



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

# KONSTRUKCE STACIONÁRNÍ JEDNOTKY PRO MAZÁNÍ HLAVY KOLEJNICE

DESIGN OF WAYSIDE UNIT FOR TOP-OF-RAIL LUBRICATION

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Valena

## VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radovan Galas, Ph.D.

BRNO 2019



## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	<b>Bc. Martin Valena</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Konstrukční inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Radovan Galas, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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:

### **Konstrukce stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Jedním z nežádoucích projevů kolejové dopravy je zvýšená hladina hluku, kde kritickými místy jsou zejména traťové oblouky malých poloměrů. Jednou z možností, jak redukovat míru hluku v těchto úsecích, je mazání hlavy kolejnice. Pro tyto účely se zpravidla využívají stacionární jednotky, které jsou umístěny před těmito rizikovými úseky.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: TAČR

#### **Cíle diplomové práce:**

Cílem práce je návrh a realizace stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice.

Dílčí cíle diplomové práce:

- rešerše v oblasti zařízení pro mazání kolejnic,
- návrh konstrukčních variant,
- vytvoření výkresové dokumentace vybrané varianty,
- sestavení zařízení,
- ověření funkčnosti zařízení.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

[http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP\\_DP/Zasady\\_VSKP\\_2019.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2019.pdf)

**Seznam doporučené literatury:**

Wheel-rail interface handbook. 1st pub. Editor R. Lewis, U. Olofsson. Cambridge: Woodhead, 2009, xxii, 842 s. Woodhead publishing in mechanical engineering. ISBN 978-1-84569-412-8.

HARMON, M. a R. LEWIS. Review of top of rail friction modifier tribology. Tribology – Materials, Surfaces and Interfaces, 2016, 10, 150-162. DOI: 10.1080/17515831.2016.1216265.

CURLEY, D., D. C. ANDERSON, J. JIANG a D. HANSON. Field Trials of Gauge Face Lubrication and Top-of-Rail Friction Modification for Curve Noise Mitigation. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, 2015, 126, 449-456. DOI:10.1007/978-3-662-44832-8\_54.

EADIE, D.T., M. SANTORO a J. KALOUSEK. Railway noise and the effect of top of rail liquid friction modifiers: changes in sound and vibration spectral distributions in curves. Wear, 2005, 258(7–8), 1148-1155. DOI:10.1016/j.wear.2004.03.061.

STOCK, R., L. STANLAKE, C. HARDWICK, M. YU, D. EADIE a R. LEWIS. Material concepts for top of rail friction management – Classification, characterisation and application. Wear, 2016, 366–367, 225-232. DOI:10.1016/j.wear.2016.05.028.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty





## ABSTRAKT

Předkládaná diplomová práce popisuje návrh a realizaci stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice. Aplikací TOR maziv na temeno kolejnice dochází k redukci opotřebení a snížení hluku. Nejprve byla provedena a kriticky zhodnocena patentová rešerše, na základě které vznikly požadavky na vyvíjené zařízení – přesnost dávkování malých objemů maziva a vysoká opakovatelnost. Na základě koncepčního návrhu byla vytvořena experimentální aparatura, pomocí níž se ověřil princip nanášení maziva a identifikovaly se parametry nástřiku. Získané výsledky jsou použity při konstrukci finální aplikační jednotky včetně technického zázemí. V rámci diplomové práce vznikly dva užité vzory.

## Klíčová slova

Mazání hlavy kolejnice, stacionární mazací jednotka, nástřik maziva

## ABSTRACT

This master's thesis describes design and realization of a wayside unit for top-of-rail lubrication (TOR). TOR lubricant application causes wear reduction and lower noise emission. Firstly, patent analysis was provided and critically evaluated according to which requirements for developed device were specified – accurate dosage of small lubricant volume and high repeatability. On the basis of concept design, an experimental rig was created and used for lubricant application verification and spray lubrication parameter identification. Acquired results are considered in the final design of wayside unit with a technical facility. Two utility models were created within this master's thesis.

## KEYWORDS

Top of rail lubrication, off-board lubrication system, lubrication spraying





## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALENA, Martin. *Konstrukce stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice*. Brno, 2019, 92 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí diplomové práce Ing. Radovan Galas, Ph.D.



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Radovanovi Galasovi, Ph.D. za jeho čas strávený při konzultacích, odborné rady a samozřejmě motivaci při řešení diplomové práce. Dále pak Ing. Petru Kejdovi za připomínky z praxe, spolužákům za příjemnou atmosféru ve třídě. V neposlední řadě nesmím opomenout rodinu a její podporu při celé době studia.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Radovana Galase, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>16</b>
2.1	Řízení tření	16
2.1.1	Vliv TOR produktů na hluk	17
2.2	Zařízení pro mazání kontaktu kolo kolejnice	19
2.2.1	Mazník kolejnicové hlavy MKH-01	19
2.2.2	Stacionární mazník s nástřikem na kolo	21
2.2.3	Mazník temena hlavy a pojížděné hrany kolejnice	23
2.2.4	Top of rail mazací lišta	26
2.2.5	Top of rail poddajná mazací lišta	28
2.2.6	Aplikační jednotka SLID	30
2.3	Zařízení pro směšování oleje a vzduchu	31
2.3.1	Generátor olejové mlhy RVMist	31
2.3.2	Rozprašovací tryska pro rozprašování kapaliny pomocí tlakového vzduchu	32
2.3.3	Rozprašovač pro nástřik mazací směsi maziva a vzduchu	33
2.4	Průjezdový průřez tratě	35
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>37</b>
3.1	Analýza problému	37
3.2	Podstata a cíle diplomové práce	39
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>41</b>
4.1	Aplikační jednotka	42
4.1.1	Varianta 1 – plovoucí píst hnaný stlačeným vzduchem	42
4.1.2	Varianta 2 – pneumaticky ovládaná tryska	43
4.1.3	Varianta 3 – elektricky ovládaná tryska	44
4.2	Vyvození tlaku v mazivu	45
4.2.1	Vyvození tlaku pomocí stlačeného vzduchu	45
4.2.2	Vyvození tlaku pomocí elektromagnetu	46
4.3	Pozice trysky aplikační jednotky	47

4.4	Řídící jednotka	48
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>50</b>
5.1	Aplikační jednotka	50
5.1.1	Výběr trysky	50
5.1.2	Konstrukce experimentálního hydraulicko-pneumatického válce	51
5.1.3	Pneumatický ventil	52
5.1.4	Experimenty ověřující princip činnosti	53
5.1.5	Volba polohy trysky vzhledem ke kolejnici	61
5.1.6	Konstrukce finálního hydraulicko-pneumatického válce	62
5.1.7	Uchycení ke kolejnici a ustavení	63
5.1.8	Modální analýza	66
5.2	Technické zázemí	67
5.2.1	PMP pumpa	67
5.2.2	Pneumatický okruh	69
5.2.3	Rozdělovač	72
5.3	Řídící jednotka	72
5.3.1	Elektronika	73
5.3.2	Řízení	74
5.4	Sestavení a ověření funkčnosti	75
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>83</b>
9.1	Seznam zkratk	83
9.2	Seznam symbolů a veličin	83
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>85</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>87</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>88</b>

# 1 ÚVOD

Za počátky kolejové dopravy, jak ji známe, se dá považovat 18. století. Tehdy se poprvé objevila kola s okolkem pohybující se po litinové kolejnici. Objevení principu – kónická plocha s okolkem, který se používá dodnes – se datuje do období 30. let 18. století. V následujících letech došlo k rozmachu výstavby kolejnic po celém světě. Důvodem využívání kolejové dopravy pro osobní i nákladní přepravu na krátké i dlouhé vzdálenosti je nízká hodnota valivého odporu, která je přibližně 8x nižší než u silniční dopravy, z čehož plyne nízká energetická náročnost.

Jedním z nežádoucích projevů železniční dopravy je hluk, který je hlavně problém v obydlených oblastech. Při průjezdu traťovým obloukem o malém poloměru dochází k produkci intenzivního skřípavého zvuku, jež je značně nepříjemný. V současné době se pro redukci hluku používá mazání okolku či pojížděné hrany. Zřídka dochází k aplikaci tzv. TOR (top of rail) produktů na temeno hlavy kolejnice. Zařízení, kterými se aplikace provádí jsou dvojího typu – stacionární a mobilní. Mobilní aplikační jednotka je umístěna na poslední nápravě lokomotivy nebo posledního vagónu; záleží na aplikované látce, zda je na vodní bázi, kde musí dojít k vyschnutí, či bázi olejové. Stacionární jednotky jsou připevněné ke kolejím před kritickým místem – traťový oblouk. Jako další výhody aplikace TOR produktů spočívají ve snížení opotřebení, a také v udržení součinitele tření na předem stanovené hodnotě. Měření ukazují, že správným řízením adheze v kontaktu se může ušetřit okolo 30 % paliva v porovnání se suchou kolejí. Švédská národní železniční správa odhadla náklady spojené s nízkou adhezí na 90 milionů euro v rámci Evropy [1].

Cílem této diplomové práce je vyvinout stacionární mazací jednotku umožňující přesné dávkování modifikátoru tření na hlavu kolejnice. Výstupem je funkční vzorek spolupracující se systémem, který bude spouštět dávkování na základě hluku.



Obr. 1-1 Lišta pro mazání okolku [2]

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Řízení tření

Snaha měnit součinitel tření v kontaktu kola a kolejnice se objevuje prakticky od vzniku kolejové dopravy. Postupem času se množství těchto materiálů rozrostlo a v dnešní době je dělíme do tří základních skupin podle dosažené hodnoty tření [2]:

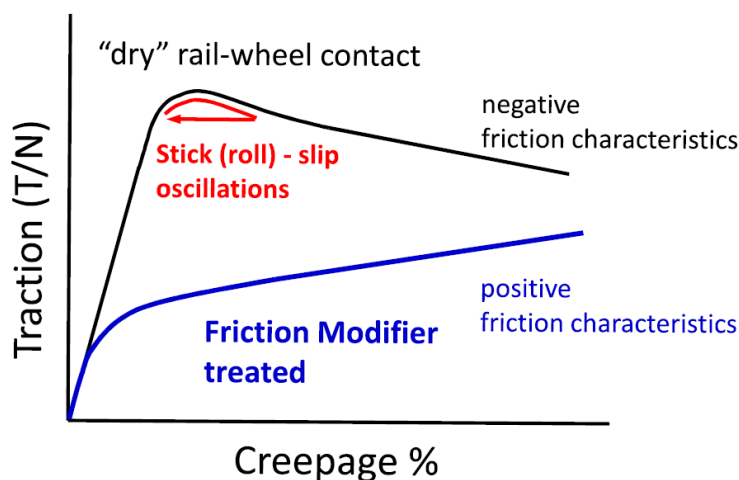
- **VHPF** (very high positive friction modifiers, neboli zvyšovače trakce) – mají za úkol zvýšit adhezi při nedostatečných okolních podmínkách. Typický představitel je písek, nyní se používají i produkty s částicemi oceli nebo hliníku.
- **HPF** (high positive friction modifiers, neboli TOR produkty) – tyto látky udržují součinitel tření v rozmezí od 0,2 do 0,4 a nemají klesající trakční křivku. Podrobněji jsou uvedeny níže.
- **LCF** (low coefficient friction modifiers, neboli maziva) – do této kategorie spadají produkty snižující součinitel tření na hodnotu 0,1 nebo níže. Většinou se aplikují na pojížděnou plochu a okolek.

Vyvíjené zařízení bude aplikovat látky druhé skupiny, proto jsou dále rozvedeny jejich vlastnosti. TOR produkty původně mířily na redukci opotřebení na temenu kolejnice a pittingu (rolling-contact fatigue) [2]. Provedené studie zjistily další pozitivní projevy. Jedním z nich je redukce laterálních sil, dále pak snížení rozvoje všech druhů vlnkovitosti a částečně ruttingu, v neposlední řadě snížení hluku, který je spjatý se stick-slip efektem. Tento efekt je důsledek klesající trakční křivky Obr. 2-1. Používání TOR produktů má také ekonomický přínos v podobě ušetřeného paliva, neboť se snižuje valivý odpor. Mohou se objevovat v pevném skupenství ve formě tyčinek nebo jako kapaliny. Je samozřejmostí, že tyto produkty mají i své úskalí. Mezi hlavní témata patří zavádění a strategie údržby, aby se dosáhlo zmíněných výhod. Také se diskutuje interakce mezi kapalinou a trhlinou, kde by mohlo dojít k urychlení pittingu [2, 3]. U TOR produktů na olejové bázi také záleží na aplikovaném množství.

