	18	0 - 6	0.15
		PS-010K008H	30	0 - 10	0.15
		PS-016K008H	48	0 - 16	0.15
		PS-025K008H	75	0 - 25	0.15
		PS-040K008H	120	0 - 40	0.15
		PS-100K008H	200	0 - 100	0.15

maximální teplota média	max. 125°C
tolerance	±0.5 %
hystereze	<0.2%
opakovatelnost	<0.5%
teplotní kompenzace	<0.02%/K
odezva	<3ms

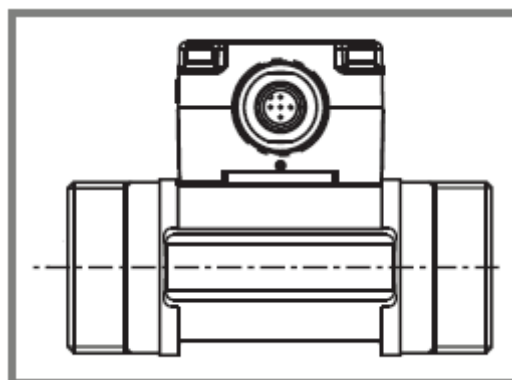
## 7.6 Přívod maziva do směšovače

V přívodu maziva mezi čerpadlem (1) a směšovačem (2) jsou umístěny průtokoměr (3) a manometr (4). Manometr je použit stejný jako v přívodu vzduchu do směšovače, tedy Honsberg PS-010.



Obr. 7.17 Přívod maziva do směšovače

Dle kapitoly 6.4, měření množství maziva dodávaného čerpadlem, byl pro měření průtoku maziva zvolen průtokoměr s oběžnými koly. Konkrétně byl zvolen průtokoměr s oběžnými koly Bürkert 8012 DN 8 (viz příloha 4).



Obr. 7.18 Průtokoměr Bürkert 8012 DN 8 [25]

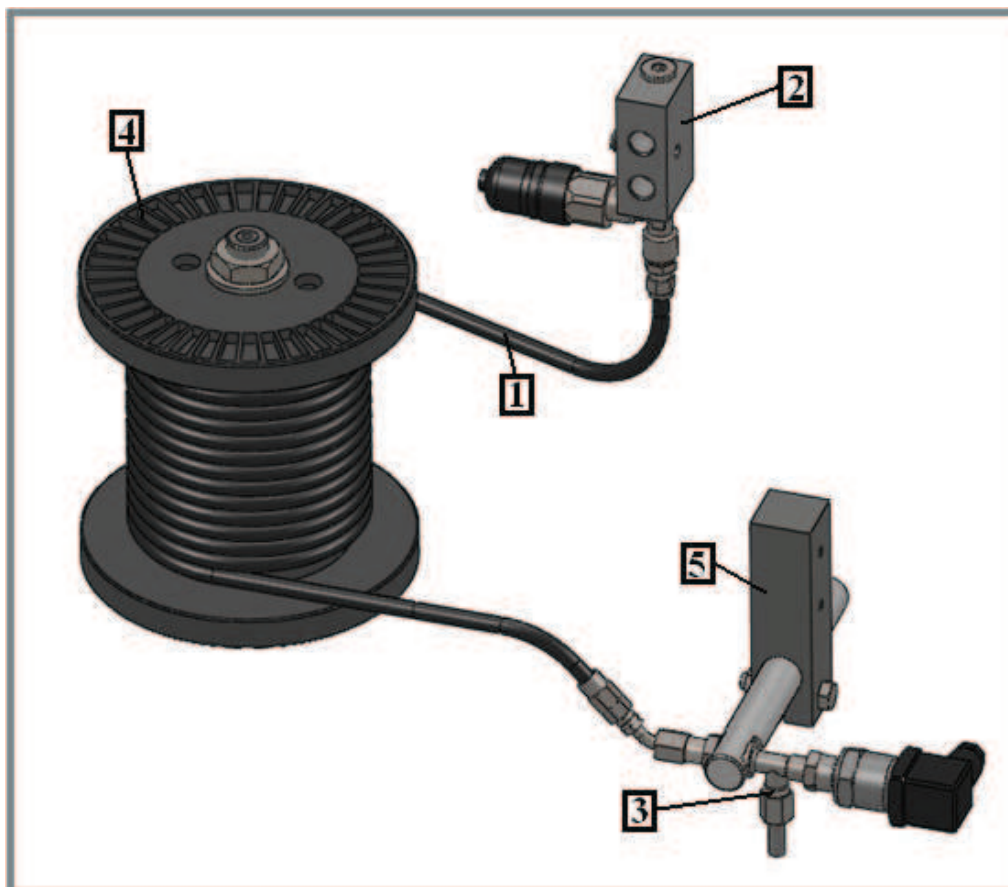
Základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.4.

Tab. 7.4 Technické parametry průtokoměru Bürkert 8012 DN 8 [25]

Complete device data (fitting + electronic module)	
Pipe diameter	DN 06 to 50 (DN65 on request)
Measuring range	0.3 to 10 m/s
Measuring element	Optical (or magnetical paddle-wheel, on request)
Medium temperature with PVC fitting PP fitting St.st., brass or PVDF fitting	0 up to 60°C 0 up to 80°C -15 up to 100°C (if T <sup>ambient</sup> ≤ 45°C) or -15 up to 90°C (if 45°C ≤ T <sup>ambient</sup> ≤ 60°C)
Fluid pressure max.	PN10 (with plastic fitting) PN16 (with metal fitting)
Viscosity / Solid particles rate	300 cSt. max. / max. 1% (size of particles 0.5 mm max.)
Accuracy	with standard K-factor ≤ ±(0.5% of FS.* + 2.5% of Reading)
Linearity	≤ ±0.5% of FS.* (at 10 m/s)
Repeatability	≤ ±0.4% of Reading <sup>1)</sup>

## 7.7 Přívod směsi do trysky

7.7

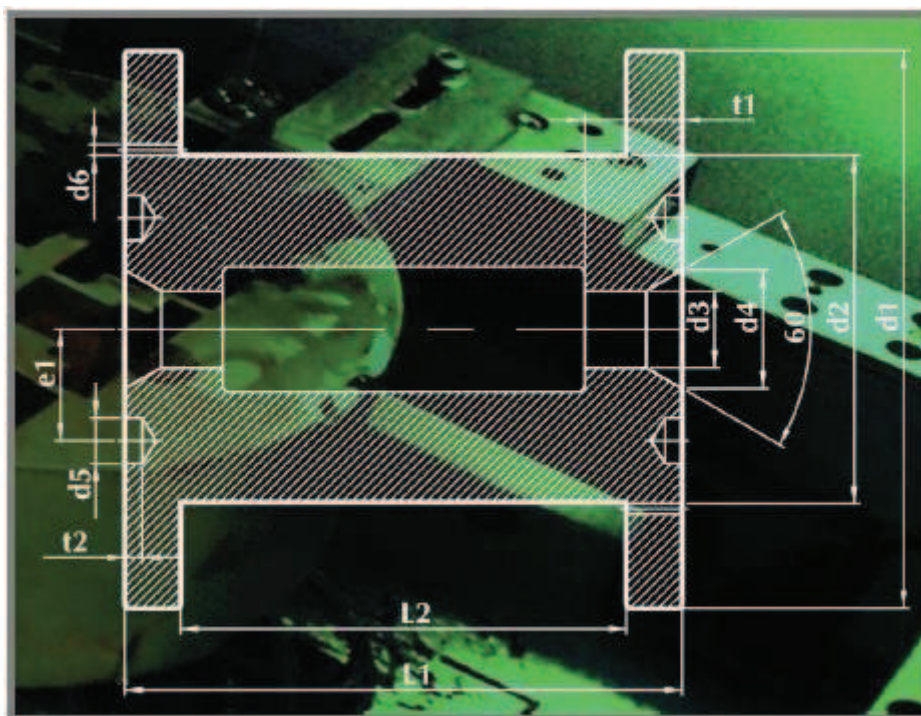


Obr. 7.19 Přívod směsi do trysky



Na lokomotivě je směs maziva se vzduchem vedena do trysek vysokopevnostní hadicí DN4. Délka hadice je závislá na umístění přístroje na lokomotivě, pro potřeby stendu byla zvolena délka pět metrů. Z prostorových důvodů bylo navrženo řešení navinutím hadice na cívku (viz. obr. 7.19).

Vysokopevnostní hadice (1), vedoucí směs ze směšovače (2) k trysce (3), je navinuta na cívku (4). Polohovatelný držák trysky (5) je dvěma šrouby M6 připevněn k rámu. Aby nebylo nutné navrhovat a vyrábět novou cívku, bylo rozhodnuto použít DIN cívku na svařovací drát.

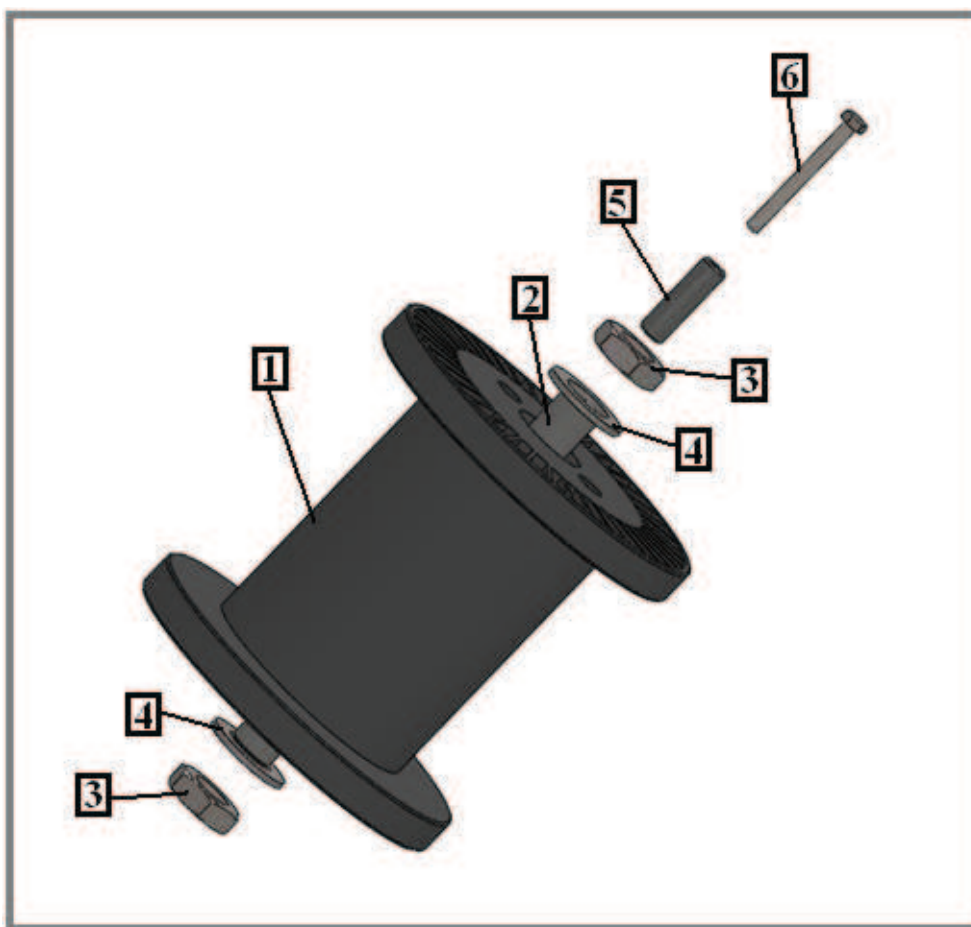


Obr. 7.20 Rozměry DIN cívky na svařovací drát [26]