TOR produkty lze rozdělit do několika kategorií podle toho, na čem jsou založeny. První skupinu tvoří modifikátory tření, které obsahují vodní bázi a pevnou suspenzi. Dokud je modifikátor mokrá, dobře se roznáší. Pod tlakem kol dochází k rychlému vypaření vody. Vzniklá vrstva interaguje s vrstvou třetích těles a vytváří mechanismus kompenzující posunutí ve smyku, jež je odpovědný za optimální tření a kladnou trakční křivku. Další skupinu tvoří TOR maziva, která jsou založena na olejové bázi. Také se může jednat o maziva plastická nebo hybridní – směs vody a oleje. Ukázalo se, že v hybridních mazivech má dominantní vliv na tření olej, které je stejné, jako by se jednalo pouze o olejovou bázi.



Tato maziva pracují ve smíšené oblasti mazání, proto mírná změna množství významně ovlivní výsledné tření. Jelikož se jedná o produkty na bázi oleje, nedochází k jejich vyschnutí, proto mohou být kontinuálně přenašeny. V Tab. 2-1 je uveden přehled komerčně dostupných TOR produktu.



Obr. 2-1 Diagram závislosti trakce na prokluzu [3]

Tab. 2-1 Přehled komerčně dostupných TOR produktů [6, 8, 25, 26]

mazivo	aplikace	zařízení	výrobce	NLGI	základový olej
<b>TRAM – SILENCE</b>	–	on board off board	Fuchs	0	rostlinný
<b>Sintono Terra HLK</b>	TOR mazivo	on board off board	Lubcon	00	biologicky rozložitelný
<b>Sintono Terra HLK 1</b>	TOR mazivo	off board	Lubcon	1	biologicky rozložitelný
<b>RailGuard</b>	TOR mazivo		Whitmore	–	–
<b>HeadLub ® 90</b>	TOR mazivo	on board	Igralup	0	biologicky rozložitelný

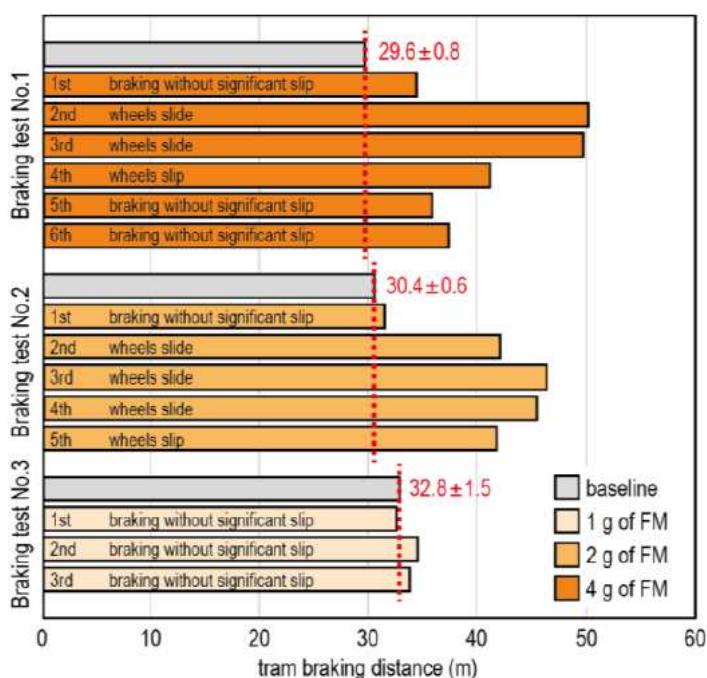
### 2.1.1 Vliv TOR produktů na hluk

Curley a spol. [5] provedli rozsáhlý test na reálné trati, kde se snažili porovnat vliv mazání pojezděné hrany a aplikaci TOR maziv v různých množstvích. Uvádí zde, že souprava projíždějící obloukem vytváří dva charakteristické zvuky, kde oba vychází z jiného mechanismu. První – hluk z temene je generovaný laterálním skluzem mezi běhounem a temenem hlavy v kombinaci s nestabilitami v tření. Druhý vychází z kontaktu okolku a pojezděné hrany. Většinou nastává na vnější kolejnici. TOR maziva se aplikovala na obě kolejnice zvlášť i současně a v rozdílných množstvích. Výsledkem testu bylo, že mazání pojezděné hrany má větší vliv na redukci hluku. Dále pokud se mazala pouze vnitřní

kolejnici nedošlo k žádnému snížení hluku, neboť hluk nepocházel od laterálního posunu na vnitřní kolejnici, což potvrdilo měření vibrací – téměř 90 % hluku pocházelo z vnější kolejnice. Získané poznatky ukazují, že u některých oblouků hluk vychází převážně z vnější kolejnice.

Eadie a spol. [7] provedli test, kde zkoumali rozložení spektra hluku pro několik typů systémů kolo – kolejnice před a po aplikaci modifikátoru tření. Ve všech případech došlo k snížení hluku ve frekvenční oblasti pro hluk z temene a také pro hluk z okolku. Výsledky ukazují, že po aplikaci modifikátoru tření došlo ke snížení hluku z okolku, i když pojížděná plocha již byla mazána. Pokud pojížděná plocha nebyla ošetřena, došlo ještě k významnějšímu snížení hluku od okolku. Měření přímo korespondují se zmenšením laterálních sil a sil od okolku.

Žádná z těchto studií nepopisuje vliv množství TOR maziva snižující hluk na adhezi. Galas ve své práci [9] zkoumal toto propojení. Provedl testy v laboratoři i na reálné trati. Pro tuto práci je nejpodstatnější vliv množství maziva na brzdnu dráhu vozu. Na základě laboratorního výzkumu stanovil velikost dávky 4, 2 a 1 gram na kolejnici. Z grafu na Obr. 2-2 lze vyčíst, že k nárustu brzdě vzdálenosti došlo při aplikaci 4 a 2 gramů na kolejnici. Pokud se nanese pouze jeden gram, k prodloužení nedošlo. Dalším zajímavým výsledkem je, že důsledek aplikace TOR maziva se výrazně projevuje až po druhém a třetím průjezdu.



Obr. 2-2 Graf závislosti brzdě vzdálenosti [9]

## 2.2 Zařízení pro mazání kontaktu kolo kolejnice

V následujících řádcích bude provedeno rozdělení aplikátorů maziva a TOR produktů podle umístění jednotky a využívaného principu. Dále v této kapitole budou popsány vybrané zařízení a patenty.

Základní dělení je podle umístění, a to na mobilní (on-board) a stacionární (off-board). Jak již z názvu vyplývá, mobilní jednotky jsou připevněné k vozidlům. Aplikace probíhá z pravidla na prvním voze, kde dojde k nanesení látky na kolo a následně valením na kolejnici, kde část ulpí a ovlivňuje kontakt u následujících soukolí, které již tuto jednotku nemají. Stacionární zařízení jsou umístěna v kolejišti, a to z vnitřní či z vnější strany koleje a slouží k lokální modifikaci tření, proto se umisťují do problémových lokalit jako jsou traťové oblouky malých poloměrů. Jak dojde k aplikaci, již záleží na konkrétním provedení. Jednou z možností je nanesení přímo na kolejnici a druhou kolo, popř. okolek.

Aplikované látky mají různé formy, od čehož se odvíjí i princip nanášení. Mohou to být pevné látky, jejichž aplikace spočívá v otírání tyčinky o kolo, kde ulpí. Potřebný přítlak se většinou vyvozuje pomocí mechanických pružin. Dále se objevují látky tekuté až plastické. Produkty s nižší viskozitou se aplikují ve formě nástříků, ať už za pomoci tlakového vzduchu, který vytvoří mlhu, či bez něj. Jsou-li maziva viskóznější, tak dochází pouze k jejich vytlačení na hranu koleje. Další způsob, umožní-li provozovatel, je skrz mazačí otvory vrtané přímo do kolejnice. Touto metodou se aplikují spíše řidší maziva.

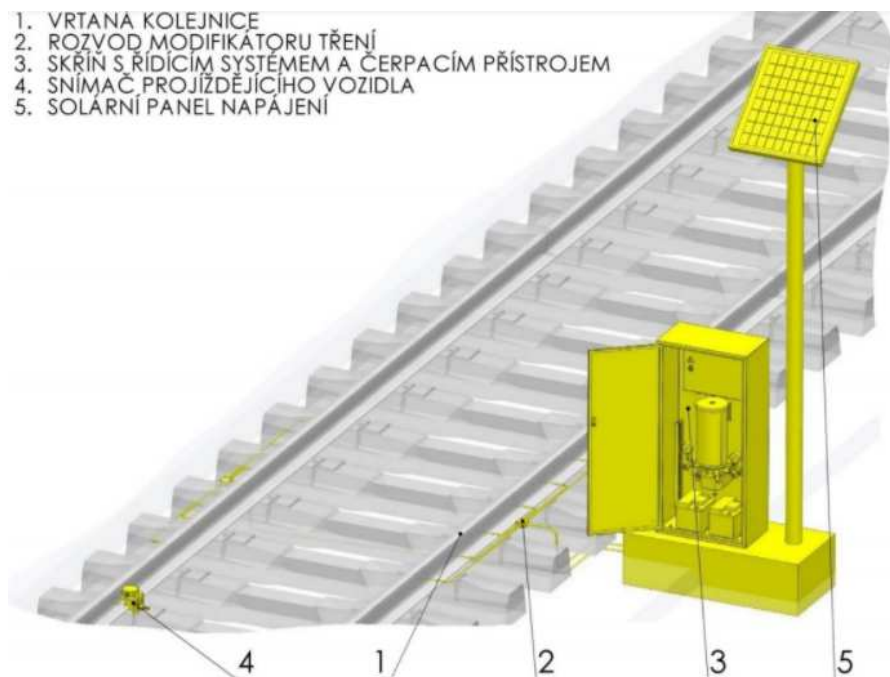
### 2.2.1 Mazník kolejnicové hlavy MKH-01

Toto zařízení vyvinula firma TriboTec a používá se v Brně – Lesné, kde dochází k velkému opotřebení kolejnic a také k velké hlukové emisi [10]. Většinou se umisťuje před začátek oblouku, případně problematického úseku. Je vyvinuto tak, aby bylo šetrné k přírodě a umožňovalo přizpůsobení pro konkrétní úsek. Jeho plná automatizace zajišťuje dobrou spolehlivost a minimální náklady na údržbu. Jedná se pouze o doplňování TOR maziva.

#### Detailní popis zařízení

Zařízení se skládá z několika celků. První je aplikační lišta, dále skříň a solární panel. Plastová skříň obsahuje dva akumulátory o kapacitě 120 Ah, které se dobíjí solárním panelem umístěným na sloupu. Mikrokontroler a jím řízená pumpa jsou také umístěny ve skříni. Problematika řízení je popsána v následující kapitole. Čerpací zařízení se skládá ze stejnosměrného elektromotoru napájeného 24 V, dvojice pracovních jednotek, každá kolej je zásobována samostatně a osmilitrová nádrž se stíracím nožem. Pro mechanické zastavení přívodu TOR maziva ke koleji lze využít kulový ventil. Při jeho otočení

z vodorovné polohy do svislé je tok přeměrován zpět do nádrže, tudíž druhá kolej není zásobována dvojnásobnou dávkou. Pomocí dvou mechanických prvků je možné regulovat tlak v rozmezí 80–350 bar a průtok 0 – 3,8 cm<sup>3</sup>/min odpovídající jmenovitým otáčkám motoru 22 ot/min. V základním nastavení je průtok maximální a tlak snížen na 300 bar.