Tab. 7.5 Rozměry DIN cívky na svařovací drát [26]

Spool	d1	d2	d3	d4	d5	d6	e1	L1	L2
K125	125	80	16	24	7	3	20	125	100
K160	160	100	22	34	13	3	32	160	128
K200	200	125	22	34	13	3	32	200	160
K250	250	160	22	34	13	4	32	200	160
K355	355	224	36	60	26	5	80	200	160

Cívka je krámu uchycena pomocí průchozího čepu (obr. 7.21). V ose cívky (1) je vyvrtán otvor  $\varnothing 22$  mm, kterým prochází čep  $\varnothing 20$  mm (2) s vnějším závitem M20 a vnitřním závitem M10. Cívka je k čepu uchycena dvěma maticemi M20 (3) a dvěma podložkami 22 (4). Do vnitřního závitu čepu je našroubován druhý čep (5) se vnějším závitem M10 a vnitřním závitem M6, do kterého je uchycen upevňovací šroub M6-60.

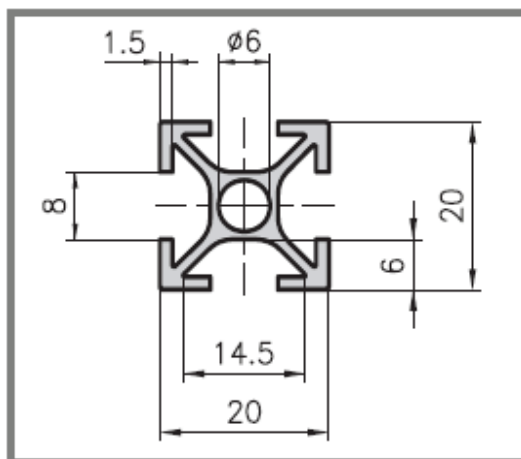


Obr. 7.21 Uchycení cívky k rámu

## 7.8 Nosný rám přístroje

7.8

K tvorbě nosného rámu celého přístroje byl vybrán hliníkový systém švýcarské firmy Kanya. Tento systém se vyznačuje snadnou a časově nenáročnou montáží a demontáží a dovozuje tak snadnou úpravu rámu například při výměně a údržbě komponentů. Konkrétně byl vybrán hliníkový profil 20x20 D01-5 (viz obr. 7.22).

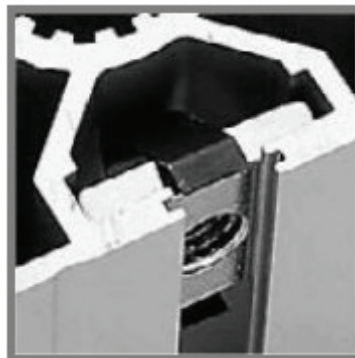


Obr. 7.22 Rozměry profilu Kanya 20x20 D01-5 [27]

K upevnění jednotlivých profilů mezi sebou slouží univerzální konektor D20-90, kde je ke spojení potřeba pouze vyvrtat do profilu ve vzdálenosti 25 mm od okraje otvor  $\varnothing 7,3$  mm (viz obr. 7.23). K upevnění jednotlivých komponentů přístroje k rámu slouží závitové desky M6, které se jednoduše zasunou do profilu z boku a zajistí vzpěrnou pružinou (obr. 7.24).



Obr. 7.23 Univerzální konektor D20-90 [27]



Obr. 7.24 Závitová deska M6 [27]