Obr. 2-3 Zařízení MKH-01 [10]

TOR mazivo od pumpy proudí vysokotlakými hadicemi k progresivním rozdělovačům, kde dojde k jeho rozdělení mezi jednotlivá mazaná místa. Hlavní výhodou progresivního rozdělovače oproti klasickému spočívá v rovnoměrném rozdělení maziva bez použití elektroniky. Spojení mezi rozdělovačem a kolejnicí je realizováno skrz vysokotlaké hadice. Pomocí mazacích otvorů vrtaných do kolejnice v blízkosti žlábků Obr. 2-4 proudí modifikátor tření na temeno hlavy kolejnice. Celkový počet otvorů je 6 o rozestupu 300 mm a průměru 6 mm. Oblast napojení vysokotlakých hadic za pomoci šroubení je krytována plechy, aby nedošlo k poškození, či demontáži nepovolanými osobami. Ve stejném prostoru jsou také uloženy progresivní rozdělovače.



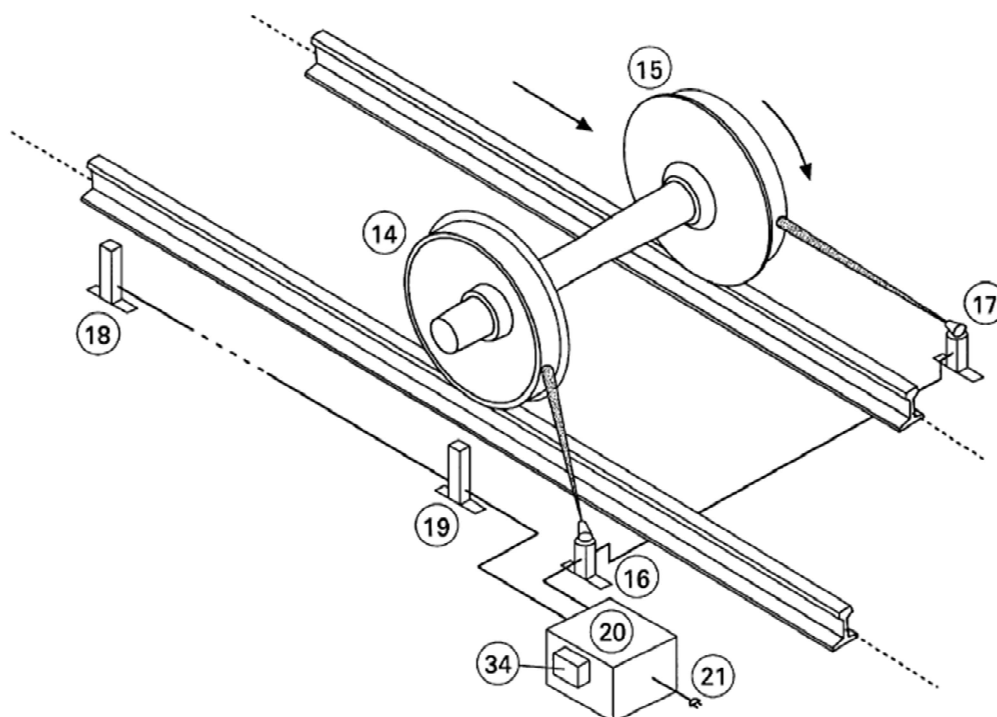
Obr. 2-4 Umístění mazacího otvoru [10]

## Řízení a detekce vozidla

Snímání vozidel probíhá pomocí indukčního snímače průjezdu vozidla připevněného několik metrů před mazníkem ke kolejnici přes upínku a šroub tvaru J. Řídící jednotka přijímá signál ze senzoru vyjadřující počet projetých náprav. Po dosažení nastaveného počtu projetých náprav se spustí mazací přístroj na předem určenou dobu. Oba tyto parametry je možné nastavit pomocí trojice přepínačů, kde každý z nich zvýší dobu mazání, popř. počet náprav, o určitou hodnotu. Doba chodu může být nastavena v rozsahu 6–27 s a počet náprav 40–110. Doporučené nastavení od výrobce činí 12 s, resp. 60 projetých náprav.

### 2.2.2 Stacionární mazník s nástřikem na kolo

Zařízení se používá na mazání okolku a běhounu železničního dvojkolí [11]. Je umístěno před začátkem oblouku převážně ve spádovištích („hump yards“), neboť zde soupravy dosahují nízkých rychlostí. Dříve aplikace probíhala ručně, pomocí postranních lišt a v neposlední řadě skrz otvory v kolejnici. Těmito metodami se nanášelo velké množství maziva, které se následně rozstříkávalo po okolí, čímž vznikalo nebezpečí uklouznutí personálu. Popisovaná mazací jednotka aplikuje přesné množství maziva v malých dávkách přímo na kolo, což má za následek zvýšení schopnosti valení („rollability“) až o 50 %.



Obr. 2-5 Stacionární mazník s nástřikem na kole – schéma [11]

## Detailní popis systému

Obr. 2-5 ukazuje schématické znázornění aplikační jednotky. Hlavním prvkem celého zařízení je mikrokontroler 34, který na základě signálů ze senzorů spouští nástřik modifikátoru tření. Další důležitou částí je systém vyvozuující tlak, čímž může být pumpa, nebo vzduchový kompresor, popř. jiné podobné zařízení. Skříň 20 obsahuje toto zařízení, zásobník maziva a v neposlední řadě mikrokontroler. Zdroj elektrické energie je znázorněn pozicí 21. Není-li dostupná síť, využívá se baterie a solární panel. Aplikační trysky 16, 17 nanáší mazivo na okolek a během železničního kola. Nejprve dojde k aplikaci na okolek a následným přiblížením kola se cílová zóna posune na běhoun. Ke každé trysce je přiřazen senzor a solenoidní ventil, jež zajišťuje správnou velikost dávky. Použité ventily mají krátkou reakční dobu, která činí 5–6 ms při otvírání a 4 ms při zavírání. Existuje varianta s jednou tryskou, ale také s více tryskami. Je-li více trysek, tak musí být i stejný počet senzorů, popř. musí být pro to určená logika v mikrokontroleru.

## Logika aplikace a detekce vozidla

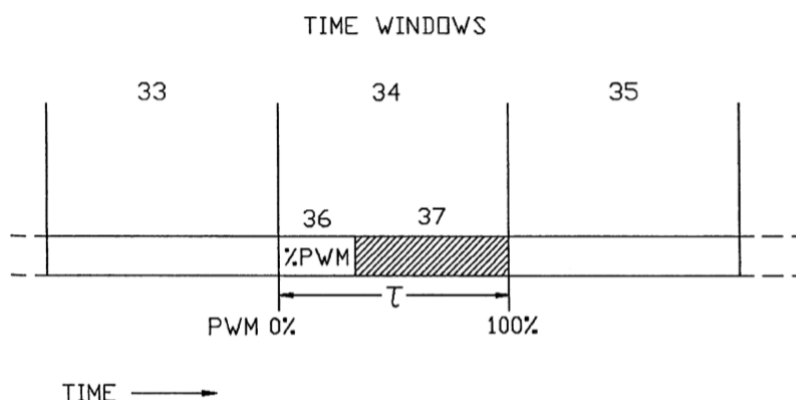
Pozice 18, 19 jsou senzory detekce železničního dvojkolí. Při aktivaci senzoru 18 dojde k vytvoření tlaku v systému. Jakmile se soukolí přiblíží k senzoru 19, proběhne aplikace maziva pomocí trysek 16, 17. Vyhodnotí-li procesor, že se jedná o lokomotivu, nástřik se neprovede. Aby se pokaždé aplikovalo stejné množství maziva, tak se zde plánovalo použití hydraulických pulzů s modulací. Více k této metodě bude uvedeno v následujícím odstavci. V závislosti na rychlosti soupravy může dojít k vícenásobné aplikaci malých dávek maziva na okolek a běhoun kola, čím nastane lepší rozptěnění TOR maziva po obvodu. Také není nutné mazat každé dvojkolí, přičemž velikost dávky závisí na poloměru oblouku – menší poloměr, větší dávka.

Je nežádoucí, aby byly mazány kola u lokomotiv, neboť může dojít ke ztrátě adheze. Zdali se jedná o lokomotivu se vyhodnocuje na základě porovnání signálů ze dvou senzorů. Nejprve procesor vyhodnotí rychlost a následně určí, zda vzdálenost mezi koly je alespoň 70 palců a zda projela tři kola o větším průměru – 40 palců. Při splnění těchto podmínek, se jedná o lokomotivu. Senzor světla dokáže snadněji detekovat průměr kola, a proto by měl být pro tuto činnost preferován.

## Metoda modulace hydraulických pulzů

Tato metoda je určena zejména pro aplikaci TOR maziv, neboť se zde klade velký důraz na přesnost dávky [12]. Při vyšším množství může dojít k přemazání a následně ke ztrátě adheze. Pro stanovení správné dávky je zapotřebí vzít v úvahu několik parametrů, např. rychlost, poloměr oblouku, počet náprav atd. Aplikace požadovaného množství je určena

časem, kdy mazivo proudí skrz trysku. Tento čas ovšem není konstantní, závisí na tlaku maziva a teplotě, neboť s teplotou se mění viskozita maziva.



Obr. 2-6 Schéma PWM modulace hydraulických pulzu [12]

Princip této metody je zobrazen na Obr. 2-6. Počítač rozdělí čas do oken, kde každé trvá několik sekund. Minimální velikost může být i méně než jedna sekunda, ale zde již může dojít ke kolizi s časem potřebným na otevření a zavření ventilu. Na Obr. 2-6 je čas rozdělen do tří časových oken, pozice 33, 34, 35, o stejné periodě. Okno 33 již proběhlo a okno 35 bude následující. Na základě výše uvedených vstupů dojde ke stanovení %PWM, pozice 36, což odpovídá procentům potažmo době, kdy bude ventil otevřený. Po zbytek času 37 je ventil zavřený. Z důvodu výpočtu se okno rozdělí na několik sekci. Použitím 16-bit procesoru dojde k rozdělení na 32 768 částí. S rostoucí teplotou klesá viskozita a také odpory vůči tečení, proto aby se zachovala dávka musí se zmenšit %PWM. Při nízkých teplotách je tomu naopak. Dojde-li k překročení teploty odpovídající 100% PWM, musí se zvýšit tlak v systému pomocí elektronického regulátoru tlaku, čímž se ovlivní průtok, a ten musí odpovídat 100% PWM pro navrhovanou teplotu.

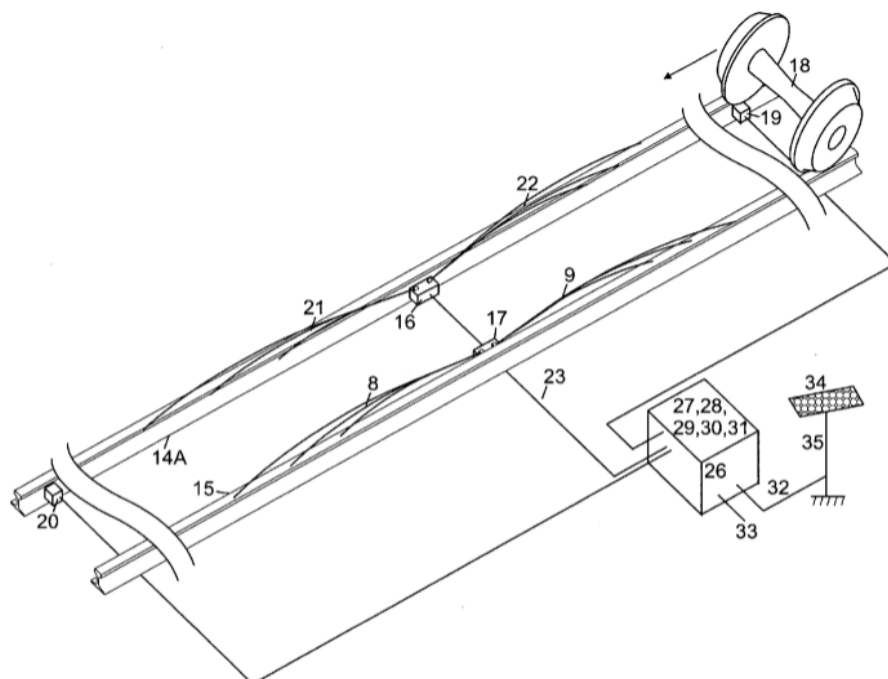
### 2.2.3 Mazník temena hlavy a pojížděné hrany kolejnice

Toto zařízení vzniklo za účelem redukce opotřebení v kolejových obloucích [13]. Tradičním způsobem mazání je použití mazacích lišt, kde se obtížně kontroluje dávkované množství, tudíž jsou nevhodné pro aplikaci TOR maziv. Svoje uplatnění našly v mazání pojížděné hrany a okolku. Výše uvedený mazník není možné použít u tratí s větší průměrnou rychlostí, neboť proud maziva obtížně trefuje přibližující se soukolí. Tento nedostatek odstraňuje zařízení popisované na následujících řádcích. Jeho hlavní výhodou spočívá v aplikaci maziva přímo na kolejnici. Mezi mazané části kolejnice patří temeno hlavy i pojížděná hrana.