Obr. 7.25 Nosný rám přístroje

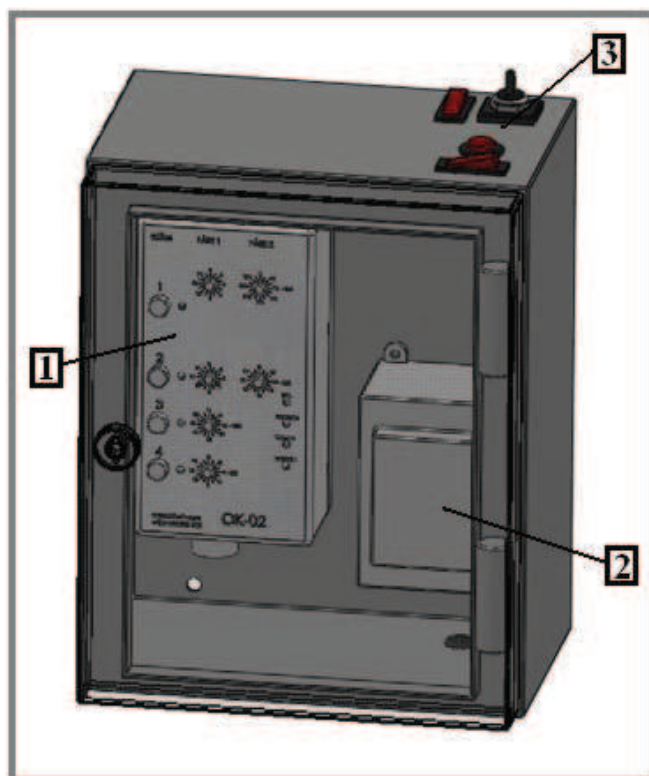
## 7.9 Elektroinstalace

7.9

### 7.9.1 Rozváděcí skříň

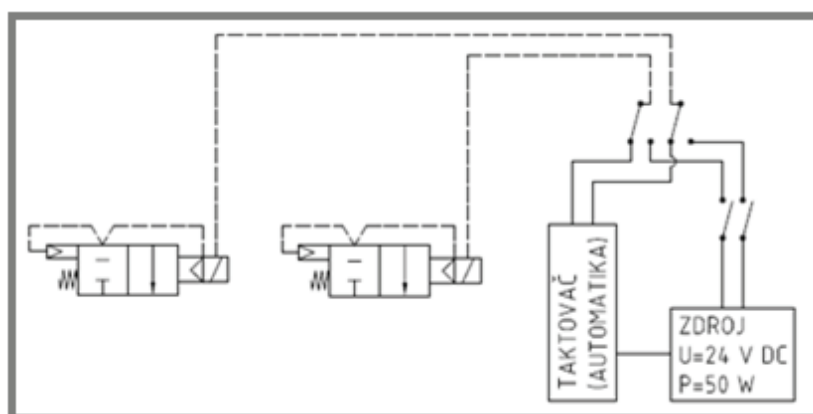
7.9.1

Pro uložení elektroinstalace byla zvolena rozváděcí skříň Moeller CS 2520/150 o rozměrech 250-200-150 mm. V ní jsou upevněny taktovač (1), transformátor (2) a ovládací prvky (3). Taktovač slouží u přístroje OK-02 k nastavení automatického otevírání a zavírání elektromagnetických ventilů. K napájení ventilů byl zvolen transformátor Indel TSZS 100/24 – napájecí napětí 24 V , výkon 100 W.



Obr. 7.26 Rozváděcí skříň

Ovládací prvky slouží k přepínání ovládání elektromagnetických ventilů mezi automatickým ovládáním taktovačem a manuálním ovládáním tlačítka. Je tak možné manuálně zapnout přívod vzduchu do směšovače a tlačítkem řídit dávkování maziva.



Obr. 7.27 Schéma elektroinstalace

## 7.9.2 Zpracování signálů měřicích přístrojů

Pro zpracování signálu měřicích přístrojů a řízení regulátoru průtoku vzduchu Brooks SLA 5851 bylo zvoleno řešení pomocí měřicí karty DAQ (Data Acquisition). Konkrétně byla zvolena externí měřicí karta National Instruments NI USB-6009 (viz příloha 5). Disponuje osmi analogovými vstupy a dvěma analogovými výstupy, což plně pokrývá požadavky měření.



Obr. 7.28 Měřicí karta NI USB-6009 [28]

Tab. 7.6 Parametry analogových vstupů NI USB-6009 [28]

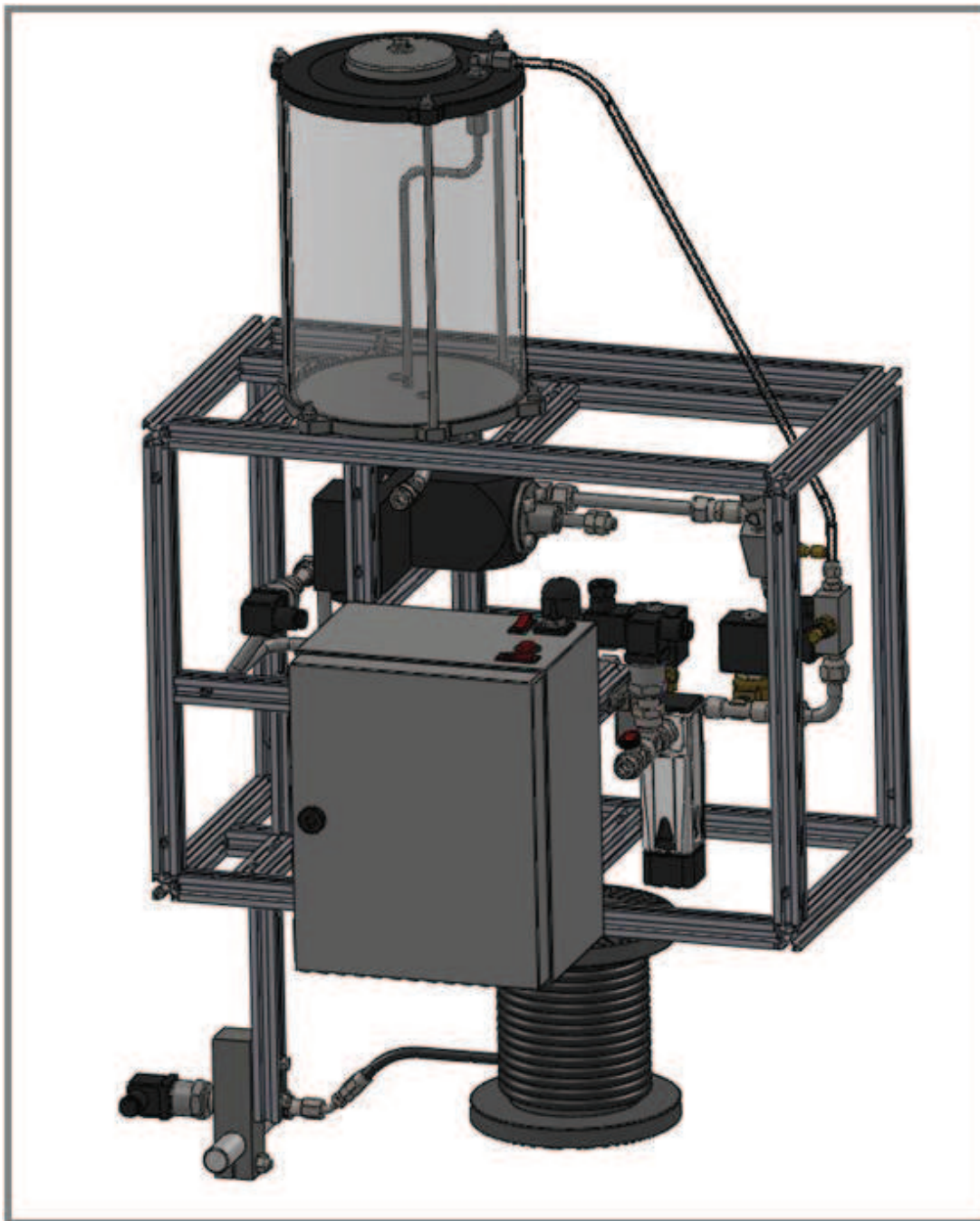
Converter type	Successive approximation
Analog inputs	8 single-ended, 4 differential, software selectable
Input resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended
Max sampling rate (aggregate)	10 kS/s
AI FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Single-ended	$\pm 10$ V
Differential	$\pm 20$ V $\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 4$ V, $\pm 2.5$ V, $\pm 2$ V, $\pm 1.25$ V, $\pm 1$ V
Working voltage	$\pm 10$ V
Input impedance	144 k $\Omega$