#### Popis zařízení 1. uspořádání

Na Obr. 2-7 je vyobrazeno zařízení, které se dá rozdělit do několika celků. Prvním je skříň 26. Uvnitř ní se nachází řídicí jednotka, nádrž na mazivo a objemové čerpadlo

s motorem umožňující přesné dávkování. Řídicí jednotku a motor je možné napájet buďto střídavým proudem ze sítě 33, nebo pomocí stejnosměrného proudu z baterií 30. O jejich nabíjení se stará solární panel s dostatečným výkonem 34 umístěný na stožáru 35.

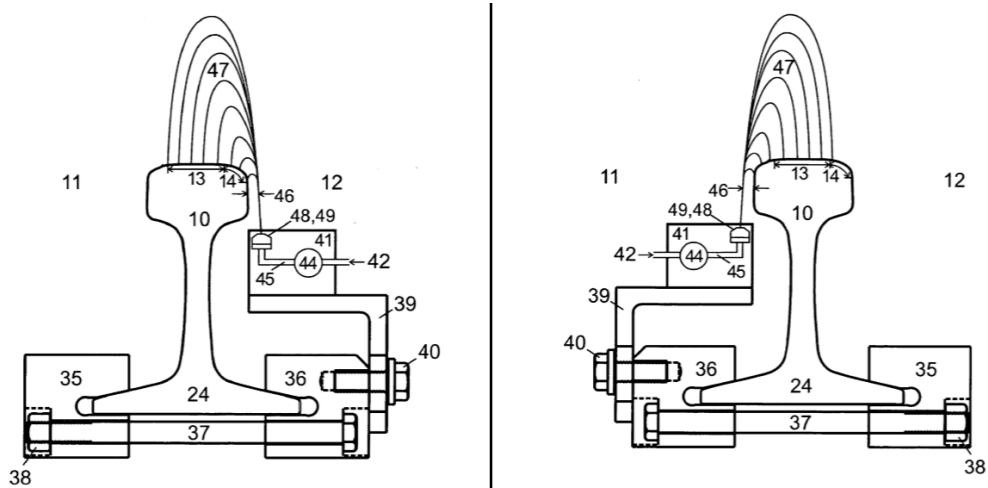


Obr. 2-7 Schématické vyobrazení zařízení [13]

Dalším celkem je blok nebo lišta obsahující aplikační trysky a zpětný ventil. O propojení mezi blokem s tryskami a skříní se starají vysokotlaké hadice, popřípadě trubky. Bloky mohou být umístěny z vnější strany kolejnice, kde trysky musí být 1/8–2 palce pod úrovní temene hlavy. Preferovanější pozice je na vnitřní straně. Zde se ovšem pohybuje okolek, tudíž trysky musí být umístěny 3/4–3 palce pod úrovní temene hlavy. Nejčastěji používaná vzdálenost činí 2 1/4 palce. Výhoda tohoto umístění spočívá v možnosti mazání pojížděné hrany 14 vyobrazené na Obr. 2-8. Blok může být vybaven jednou tryskou, ale obvykle bývá osazen dvěma, jedna ve směru jízdy a druhá v protisměru. Proud maziva opouštějící trysku je mířen mírně nahoru, obvykle 5°, a směrem do středu oblouku, většinou 2°. Aby nanesení pokrylo co největší oblast, jsou úhly voleny tak, že dojde k zavadení proudu o hranu kolejnice, čímž nastává ztráta soudržnosti. Tímto způsobem se vytvoří clona a ta následně dopadne na temeno hlavy a pojížděnou hranu.

Obr. 2-8 zobrazuje připojení konstrukce bloku s tryskami. Blok je připojen ke kolejnici pomocí dvojice konzol 35, 36 spojených šroubem 24. K jedné z konzolí je připojena součást tvaru L 39, která umožňuje vertikální seřízení. Tato součást tvoří podporu pro tělo 41 s tryskami 48,49 a zpětný ventil 44. Blok také obsahuje kanálky 45 přivádějící tlakové mazivo do trysek. Po rozstříknutí se tvoří clona 47 dopadající na temeno hlavy 13 a pojížděnou hranu 14.

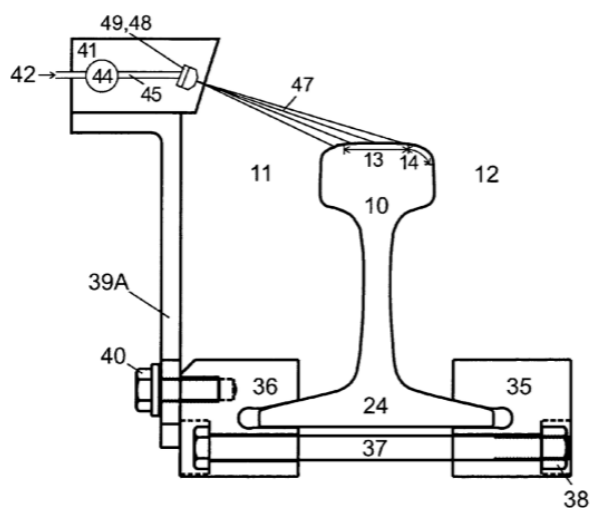




Obr. 2-8 Řez kolejnicí ukazující umístění bloku s tryskami [13]

### Alternativní umístění bloku

Na Obr. 2-9 je vidět další možné umístění trysek. V této variantě je tělo 41 s tryskami 48, 49 montováno na vnější straně kolejnice. Součást tvaru L 39A připevňená ke konzoli podpírá blok s tryskami nad úroveň temene hlavy. Aby se předešlo kolizi s projíždějícím kolem, musí být dostatečná horizontální vzdálenost od kolejnice. Trysky jsou mířeny směrem dolů laterálně a podélně ke kolejnici. Úhly nastavení jsou voleny tak, aby došlo k maximálnímu rozstříku maziva na hlavě kolejnice. Tato varianta umístění může být použita tehdy, brání-li něco v montáži trysek na vnitřní stranu kolejnice.



Obr. 2-9 Další možnost umístění trysek [13]

### Logika aplikace a detekce vozidla

O časování aplikace TOR maziva se stará řídicí jednotka ukrytá ve skříni 26 zobrazené na Obr. 2-7. Vyhodnocení se provádí na základě signálů ze senzorů 19, 20, umístěných

na obou stranách mazací jednotky v dostatečné vzdálenosti. Tato vzdálenost od trysek je závislá na průměrné rychlosti vlaků, například pro 10 mph činí 7–8 stop, pro 60–70 mph dosahuje hodnot kolem 20 stop. Celý proces je řízen softwarově, proto jsou aplikované dávky přesné a plně pod kontrolou.

Jakmile se vlak přibližuje zprava, je detekován senzorem 19 a signály ze senzoru 20 nejsou brány v potaz. Je-li směr jízdy vlaku obrácený, tak detekci provede senzor 20. Řídící jednotka vyhodnocuje časové intervaly mezi detekcí jednotlivých kol, na základě čehož je schopná rozlišit, zda se jedná o lokomotivu či vagón. Je-li to lokomotiva, aplikace maziva se neprovede a čeká se na první průjezd vagónů. Mazivo je nanášeno v okamžiku druhé detekce nápravy vagónu. Vzniklá vrstva ovlivňuje adhezi u následujících dvou náprav, poté dojde znovu k vyhodnocení. Způsoby detekce lokomotivy mohou být různé. Prvním z nich je nasnímání tří kol na jedné nápravě. Jedná-li se o čtyř osovou nápravu, systém počká s aplikací do detekce první dvou osové nápravy. Objeví-li se vozidlo s neobvyklými rozměry, software je zmaten, okamžitě zastaví aplikaci a restartuje se, čímž se vyhodnocení zopakuje.

#### 2.2.4 Top of rail mazací lišta

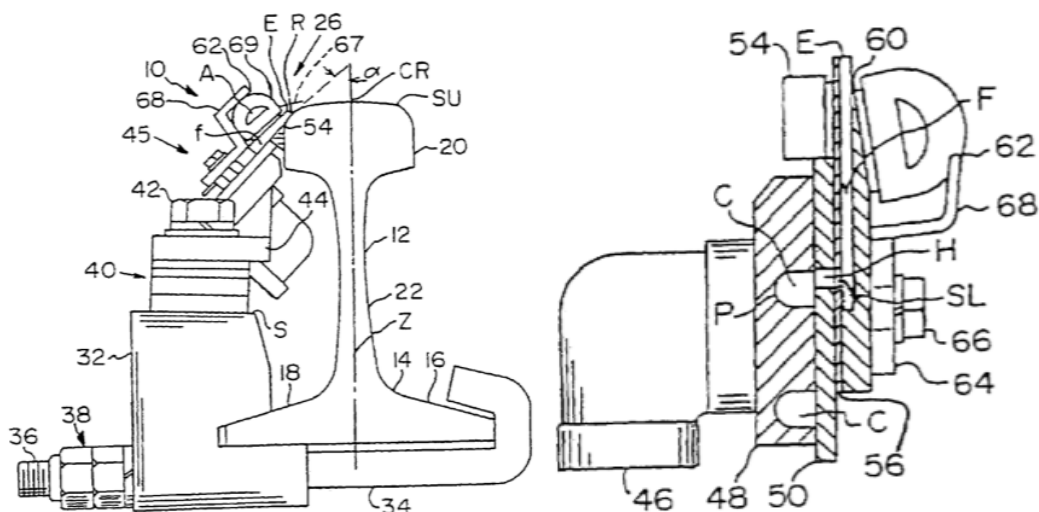
Toto zařízení vzniklo za účelem nanášení modifikátoru tření nebo maziva na temeno hlavy kolejnice [14]. K aplikaci dochází v obloucích, před výhybkami a také na rovných úsecích. Důvodem používání těchto mazacích lišt je snížení opotřebení jak na kolejnici, tak na kole. Nedostatky tehdejších zařízení pro aplikaci maziv na temeno hlavy byly, že se mazivo nedostalo na střed hlavy kolejnice, nebo že značné množství prokapávalo, popř. rozlívalo se v okolí jednotky. Tento patent také obsahuje více provedení samotné mazací lišty.

##### Základní provedení mazací lišty

Zařízení se skládá z několika hlavních komponent. Stěžejním prvkem celého systému je pumpa, která je ovládána pomocí „ovladače pumpy“ (pump actuator) nebo mikrokontroleru spojeným s elektromotorem a senzorem detekce projíždějícího vozidla. Dále se zde nachází nádrž na mazivo. O spojení pumpy a samotné mazací lišty se starají vysokotlaké hadice obsahující zpětný ventil a ventil kontrolující průtok.

Obr. 2-10 zobrazuje první variantu mazací lišty. Vlevo je celkový pohled na uchycení a vpravo řez vyobrazující kanálky pro mazivo. O přichycení se stará dvojice upínek 32 s vybráním na patu kolejnice a J-šroubů 34. Držák lišty 44 se šroubuje k upínce skrz podložky 40 zajišťující správnou polohu. Lišta s kanálky 48 obsahuje jednu přípojku k pumpě 46. Pro uzavření kanálků C se používá lišta 50 obsahující otvory H, skrz které proudí mazivo směrem ke kolejnici. Aby se zabránilo průsaku, tak se mezi díly dává teflon.

Přední lišta 56 hraničící s bokem hlavy kolejnice obsahuje z jedné strany těsnění 54 zabraňující prokapávání. Na druhou stranu je přiložena rozváděcí lišta 60. K vnější části rozváděcí lišty je přilepeno těsnění ve tvaru D 62. Horní část těsnění je nad úrovní kolejnice a jeho konce jsou k ní přitlačeny. Touto konstrukcí dojde k vytvoření rezervoáru ohraničeného hlavou kolejnice a těsněními 54 a 62. Za pomoci vnitřních kanálků ústících do této části se přivádí mazací tuk, popřípadě TOR maziva, které se při průjezdu vozidla dostanou do kontaktu v oblasti temene hlavy kolejnice.

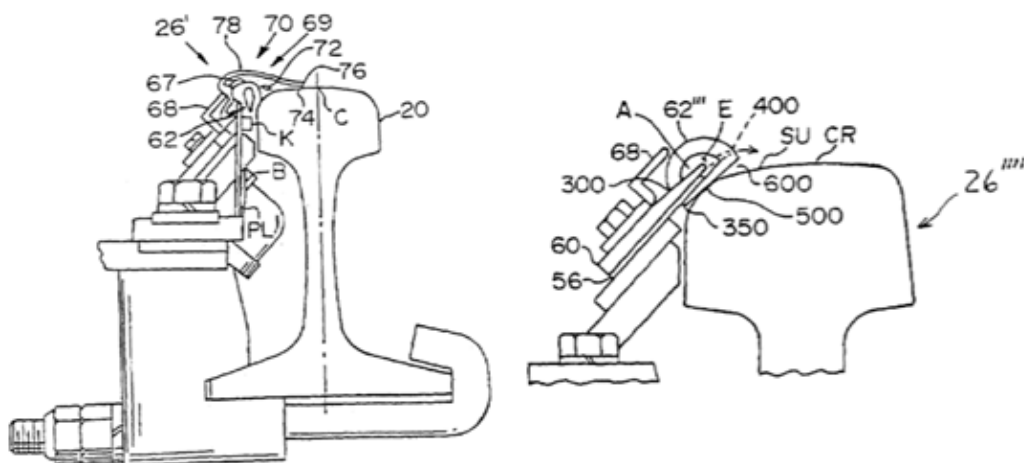


Obr. 2-10 První varianty mazací lišty (vlevo), detail (vpravo) [14]

### Další provedení

Následující provedení (Obr. 2-11 vlevo) je velmi podobné předchozímu řešení. Hlavní rozdíl spočívá v přidání neoprenového lemu 70, který je připevněn sevřením mezi D těsnění 62 a úhlovou podporu 68. Lem pokrývá celou lištu a dosahuje až k temenu hlavy, čímž zakrývá rezervoár s mazivem. Jeho hlavní účel spočívá ve směrování TOR maziva blíže středu kolejnice, což zlepšuje jeho aplikaci. Dále předchází tečení maziva kolem těsnění způsobené přebytkem a také jeho vypařování. V neposlední řadě zabraňuje ucpání průtoků. Průjezdem vozidla dojde ke stlačení lemu a vytlačení TOR maziva na hlavu kolejnice. Zjistilo se, že nejlepší výsledky nastaly, byl-li konec lemu 76 pod úrovní temene hlavy kolejnice.

Další provedení (Obr. 2-11 vpravo) kombinuje výhody lemu a zároveň zjednodušuje konstrukci. Těsnění tvaru D 62““ je u rovné strany naříznuto po celé délce, čímž vzniká otvor 300. Výstup z distribuční lišty E ústí do vzduchové kapsy A. Těsnění 62““ obsahuje množství děr 400 směřujících k temeni hlavy. Toto řešení nevyžaduje vnitřní těsnění – výše pozice 54, zde je nahrazeno částí D těsnění 500, jehož konce jsou zatěsněny silikonem. Aplikace TOR maziva probíhá jeho vytlačení z výstupu E do vzduchové kapsy A, dále skrz otvory 400 na temeno hlavy kolejnice.



Obr. 2-11 Druhá varianta mazací lišty (vlevo), třetí varianta (vpravo) [14]

## Ovládání pumpy

Jak již bylo zmíněno výše, o dodávku maziva do lišty se stará pumpa s elektromotorem napájeným 220 / 110 V střídavým proudem nebo 12 V stejnosměrným. Aplikace maziva je spuštěna mikrokontrolerem na základě signálu ze snímače detekce projíždějícího vozidla [14, 15]. Další variantou je použití „ovladače pumpy“, zde se jedná o hydraulické aktivování pumpy. Mezi hlavní části „ovladače“ patří tělo zahrnující hlavní válec a píst s prodloužením. Umisťuje se na vnější stranu kolejnice, kde není okolek, tak, aby prodloužení bylo nad úrovní temena hlavy kolejnice. Při průjezdu vozidla dojde ke kontaktu běhounu a pístu s prodloužením, který se následně zamáčkne a hydraulicky aktivuje pumpu.

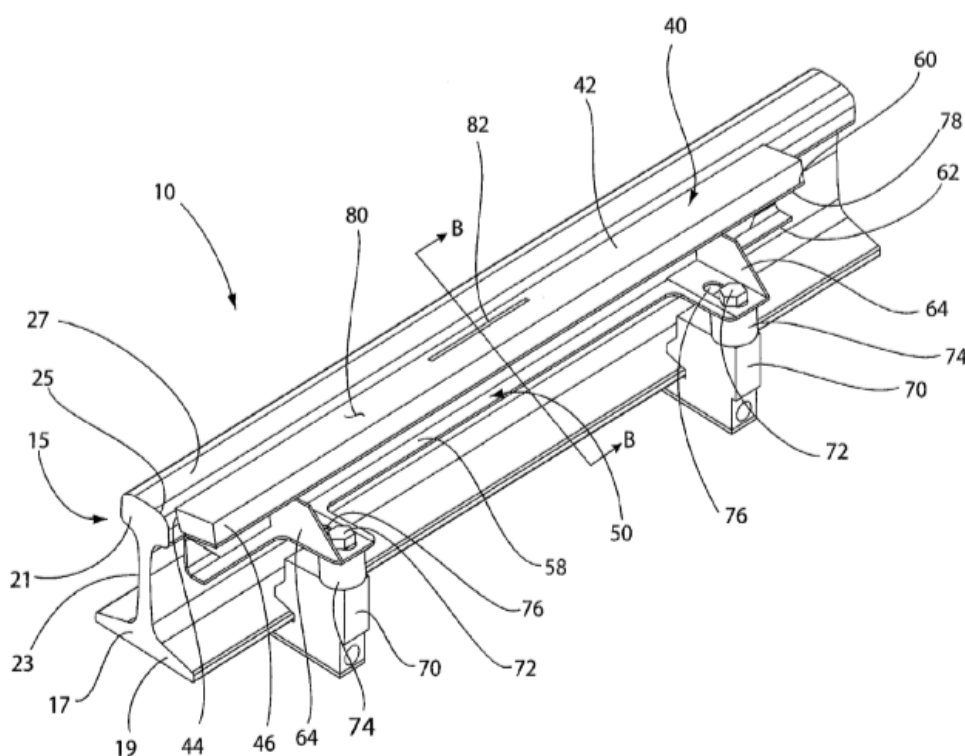
### 2.2.5 Top of rail poddajná mazací lišta

Toto zařízení vzniklo za účelem aplikace TOR maziv na temeno hlavy před oblouky, výhybkami a na přímých úsecích [16]. TOR maziva ovlivňují adhezi, čímž zlepšují výkon vlaku a zároveň snižují opotřebení jak na kolejnici, tak na železničním kole. Často u lištových mazníků dochází k prokapávání maziva a také k tomu, že se nedostane dostatečné množství na střed kolejnice. O dopravu používané látky k mazanému místu se stará pumpa připojená k zásobníku. Samotná pumpa se spouští na základě impulzů z mikrokontroleru nebo pomocí „ovladače pumpy“ připevněného ke kolejnici jež je popsán výše.

#### Detailní popis lišty

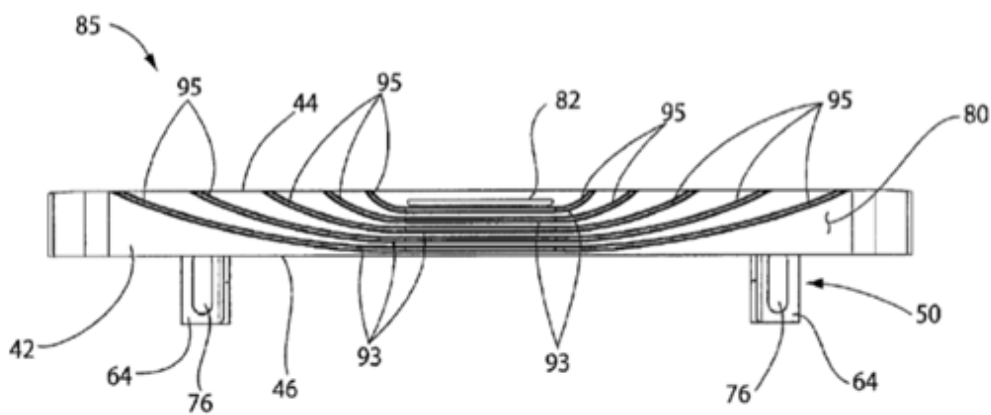
Aplikační lišta na Obr. 2-12 je uchycena dvojicí upínek 70, které obsahují výřez padnoucí na patu kolejnice a šroubů ve tvaru J. K horní straně upínky je připevněna podpurná lišta 50 pomocí šroubů 72. O její správné výškové usazení se stará dvojice podložek 74. Podpurná lišta ve tvaru C obsahuje na své horní straně otvor pro připojení k pumpě pomocí

vysokotlakých hadic. Spodní strana je opatřena rozšířením pro uchycení, které mají drážku umožňující přitisknutí ke kolejnici. Aplikátor 40 je přilepen na horní stranu podpůrné lišty 50. Většinou se jedná o pórovitý neopren, ale také se může použít plastový nebo gumový materiál neobsahující póry, popřípadě jejich kombinace. Další alternativa spočívá v dutém gumovém členu s dostatečnou pružností. Aplikátor je nakloněn směrem ke kolejnici, čímž se sníží ztrátové množství MT tekoucí na druhou stranu. U varianty na Obr. 2-12 lze vidět jeden podélný aplikační otvor procházející skrz poddajnou část. Většinou bývá nakloněný směrem k čelní ploše, ale může být kolmý, popř. v jiném vyhovujícím směru. Přitlačením aplikátoru na vnější plochu hlavy kolejnice se předchází protékání v této oblasti a také z důvodu tlaku dojde k uzavření aplikačního otvoru v horní části. Přivedením tlakového maziva se znovu otevře a po odpojení uzavře. Poddajný aplikátor má velkou výhodu v přizpůsobivosti se železničnímu soukolí, tudíž nezáleží na stavu kola, zda je nové či staré.



Obr. 2-12 Schématické vyobrazení poddajné lišty [16]

Patent popisuje i další možnosti provedení aplikátoru. Jedná se převážně o tvar aplikačního otvoru a tvarování horního povrchu, které je zobrazeno na Obr. 2-13. Povrch pokrývají převážně podélné vystupující drážky 93 se zahnutím na obou koncích 95 směrem k čelní ploše 44 přitisklé ke kolejnici. Účel tohoto tvarování spočívá ve směřování maziva ke kolejnici.