Karta komunikuje s PC pomocí USB rozhraní. Jako měřicí software byl zvolen software LabVIEW. LabVIEW je navrženo pro techniky, kterým umožňuje rychlou a snadnou tvorbu programů. Samotná tvorba programů pomocí blokových schémat je velice podobná konstrukci reálných technických zařízení [29].

## 7.10 Celkové konstrukční řešení přístroje

7.10

Celková sestava měřicího stendu je na obrázku 7.29, na obrázku 7.30 je zobrazena funkční část měřicího stendu bez rámu, rozváděcí skříně a přívodu směsi do trysky. Sestava obsahuje 331 dílů a dosahuje velikosti 66,9 MB dat.



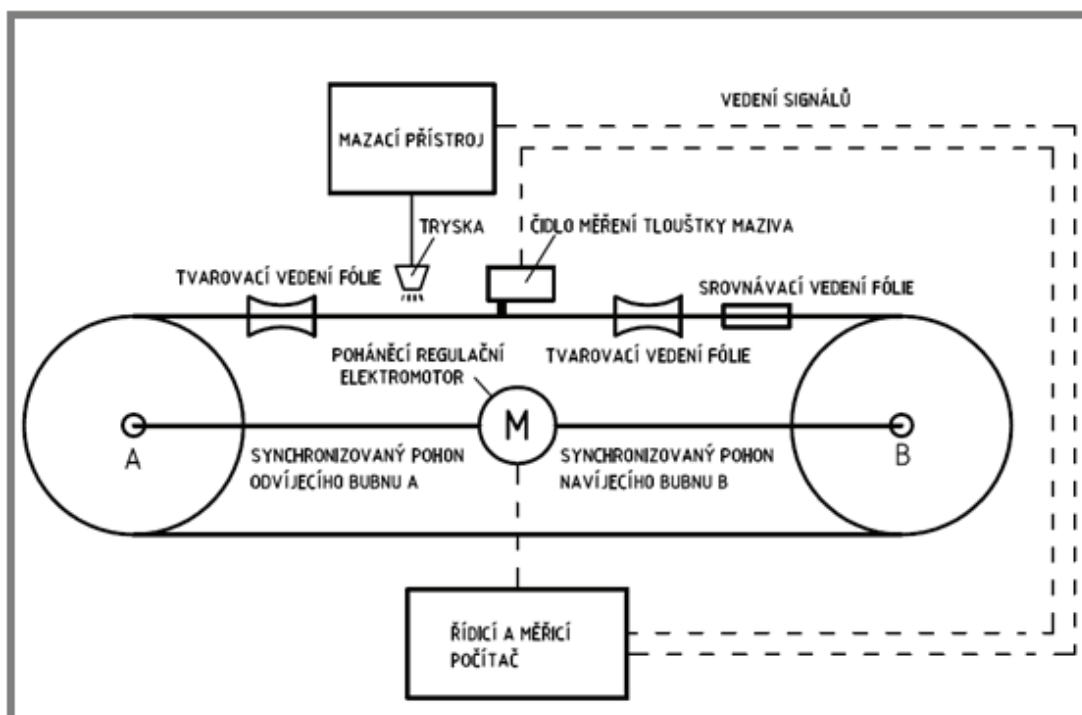
Obr. 7.29 Celkové konstrukční řešení stendu



Obr. 7.30 Funkční část stendu

## 7.11 Vyhodnocení nástřiku maziva

Pro vyhodnocení nástřiku maziva přístrojem byl vypracován návrh měřicího zařízení dle obr. 7.31. Pro vyhodnocení kvality mazání okolků se ukázalo být směrodatným parametrem tloušťka filmu maziva aplikovaného na okolek. Navržené měřicí zařízení sestává ze dvou poháněných válců, mezi nimiž je napnutá fólie. Před nástřikem maziva prochází fólie tvarovacím zařízením, které zakřivuje fólii do tvaru okolku železničního kola, je na ni proveden nástřik maziva, změří se tloušťka filmu a fólie je opět narovnána srovnávacím vedením fólie a navinuta na druhý válec.



Obr. 7.31 Schéma vyhodnocení nástřiku maziva [30]



## **8 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ**

### **8.1 Konstrukční rozbor řešení**

Obsahem této diplomové práce je principiální a konstrukční návrh měřicího přístroje vycházejícího z přístroje na mazání okolků OK-02. Hlavním úkolem práce bylo, aby měřicí přístroj umožňoval regulaci a měření množství maziva a vzduchu směřovaných v přístroji. Těchto úkolů bylo za spolupráce s pracovníky zadavatelské firmy Tribotec, s.r.o úspěšně dosaženo. Regulace dávkování maziva byla vyřešena konstrukční úpravou čerpadla, regulace průtoku vzduchu pak tepelným regulátorem průtoku vzduchu Brooks.

Měřicí přístroj bude použit k výzkumu v oblasti optimalizace postřiku otevřených mazaných míst, o problematice této oblasti pojednává první, rešeršní část této diplomové práce. Dalším postupem firmy bude konstrukce zařízení, které bude analyzovat nástřik maziva přístrojem. Předběžně byl navrhnout přístroj měřicí tloušťku filmu maziva na tvarově vedené fólii, viz kapitola 7.11. Toto řešení ovšem není definitivní, rozhodnout jaké parametry jsou pro optimální mazání směrodatné a jak simulovat podmínky styku kola s kolejnicí je velmi problematické.

Výzkum v oblasti mazání okolků kolejových vozidel je velmi komplexní záležitostí, problematika mazání okolků zasahuje do mnoha vědních oborů. Výzkum v této oblasti je však motivován možností velkých ekonomických úspor. Je odhadováno, že jen v USA by bylo možné dosáhnout roční úspory 250 milionů dolarů díky efektivnímu programu mazání okolků vozidel. Jedna třetina těchto úspor vychází ze zlepšení palivové účinnosti, zbylé dvě třetiny pak z redukce opotřebení vlakových kol a kolejnic [31]. Problematika efektivního mazání okolků kolejových vozidel je tak oblastí, ve které v současné době probíhá intenzivní výzkum a vývoj po celém světě.

### **8.2 Technologický rozbor řešení**

Při obrábění vyráběných dílů budou použity konvenční materiály a technologické postupy, aby bylo možné celé zařízení realizovat pomocí výrobních prostředků zadávající firmy.

### 8.3 Ekonomický rozbor řešení

Při konstrukci přístroje bylo snahou použít co nejvíce dílů přístroje OK-02, cena shodných dílů není v ekonomickém rozboru uvedena. Pro cenovou poptávku měřících přístrojů zahraničních výrobců byli kontaktováni obchodní zástupci těchto firem pro Českou republiku.

Tab. 8.1 Odhad celkových nákladů na stand

Položka	Cena vč. DPH
Hmotnostní regulátor průtoku Brooks SLA 5851 D	44 272,00 Kč
Řídicí jednotka NI USB-6009	6 840,00 Kč
Průtokoměr Bürkert 8012 DN 8	9 720,00 Kč
Manometr Honsberg PS-010 4 ks	17 400,00 Kč
Hliníkový rám Kanya 20x20	3 500,00 Kč
Rozvaděčová skříň Moeller CS-2520/150	1 328,00 Kč
Transformátor Indel TSZS 100/24	817,00 Kč
Výroba dílů (Víko nádrže, regulace čerpadla, potrubí)	7 500,00 Kč
Elektroinstalace (kabeláž, ovládací prvky)	1 800,00 Kč
<b>Odhad celkových nákladů</b>	<b>93 200,00 Kč</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Hofstra university* [online]. 1998 [cit. 2010-05-21]. The geography of transport systems. Dostupné z WWW: <<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/transcost.html>>.
- [2] DE KOKER, J. J. *Institute of Professional Engineering Technologies* [online]. 2004 [cit. 2010-05-21]. Rail lubrication on the Richards bay coal line. Dostupné z WWW: <<http://www.ipet.co.za/news/2004raillube1.htm>>.
- [3] *Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera* [online]. 2005 [cit. 2010-05-21]. Jízda železničního kolejového vozidla. Dostupné z WWW: <[http://webak.upce.cz/~lata/ZDT\\_e-learning/ZDT\\_kap\\_4.htm](http://webak.upce.cz/~lata/ZDT_e-learning/ZDT_kap_4.htm)>.
- [4] *Parostroj - moravskoslezský železniční občasník* [online]. 1999 [cit. 2010-05-21]. Železniční dvojkolí. Dostupné z WWW: <<http://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/dvojkoli.htm>>.
- [5] A.H., Wickens. *Fundamentals of rail vehicle dynamics*. 2003. Lisse, The Netherlands : Swets & Zeitlinger Publishers, 2003. Dynamics of the Wheelset, s. 299. ISBN 902651946X.
- [6] *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. 1995 [cit. 2010-05-21]. Tažná síla a trakční charakteristika. Dostupné z WWW: <[http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd\\_tah.htm](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd_tah.htm)>.
- [7] *Bezpečnostní list Mogul EKO-OK*. [s.l.] : Paramo a.s., 2007. 5 s.
- [8] *Kelsan Technologies Corp.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-21]. Top-Of-Rail Friction Control. Dostupné z WWW: <<http://www.kelsan.com/Solutions/Solutions.html>>.
- [9] *Návod na obsluhu, montáž a údržbu OK-02-854*. Brno : TRIBOTEC, spol. s r.o., 2008. 8 s.
- [10] *GroupHES Ltd* [online]. 2005 [cit. 2010-05-21]. VOGEL Centralized Lubrication for Wheel+Rail. Dostupné z WWW: <[http://www.grouphes.com/Lubemec/Vogel/dateien/us/pdf/zs\\_spurkranz\\_pdf/1-8092-US.pdf](http://www.grouphes.com/Lubemec/Vogel/dateien/us/pdf/zs_spurkranz_pdf/1-8092-US.pdf)>.
- [11] *REBS Centralized Lubrication Systems* [online]. 2007 [cit. 2010-05-21]. REBS Wheel Flange Lubrication for Rail Vehicles. Dostupné z WWW: <<http://www.rebs.de/english/products/spurkranzschmierung.php>>.
- [12] BHUSHAN, Bharat. *Modern tribology handbook*. [s.l.] : CRC Press, 2000. 1760 s. ISBN 978-0849384035.
- [13] *E-learning VUT Brno* [online]. 2006 [cit. 2010-05-22]. Elastohydrodynamické mazání . Dostupné z WWW: <<https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=91054>>.
- [14] FRÖHLING, R.; KOKER, J.; AMADE, M. Rail lubrication and its impact on the wheel/rail system . *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 2009, 2, s. 173-180.
- [15] ĎAĎO, Stanislav; BEJČEK, Ludvík; PLATIL, Antonín . *Měření průtoku a výšky hladiny*. Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [16] *Alicat scientific* [online]. 2008 [cit. 2010-05-22]. Methods of Mass Flow Measurement. Dostupné z WWW: <[http://www.alicatscientific.com/types\\_of\\_devices.php](http://www.alicatscientific.com/types_of_devices.php)>.