Obr. 2-13 Varianta tvarovaného povrch poddajné lišty [16]

## 2.2.6 Aplikační jednotka SLID

Název produktu vychází z anglického Single-Line Injection Device. Je vyvinut firmou Lincoln spadající pod SKF Group. Zařízení na Obr. 2-14 se připevňuje ke kolejnici z vnější nebo vnitřní strany a uživatel si může zvolit, jestli se bude ošetřovat pojezděná plocha nebo temeno hlavy. Pracuje na principu 4 trysek s komorami, kde každá z nich má pevně daný objem 0,1 cm<sup>3</sup> [17, 18]. Pro aplikaci takto malého množství se používá mechanismus pístu s pružinou, který dovoluje přesně kontrolovat dávkování. Jakmile je uvolněn tlak z hlavního rozvodu, dochází k nanesení TOR produktu na kolejnici. Po průjezdu vlaku se mazivo nastříkne na kolej, kde čeká na rozjetí koly další soupravy. Výrobce udává, že mazník je schopný ošetřit až 500 m traťového oblouku. Vlivem teploty se mění i charakteristiky maziv, a aby bylo možné dodržet odpovídající tvar nástříku, je uvnitř aplikační jednotky instalován ohřívač, který udržuje konstantní teplotu maziva.



Obr. 2-14 Aplikační jednotka SLID [17]

## 2.3 Zařízení pro směšování oleje a vzduchu

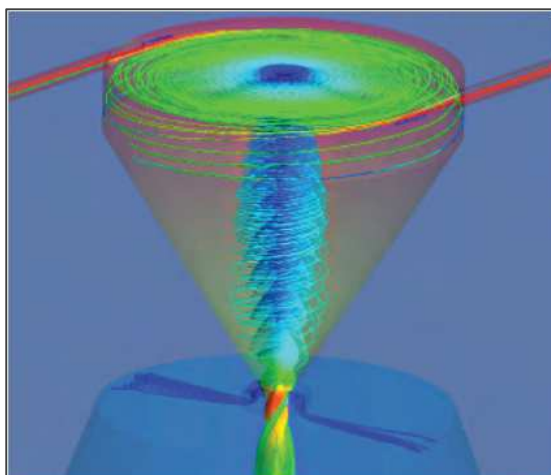
Tato kapitola bude věnována způsobům a konstrukčním celkům umožňující směšování oleje se vzduchem. Objeví se zde popis průmyslového řešení kompletní mazací jednotky a následně trysek, ve kterých dochází k samotnému mísení.

### 2.3.1 Generátor olejové mlhy RVMist

Toto zařízení bylo vyvinuto španělskou firmou Grupo Técnico RIVI S.L. a slouží pro generování olejové mlhy, která maže rotační součásti strojů, jako jsou například vřetena obráběcích strojů a valivá ložiska [19]. Obrovská výhodou generátoru spočívá v nepřetržité dodávce olejové mlhy i při doplňování oleje, neboť jsou obsaženy dvě totožné generující jednotky.

#### Popis zařízení

Veškeré komponenty jsou uloženy v nerezové skříni, která je kompaktní, tudíž nezabírá moc místa na pracovišti. Také se lehce umísťuje a chrání komponenty před poškozením, či manipulací neoprávněných osob. Pouze světelná signalizace je umístěna na horní straně skříně. Uvnitř se nachází dvě identické jednotky generující olejovou mlhu, kde každá má zabudovanou 30 litrovou nádrž na olej. Nachází se zde ještě předřazená nádrž o kapacitě 400 litrů, ze které se pomocí pneumatického čerpadla přečerpává olej do nádrží u jednotek. Čerpaný olej prochází skrz filtr zajišťující požadovanou kvalitu. Zařízení pro svou práci potřebuje přívod tlakového vzduchu z vnější. Na vstupu se nachází filtrační systém zachycující částice a vzdušnou vlhkost v konfiguraci duplex, která umožňuje výměnu náplní bez nutnosti zastavení dodávky vzduchu. Samotný generátor využívá tzv. „vírovou“ technologii pro generování mlhy (Obr. 2-15). Vytvářený objem mlhy je plně přizpůsobitelný v závislosti na požadavcích. Jednou z možností je regulace a další je výměna prvku tvořící vír. Další zásahy do zařízení již nejsou potřeba. Maximální výrobní kapacita mlhy činí 40 scfm (18,88 L/min). Každá jednotka generující mlhu má přiřazený ohřívač oleje, neboť hlavním parametrem ovlivňující tvorbu mlhy je viskozita a ta má silnou závislost na teplotě. Je-li to za potřebí, ohřívá se i vzduch pomocí oběhového ohřívače. Tímto ohřevem se zvyšuje efektivita rozprášení oleje.



Obr. 2-15 Simulace vírové technologie pro tvorbu mlhy [19]

## Řízení a ovládání

Celý proces generování olejové mlhy je řízen automaticky pomocí PLC. Potřebné parametry, jako jsou tlak vzduchu a olejové mlhy, teplota vzduchu a oleje plus jeho hladina, dodávají řídicí jednotce snímače. Řízení a zobrazování procesních parametrů na sedmi palcovém dotykovém displeji se děje „real time“. Skrz displej je možné nastavovat limitní hodnoty, při kterých dojde ke světelné signalizaci. Dále vykresluje trendy měřených parametrů s jejichž pomocí lze v případě chyby určit její okamžik včetně hodnot. V neposlední řadě výrobce umožňuje volbu jednotek a případně omezení přístupu na heslo. K displeji se dá připojit pomocí sériového portu, USB a Ethernetu. Komunikace probíhá před MODBUS protokolem.

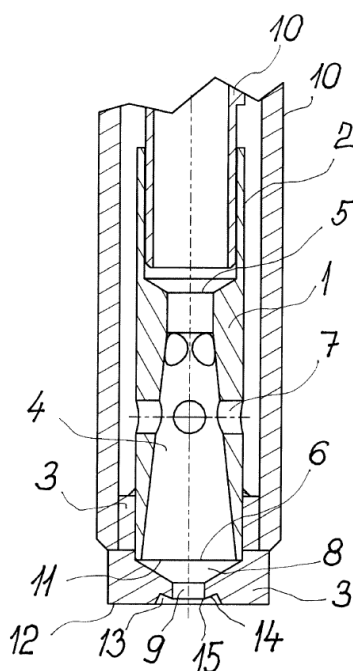
### 2.3.2 Rozprašovací tryska pro rozprašování kapaliny pomocí tlakového vzduchu

Tato tryska je určena zejména pro systémy vstříkující redukční prostředky do spalovacích komor kotlů a spalínovodů, například při denitrifikaci [20]. Je umístěna na konci vstříkovacích kopí a vstříkovacích vsuvkách. V současném stavu nastávají problémy u potřeby polohování pevného kopí, což sebou nese odstávku kotle a vytvoření požadovaných oblouků. Tomuto se lze částečně vyhnout použitím úhlových trysek, ovšem zde se objevuje problém s fixací polohy. Nezanedbatelný problém spočívá ve tvorbě úkapů na hraně vstříkovacího otvoru, z čeho pramení vyšší spotřeba prostředku, a tím vyšší provozní náklady. Některé z výše uvedených nevýhod odstraňuje níže popsané technické řešení, které cílí na optimální pokrytí spalovacího průřezu a snížení spotřeby.



## Detailní popis

Obr. 2-16 zobrazuje řez tryskou 1, která je vyrobena z nerezové, popřípadě žárupevné oceli, aby se zvýšila její životnost a spolehlivost. Hlavní součástí je směšovací díl 2 a k němu připojený vstříkovací díl 3. Oba tyto díly tvoří směšovací dutinu 4 a 8. Osou dutiny 4 prochází proud unášivého média – vzduch, do kterého je skrz osm otvorů 7 umístěných po obvodu dutiny ve dvou řadách vzájemně pootočených o půlku úhlové rozteče. Vstup do dutiny 4 označuje pozice 5, přechod mezi díly 2 a 3 pozice 6/11 a vstříkovací otvor umístěn v ose má číslo 9, jež je z vnější strany osazen 13. Napojení trysky ke konci kopí 10 se realizuje nasunutím, či našroubováním. Po správné umístění lze zapnout kompresor zajišťující přísuv vzduchu a čerpadlo pro dodávku vstříkovaného média.



Obr. 2-16 Pružez rozprašovací tryskou [20]

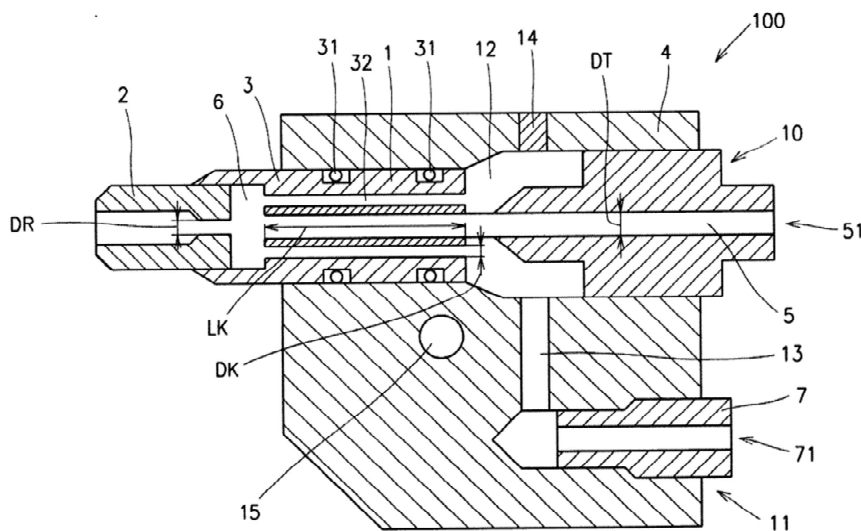
### 2.3.3 Rozprašovač pro nástřik mazací směsi maziva a vzduchu

Uvedený rozprašovač slouží jako vylepšení centrálního mazacího systému pro mazání okolku kolejových vozidel [21]. Aplikovaná maziva mohou být tekutá nebo polotekutá. Původní řešení spočívalo v použití centrálního směšovače, kde docházelo k mísení plastického maziva a vzduchu za pomoci jeho kinetické energie. Takto vzniklá směs se transportovala skrz potrubí k jednotlivým mazacím tryskám. Vzhledem k délce a tvaru přívodního potrubí docházelo ke snížení kvality mlhy a ke nestejným dávkám. Rozprašovač se snaží tyto problémy odstranit, či dostatečně snížit. Hlavní rozdíl spočívá ve směšování v bezprostřední vzdálenosti trysky, která je dokonce součástí bloku rozprašovače. Tlakový vzduch je přiveden do komory, kde dojde k jeho stabilizaci. Dále proudí do

směšovací komory, kam se přivádí tekuté nebo polotekuté mazivo a následně směs o optimální homogenitě opouští rozprašovač skrz rozprašovací trysku.

### Podrobný popis

Obr. 2-17 zobrazuje řez funkčními prvky rozprašovače 100. Všechny hlavní prvky jsou umístěny ve válcových dutinách 10, 11 ocelového kvádra 1. Jednu stranu dutiny 11 uzavírá pouzdro 3 s nalisovanou tryskou 2 o průměru 2 mm. Těsnící kroužky 31 a blíže nspecifikovaný princip drží pouzdro 3 na svém místě. Druhá strana dutiny obsahuje vstupní hrdlo 4 pro přívod maziva 51 průchozí trubkou 5, jejíž vnitřní průměr činí 6 mm. Mezi čely pouzdra 3 a hrdla 4 vzniká prstencová dutina 12 spojená se směšovací komorou 6 skrz kanálky 32 o velikosti 1 mm. Kanálků je po obvodu šest a jsou rovnoměrně rozmístěné. Zahloubení v pouzdru 3 a čelo rozprašovací trysky 2 definují směšovací komoru 6. Objem prstencové komory je pětkrát větší než směšovací komora s přívodními kanálky.

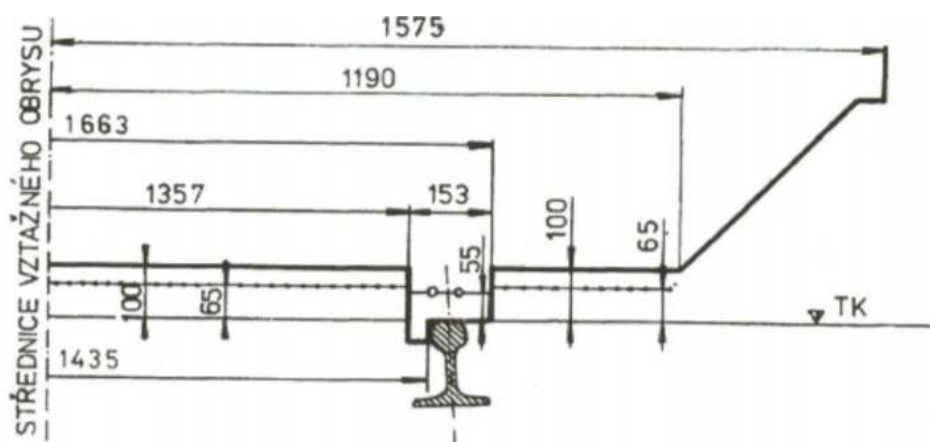


Obr. 2-17 Rozprašovač pro nástřik mazací směsi [21]

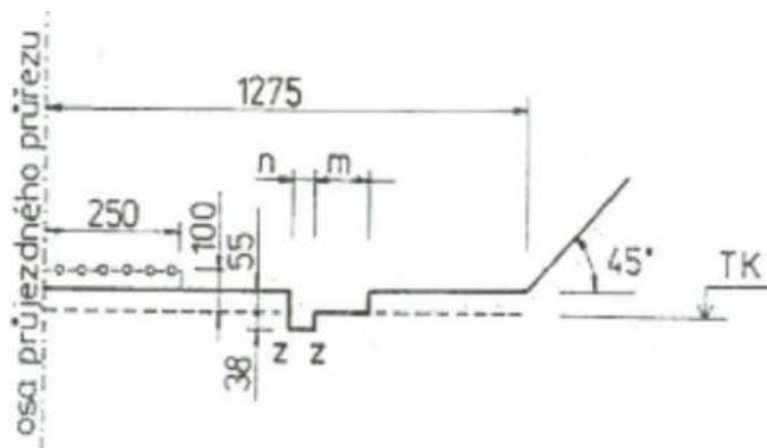
Válcová dutina 11 obsahuje hrdlo 7 pro přívod tlakového vzduchu 71. O propojení dutiny 11 a prstencové komory 12 se stará spojovací kanál 11. Z technologických důvodů výroby tohoto kanálu musí být použita zátku 14 pro uzavření vnitřního prostoru. Ocelový kvádr 1 obsahuje montážní otvor 15, skrz který se provádí uchycení a následné ustavení. Má-li být pozice neměnná, kvádr obsahuje dva tyto otvory. O dodávku maziva se stará řídicí ventil umístěný za nádržkou, která je skrz další řídicí ventil připojena ke zdroji tlakového vzduchu, jež slouží jako hnací médium. Další řídicí ventil reguluje přívod vzduchu do rozprašovače. Všechny výše uvedené ventily jsou připojeny k řídicí jednotce.

## 2.4 Průjezdový průřez tratě

Existují dvě normy určující zóny v kolejišti, do kterých nelze zasáhnout. Jedna určuje minimální vzdálenost brzdových zdrží, pískovačů a neodpružených součástí vozidla od temene hlavy kolejnice při úplně opotřebovaných obručích [22], Obr. 2-18 – čára s tečkami. Na obrázku je tučnou souvislou čarou vyznačena dolní část vztažného statického obrysu pro hnací vozidla. Z této normy vychází hodnota 65 mm. Druhá norma definuje zóny z pohledu trati, tudíž udává minimální průjezdný profil [23], Obr. 2-19, čárkovaná čára značí temeno hlavy kolejnice. Tučná čára zde definuje tvar prostoru včetně rozměrů, do kterého nesmí žádná součást tratě zasáhnout, neboť prostor je určen průjezdu vozidel. Z toho vyplývá maximální vzdálenost nad temenem 55 mm.



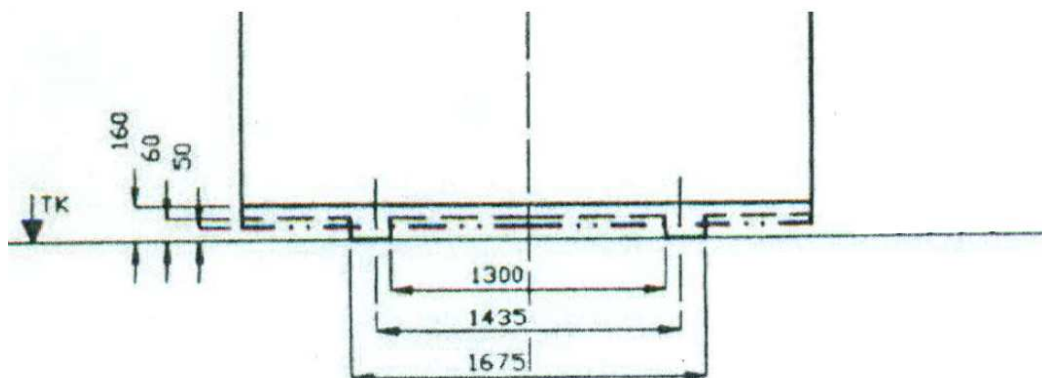
Obr. 2-18 Vztažný profil statického obrysu pro hnací vozidla [22]



Obr. 2-19 Minimální průjezdný profil tratě [23]

Jelikož zařízení je také určeno k provozu na tramvajových linkách, bylo nutné se zabývat i těmito normami. Dopravní podnik města Brna má vlastní předpis definující průjezdový profil pro žlábkové kolejnice, který ovšem neplatí pro širokopatní kolejnice. Z komunikace s nimi vzešel poznatek, že pokud se aplikační jednotka bude připevňovat k těmto kolejnicím, je nutné respektovat obrys vozidla daný normou [24] a ponechat tam jistou bezpečnostní

mezeru. Na Obr. 2-20 je zobrazeno spodní vymezení obrysu pro rozchod 1435 mm. Aby se předešlo případnému kontaktu tramvaje a aplikační jednotky, byla uvažována nejmenší uvedená vzdálenost od temene kolejnice 50 mm.



Obr. 2-20 Obrys tramvaje [24]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Práce se zabývá vývojem stacionární mazací jednotky pro mazání temena hlavy kolejnice. Tím, že se jedná o plochu přenášející trakční a brzdící síly, jsou zde velké nároky na přesnost dávkování a jeho opakovatelnost. Nepřesným dávkováním může dojít k přemazání, které má za následek prodloužení brzdící dráhy, což skýtá bezpečnostní riziko. Zařízení bude aplikovat TOR mazivo v závislosti na hladině hlukové emise. Dávkování se spustí po překročení předem definované hodnoty. Řídící algoritmus bude muset brát v potaz i počet projetych náprav, či podobnou veličinu, aby nedošlo k přemazání. Jeho vývoj není součástí diplomové práce.

Rešerše je rozdělena do čtyř kapitol. První část se věnuje látkám ovlivňující tření v kontaktu kola a kolejnice a z toho plynoucí redukci hluku. Pro předkládanou práci je významná druhá skupina – HPV (TOR produkty). Jedná se o látky obsahující pevné částice a vodní nebo olejovou bázi [2, 3]. Oba produkty ovlivňují tření jiným mechanismem. TOR maziva založená na olejové bázi se používají spíše k redukci hluku. Z katalogových listů [25, 26] lze stanovit, že se jedná o látky s nižší tekutostí – nejnižší NLGI 00. Tento charakter významně ovlivňuje samotnou aplikaci a bude představovat jednu z výzev diplomové práce. Curley [5] aplikoval TOR maziva separátně na vnější a vnitřní kolejnici. Pokud se mazala vnitřní kolejnice, k redukci hluku nedošlo, neboť ve zkoumaném oblouku nebyl hluk z temene dominantní. Z práce Eadiho [7] vychází poznatek, že po aplikaci TOR maziv došlo ke snížení hluku jak z temene, tak z okolku. Na základě těchto prací vznikl požadavek, aby vyvíjené zařízení umožňovalo aplikaci maziva na obě kolejnice separátně. Předpokládaná velikost dávky se stanovila na základě práce Galase [9]. Druhá kapitola se věnuje patentové rešerši a průzkumu trhu. Téměř každé uvedené zařízení využívá pro aplikaci jiný způsob. Další kapitola uvádí komerční zařízení pro vytváření olejové mlhy, která se používá pro mazání rotační součástí a skluzových ploch. Následuje popis konstrukce směšovacích trysek, jež jsou inspirací pro nový koncept využívající TOR mazivo smíšené se vzduchem. Poslední kapitola se zabývá zástavbovými prostory, které mohou být využity. Účelem těchto normalizovaných oblastí je, aby nedošlo ke kontaktu projíždějícího vozidla a pevného prvku tratě – například vyvíjeného mazníku.

Všechna uvedená zařízení v tabulce Tab. 3-1 slouží k mazání temene hlavy kolejnice, některé také pojížděné hrany, za účelem snížení opotřebení. Poslední sloupec ukazuje traťový oblouk jako kritické místo. Lze vidět jasný trend v napájení a to, že se využívají baterie, není-li dostupná elektrická síť. Příčina se může ukrývat v legislativě, což znamená více atestu k možnosti připojení k síti. První uvedené zařízení [10] využívá vrtání kolejnic,

což je dovoleno pouze u tramvajových linek, neboť zde není velké zatížení nápravy, čímž je nízké riziko lomu kolejnice. Jak již bylo zmíněno, vyvíjené zařízení musí umožňovat přesnou aplikaci malých dávek. Využitý princip u mazníku MKH-01 toto nesplňuje, neboť je použita pumpa na principu vačky. Pokud by byla dávka přesně rovna jedné otáčce, dalo by se využít. Za výhodu se dá považovat aplikace maziva přímo do kontaktu kola s kolejnicí. Další uvedené zařízení [11] využívá nástřiku přímo na kolo. Zde již není problém s opakovatelností a přesností dávkování, neboť je přímo před tryskami zařazen ventil, který se ovládá pomocí řídicí jednotky. Velikost dávky přímo závisí na době otevření ventilu. Nevýhodou tohoto zařízení je jeho úzké pole použití. Aby totiž došlo ke spolehlivému nanesení, musí se vozidlo pohybovat poměrně pomalu. Třetí uvedené zařízení [13] přímo reaguje na nedostatky předešlého. Nevyužívá se nástřik maziva na kola, nýbrž přímo na kolejnici, když je aplikační jednotka překlenuta vagónem. Toto řešení má lepší spolehlivost nástřiku při vyšších rychlostech. V krajním případě paprsek v jednom směru nestihne dopadnout na kolej před průjezdem soukolí, ale paprsek ve druhém směru vždy dopadne. Jako nevýhoda se dá považovat nutná přesnost montáže, neboť paprsek maziva se dotkne hrany hlavy kolejnice, čímž dochází k jeho rozstříku a roztržštěný dopadá na kolejnici. Následující zařízení [14] je aplikační lišta umístěná na vnější straně kolejnice. Mazivo se aplikuje vytlačěním na hlavu kolejnice. Řešení skýtá hned několik nevýhod. Nejvýznamnější z nich je dobré utěsnění v místě kontaktu s kolejnicí, aby nedocházelo ke kapání maziva. Objevuje se zde jistá nejistota v přesnosti dávky, neboť vytlačené mazivo nemusí putovat přímo do kontaktu, ale může například stéci mimo kolej. Další negativní vlastností je nemožnost aplikovat malé dávky. Poddajná mazací lišta [16] odstraňuje nebo omezuje některé z výše uvedených nevýhod. V okamžiku průjezdu vozidla dochází k jejímu stlačení, a tím k nasměrování maziva do kontaktu kola a kolejnice. Také stlačěním dochází k lepšímu těsnění mezi lištou a kolejnicí. Poslední produkt [17] je komerčně prodávané zařízení. Využívá se zde nástřik maziva na kolejnici, jako je tomu u třetího zařízení [13]. V tomto případě tryska směřuje přímo na kolejnici a nevyužívá se žádného rozstříku. Velká výhoda spočívá v možnosti aplikace malých dávek pomocí pístu a pružiny. Jako nevýhodu lze brát nutnost poměrně přesného ustavení.