- [17] *ThermX Southwest* [online]. 2005 [cit. 2010-05-22]. Precision Turbine Flowmeters. Dostupné z WWW: <[http://www.thermx.com/Exact\\_Flow/Exact\\_Flow\\_1.htm](http://www.thermx.com/Exact_Flow/Exact_Flow_1.htm)>.
- [18] KOMP, Petr. Tepelné hmotnostní průtokoměry pro průmyslové aplikace . *Automa*. 2004, 3, s. 15-18.
- [19] File:Thermische massendurchflussmessung en.svg. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermische\\_massendflussmessung\\_en.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermische_massendflussmessung_en.svg)>.
- [20] *HI-OIL s. r. o.* [online]. 2006 [cit. 2010-05-22]. Mogul EKO OK-PS. Dostupné z WWW: <[http://www.hi-oil.cz/index.php?page=produkt\\_detail&id=388](http://www.hi-oil.cz/index.php?page=produkt_detail&id=388)>.
- [21] *Technická norma maziva Mogul EKO-OK*. Pardubice : Paramo a.s., 2008. 2 s.
- [22] *Ezi-Hose* [online]. 2007 [cit. 2010-05-22]. Air Preparation Products. Dostupné z WWW: <<http://www.ezihose.com/pdfs/catalogues/Air%20Preparation%20Products.pdf>>.
- [23] *Pemit, s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-05-22]. Rooks Instrument, průtokoměry, regulace průtoku. Dostupné z WWW: <<http://www.pemit.cz/cs/produkty/brooks-instrument>>.
- [24] *Honsberg Industrial flowcontrol* [online]. 2006 [cit. 2010-05-22]. Pressure Transmitter Mikropond. Dostupné z WWW: </files/41\_1\_ps\_e.pdf>.
- [25] *Bürkert Fluid Control Systems* [online]. 2005 [cit. 2010-05-22]. Paddle-wheel flow senzor 8012. Dostupné z WWW: <[http://www.burkert.cz/home/technicka\\_data/manualy/ma8012\\_flowpaddle\\_eu\\_ml.pdf](http://www.burkert.cz/home/technicka_data/manualy/ma8012_flowpaddle_eu_ml.pdf)>.
- [26] *Edm+ (UK) on-line* [online]. 2006 [cit. 2010-05-22]. DIN Spools European standard. Dostupné z WWW: <<http://www.edmplus.co.uk/myfiles/file/UltraBrass.pdf>>.
- [27] *Hliníkové profily Kanya* [online]. 2007 [cit. 2010-05-22]. Hliníkové profily - systém PVS. Dostupné z WWW: <<http://www.kanya.cz/index.php?doc=hlinikove-profil-y-system-pvs>>.
- [28] *National instruments* [online]. 2008 [cit. 2010-05-25]. NI USB-6009. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14605>>.
- [29] POPELKA, M. *Měřicí systém pro analýzu tlakových poměrů v ostříkovém mazacím přístroji*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 35 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [30] NEVRLÝ, Josef (VUT Brno, Technická 2, Brno). *Ústní sdělení*. (2010-05-12).
- [31] ALZOUBI, Mohamad. *USDOE TOP-OF-RAIL LUBRICANT PROJECT*. Chicago, 2000. 30 s. Final Report. The University of Chicago.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

ČD	- České dráhy, a. s.
GPS	- Global Positioning System, globální navigační systém
AC	- Alternating current, střídavý proud
DC	- Direct current, stejnosměrný proud
ČSN	- Česká státní norma
DIN	- Deutsches Institut für Normung e. V.
$\sigma$ [mm]	- výchylka soukolí od centrované polohy
L [m]	- vlnová délka kmitání soukolí
R [m]	- poloměr oblouku koleje
s [m]	- polovina vzdálenosti styčných kružnic
$\gamma$ [rad]	- úhel úklonu kolejnic
$\Sigma Y$ [J]	- celková ztrátová třecí práce
$\alpha$ [rad]	- úhel náběhu soukolí
$\mu$ [-]	- součinitel adheze
$p_0$ [MPa]	- maximální tlak v kontaktu
a [mm]	- hlavní poloosa kontaktní elipsy
b [mm]	- vedlejší poloosa kontaktní elipsy
x [mm]	- vzdálenost od středu kontaktu ve směru osy X
y [mm]	- vzdálenost od středu kontaktu ve směru osy Y
$h_f$ [mm]	- vzdálenost nedeformovaných těles
$h_g$ [mm]	- příspěvek geometrie nedeformovaných těles
$h_e$ [mm]	- součet elastických deformací obou těles
$\mu_0$ [m <sup>2</sup> /s]	- viskozita maziva při atmosférickém tlaku
$\alpha$ [-]	- viskózně-tlakový koeficient
p [Pa]	- tlak v kontaktu
d [m]	- délka zakřivené části trubice Coriolisova průtokoměru
b [m]	- rameno působící síly v Coriolisově průtokoměru
q [l/s]	- průtok média průtokoměrem

## SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

---

- Graf 1.1** Hospodárnost jednotlivých typů dopravy
- Obr. 2.1** Typy železničních kol
- Obr. 2.2** Širokopatní železniční kolejnice
- Obr. 2.3** Úklon kolejnic
- Obr. 2.4** Síly působící na kolo
- Obr. 2.5** Obecná a centrovaná poloha dvojkolí vůči koleji
- Obr. 2.6** Sinusový pohyb dvojkolí v přímé koleji
- Obr. 2.7** Úhel náběhu kola
- Obr. 2.8** Silové a rychlostní poměry v kontaktu
- Obr. 2.9** Skluzová charakteristika
- Obr. 2.10** Manuální aplikace
- Obr. 2.11** Trackside aplikace
- Obr. 2.12** Pomocí spec. vozidla
- Obr. 2.13** Mazací jednotka na vozidle
- Obr. 2.14** Mazací jednotka OK-02 firmy Tribotec
- Obr. 2.15** Schéma mazací jednotky OK-02
- Obr. 2.16** Mazací jednotka SP8 firmy Vogel
- Obr. 2.17** Systém mazání okolků firmy REBS
- Obr. 2.18** Rozdělení působícího tlaku dle Hertzovy teorie
- Obr. 2.19** Ovlivnění tvaru EHD filmu elastickými deformacemi
- Obr. 2.20** Tvar mazacího filmu v EHD režimu
- Graf 2.21** Vývoj požadavků na koeficient adheze lokomotiv 1940-2020
- Obr. 3.1** Schéma přístroje OK-02
- Obr. 3.2** Přístroj OK-02
- Obr. 6.1** Funkční schéma experimentálního stendu
- Obr. 6.2** Princip Coriolisova hmotnostního průtokoměru
- Obr. 6.3** Princip turbínového průtokoměru se dvěma protiběžnými rotory
- Obr. 6.4** Princip tepelného průtokoměru
- Obr. 6.5** Nádrž a čerpadlo přístroje OK-02
- Obr. 6.6** Princip funkce čerpadla OK-02
- Obr. 6.7** Regulace pomocí distančního kroužku
- Obr. 6.8** Regulace pomocí čepu s maticí
- Obr. 6.9** Mechanické objemové průtokoměry
- Obr. 7.1** Parametrický model přístroje OK-02
- Obr. 7.2** Přívod vzduchu
- Obr. 7.3** Škrticí ventily
- Obr. 7.4** Nádrž maziva
- Obr. 7.5** Směšovač
- Obr. 7.6** Konstrukční úprava čerpadla
- Obr. 7.7** Konstrukční úprava čerpadla II
- Obr. 7.8** Dno nádrže
- Obr. 7.9** Dutý čep připojení čerpadla
- Obr. 7.10** Sestava čerpadla a nádrže
- Obr. 7.11** Nasazení nádrže
- Obr. 7.12** Přívod vzduchu stendu
- Obr. 7.13** Přívod vzduchu do směšovače

- Obr. 7.14** Parker P3HRA
- Obr. 7.15** Brooks SLA 5850 D
- Obr. 7.16** Honsberg PS-010
- Obr. 7.17** Přívod maziva do směšovače
- Obr. 7.18** Průtokoměr Bürkert 8012 DN 8
- Obr. 7.19** Přívod směsi do trysky
- Obr. 7.20** Rozměry DIN cívky na svařovací drát
- Obr. 7.21** Uchycení cívky k rámu
- Obr. 7.22** Rozměry profilu Kanya 20x20 D01-5
- Obr. 7.23** Univerzální konektor D20-90
- Obr. 7.24** Závitová deska M6
- Obr. 7.25** Nosný rám přístroje
- Obr. 7.26** Rozváděcí skříň
- Obr. 7.27** Schéma elektroinstalace
- Obr. 7.28** Modulární systém Siemens S 7-300
- Obr. 7.29** Celkové konstrukční řešení stendu
- Obr. 7.30** Funkční část stendu
- Obr. 7.31** Schéma vyhodnocení nástřiku maziva

---

## **SEZNAM TABULEK**

- Tab. 6.1** Osvědčené aplikace jednotlivých typů průtokoměrů
- Tab. 6.2** Charakteristické parametry Mogul Eko OK
- Tab. 7.1** Technické parametry tlakového regulátoru Parker P3HRA
- Tab. 7.2** Technické parametry průtokoměru/regulátoru průtoku Brooks SLA 5850 D
- Tab. 7.3** Technické parametry Manometru PS-010
- Tab. 7.4** Technické parametry průtokoměru Bürkert 8012 DN 8
- Tab. 7.5** Rozměry DIN cívky na svařovací drát
- Tab. 7.6** Parametry modulu 6ES7 334-0CE0.-....
- Tab. 8.1** Odhad celkových nákladů na stend

## SEZNAM PŘÍLOH

---

### Přílohy

<b>Příloha 1</b>	Bezpečnostní list maziva Mogul Eko OK
<b>Příloha 2</b>	Technický list průtokoměru Brooks SLA 5800
<b>Příloha 3</b>	Technický list manometru Honsberg PS-010
<b>Příloha 4</b>	Technický list průtokoměru Bürkert 8012
<b>Příloha 5</b>	Technický list měřící karty NI USB-6009

### Výkresová dokumentace

<b>Č. výk.</b>	<b>Název</b>
90 1000	Sestava stendu
90 1001	Sestava rámu
90 1002	Sestava rozváděcí skříně
90 1003	Sestava nádrže maziva
90 1004	Čerpadlo stendu
90 1005	Přívod vzduchu stendu
90 1006	Přívod vzduchu čerpadla
90 1007	Přívod vzduchu do směšovače
90 1008	Přívod maziva do směšovače
90 1009	Sestava cívky
90 1010	Sestava trysky
90 2000	Dno nádrže
90 2001	Těleso čerpadla úprava
90 2002	Píst pneumatického válce úprava
90 2003	Těleso válce úprava
90 2004	Čep regulace
90 2005	Příruba regulace
90 2006	Dutý čep přívodu maziva
90 2007	Potrubí škrtícího ventilu nádrže
90 2008	Potrubí škrtícího ventilu čerpadla
90 2009	Potrubí přívodu vzduchu čerpadla
90 2010	Potrubí přívodu vzduchu směšovače A
90 2011	Potrubí přívodu vzduchu směšovače B
90 2012	Potrubí přívodu maziva směšovače A
90 2013	Potrubí přívodu maziva směšovače B
90 2014	Závitová trubka cívky velká
90 2015	Závitová trubka cívky malá
90 2016	Šroubení trysky