Tab. 3-1 Porovnání jednotlivých variant

ZAŘÍZENÍ	TYP MAZNÍKU	ZPŮSOB APLIKACE	NAPÁJENÍ	ÚČEL	UMÍSTĚNÍ
<b>Mazník MKH-01</b>	TOR, pojížděná hrana	otvory v kolejnici	baterie a solární panel	snížení opotřebení a hlukové emise	oblouk, problematický úsek
<b>Mazník s nástřikem na kolo</b>	TOR, pojížděná hrana	nástřik	sít + baterie a solární panel	snížení opotřebení, lepší schopnost valení	spádoviště, oblouky
<b>Mazník s nástřikem na kolejnici</b>	TOR, pojížděná hrana	nástřik	sít + baterie a solární panel	snížení opotřebení	oblouky

ZAŘÍZENÍ	TYP MAZNIKU	ZPŮSOB APLIKACE	NAPÁJENÍ	ÚČEL	UMÍSTĚNÍ
Mazací lišta	TOR	lišta	sít + baterie a solární panel	snížení opotřeben kola kolejnice	oblouky, výhybky, přímé úseky
Poddajná mazací lišta	TOR	lišta	—	zlepšení výkonu, redukce opotřebení	oblouky, výhybky, přímé úseky
SLID	TOR, pojížděná hrana	nástřík	baterie a solární panel	snížení opotřebení, redukce hluku	začátek / střed oblouku

Po zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých mazníků se ukazuje jako nejlepší princip aplikace nástřík maziva přímo na kolejnici. Jednou z možností je nástřík směsi maziva se vzduchem, které se věnuje další část rešerše. Jako první je uvedeno zařízení na tvorbu olejové mlhy používanou pro mazání rotačních součástí [19]. Hlavní nároky na směs jsou její homogenita a velikost částic. Mlha se vytváří centrálně a následně se transportuje laminárním prouděním k jednotlivým tryskám. Využitím technologie víru dochází ke zvýšení rychlosti v místě přisávání oleje. Za tímto místem následuje stínítko, které zachytí velké kapky oleje a ty následně stečou do zásobníku. Z tohoto důvodu je princip nevyužitelný pro přesnou aplikaci maziv na kolejnici. Musel by se přesně měřit obsah maziva ve vzniklé mlze. Jako lepší varianta se nabízí směřování přímo v trysce. U první trysky [20] vzduch proudí její osou a k němu je ze stran přimícháváno redukční činidlo. Výhoda tohoto konceptu se nachází v jeho jednoduchosti. Na druhou stranu zde není zapotřebí dokonalé promíchání, což pravděpodobně ani není zajištěno. Hlavní nevýhodou je ovšem výsledná velikost a tvar výstupního kužele směsi, což by se dalo řešit vhodným tvarováním konce trysky. Poslední tryska [21] obsahuje směšovací komoru s vířením, kde dojde k vytvoření homogenní směsi, která je následně usměrněna a vyfouknuta ven z trysky. Výhodou zde je také jednoduchost výroby a montáže včetně vyměnitelnosti trysky.

## 3.2 Podstata a cíle diplomové práce

Cílem diplomové práce je návrh a realizace stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice. Zařízení bude provádět nanášení maziva na temeno hlavy kolejnice, čímž dojde ke snížení hladiny hluku. Jelikož se maže plocha přenášející trakční síly, je nutné zajistit přesné dávkování malých množství maziva s vysokou opakovatelností. Vyvíjená jednotka umožní aplikovat minimální množství 0,4 g s možností navýšení této dávky. Maximální dávka bude stanovena na základě velikosti nádržky s mazivem – až desítky gramů, popřípadě dojde k softwarovému omezení.

Předložená diplomová práce je součástí projektu Technologické agentury programu Zéta.

Název: *Vývoj stacionární jednotky pro snížení hluku z kolejové dopravy*

Identifikační kód: *TJ01000427*

Příjemce: *Vysoké učení technické v Brně*

Délka řešení: *1. 1. 2018 – 31. 12. 2019*

#### **Dílčí cíle diplomové práce:**

- rešerše zařízení pro aplikaci maziv v oblasti kolejové dopravy,
- návrh aplikační jednotky v podobě testovacího zařízení ( $G_{\text{funk}}$ ),
- studium parametrů nástřiku,
- konstrukce aplikační jednotky ( $G_{\text{funk}}$ ),
- provedení ověřovacího experimentu.

#### **Výstupy diplomové práce**

S ohledem na cíle výše zmíněného projektu Technologické agentury budou výstupem diplomové práce dva aplikované výsledky:

- Funkční vzorek ( $G_{\text{funk\_01}}$ ) – aplikační jednotka pro experimentální vývoj v laboratorním prostředí
- Funkční vzorek ( $G_{\text{funk\_02}}$ ) – aplikační jednotka pro testování v reálném provozu

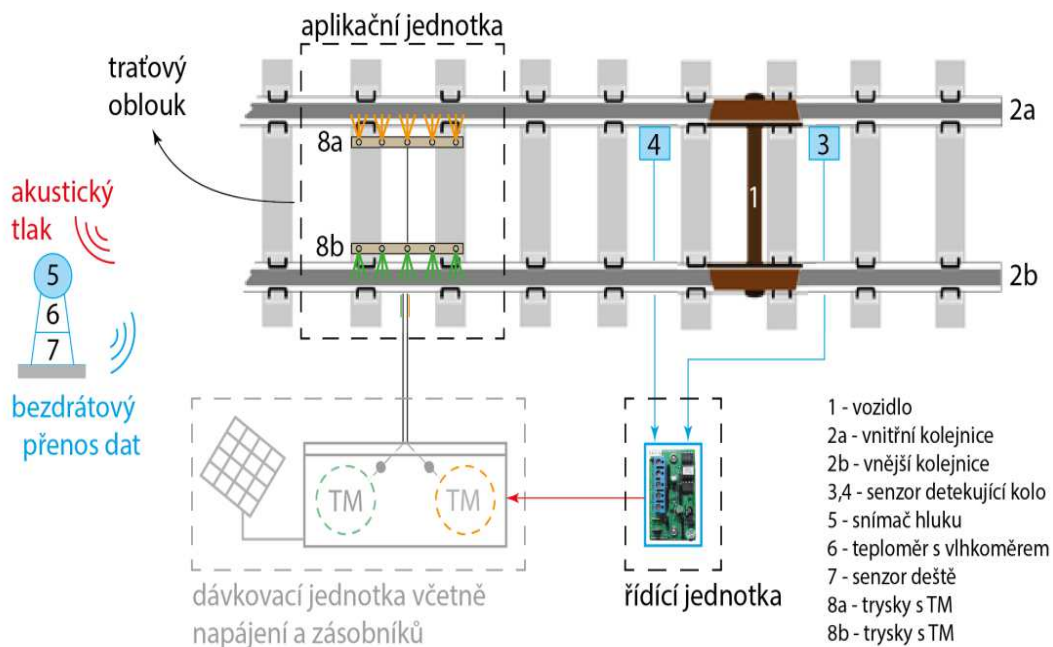


## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Stacionární jednotka pro mazání hlavy kolejnice lze rozdělit do tří následujících funkčních celků (Obr. 4-1):

- **aplikační jednotka** – obsahuje trysky, pneumatické ventily a malou nádržku na mazivo, která se bude plnit z hlavního zásobníku. Použitím této nádržky docílíme přesného tlaku v trysce, což je nezbytné pro přesnou aplikaci. Kdyby systém nádržku neobsahoval, mohlo by dojít ke kolísání tlaku a průtoku po započítí nástřiku, což by snížilo přesnost dávkovaného množství. Návrh aplikační jednotky představuje hlavní část diplomové práce, a proto bude jejímu návrhu věnována v následující části práce hlavní pozornost.
- **řídící jednotka** – Řídí aplikaci maziva na kolejnice na základě získaných dat od senzorů průjezdu náprav, teploty, vlhkosti, deště a přijímá signál od jednotky měřící hluk vzniklý průjezdem vozidel. Také zajišťuje možnost vzdálené správy zařízení.
- **technické zázemí** – obsahuje pumpu, kompresor, zásobník maziva a baterie k solárnímu panelu, kterým bude celé zařízení napájeno. Většinu uvedených komponent doporučila firma TriboTec.

V následujících kapitolách jsou detailněji rozebrány možnosti aplikační a řídící jednotky včetně jejich výhod a nevýhod. Dále se zde popisují doporučené komponenty.

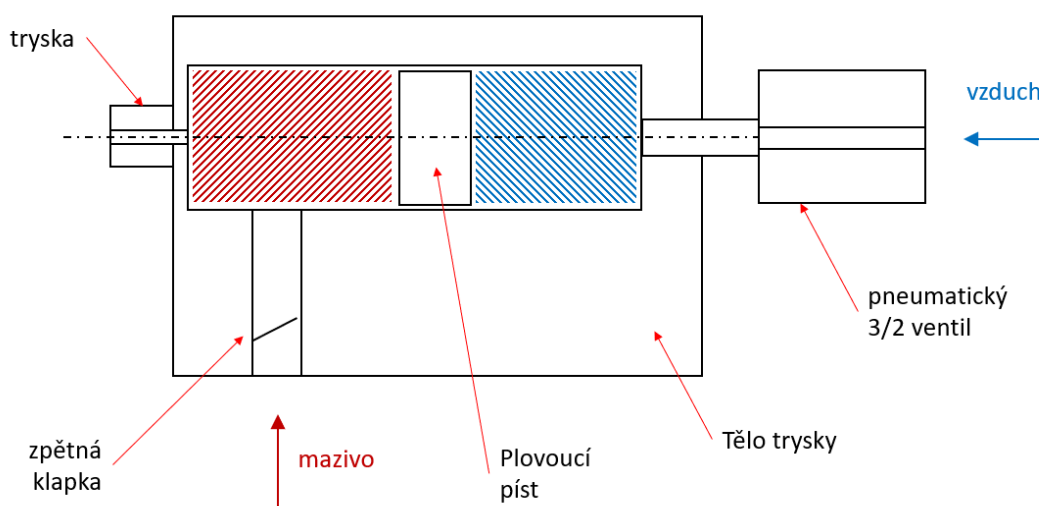


Obr. 4-1 Schéma celkového zařízení

## 4.1 Aplikační jednotka

### 4.1.1 Varianta 1 – plovoucí píst hnaný stlačeným vzduchem

Jednou ze zvažovaných variant, jak nanášet mazivo na kolejnici, je pomocí tlakového vzduchu (Obr. 4-2). Koncepce se skládá z pneumatického 3/2 ventilu, zpětné klapky, těla trysky, plovoucího pístu a trysky. Nejprve dojde k naplnění pracovní části válce z jedné strany plovoucího pístu mazivem. Následně se uzavře zpětná klapka, aby při připojení tlakového vzduchu neunikalo mazivo zpět do zásobníku, ale aby došlo k jeho vystříknutí z trysky. Výsledná velikost dávky se stanoví na základě doby otevření pneumatického 3/2 ventilu, což umožňuje relativně velkou variabilitu aplikovaného množství maziva. Z označení ventilu lze vyvodit, že obsahuje tři vstupy a je možné jej přepínat mezi dvěma polohami. Při sepnutí ventilu dojde k natlakování objemu uvnitř těla trysky a při vypnutí je tento objem spojen s okolní atmosférou. Existuje zde jistá minimální dávka definovaná minimální dobou otevření ventilu a jeho průtokem.



Obr. 4-2 Způsob nanášení maziva varianta 1

Největší předností varianty na Obr. 4-2 je její jednoduchost a nízký počet komponent potřebných k provedení nástřiku maziva. Dále je s tím spjata nízká výrobní cena přispívající k možnosti sériové výroby.

Naopak k nevýhodám této koncepce patří zejména problém při plnění válce mazivem. Při plnění je přívod vzduchu odpojen, tudíž se překonává pouze odpor těsnění, ovšem otvor v trysce není nijak uzavřen. To znamená, že při plnění může docházet k samovolnému úniku maziva otvorem v trysce. Další nejistotu v systému tvoří mechanická zpětná klapka, kde musí dojít k vyvození jistého tlaku pomocí vzduchu, aby došlo k uzavření klapky.



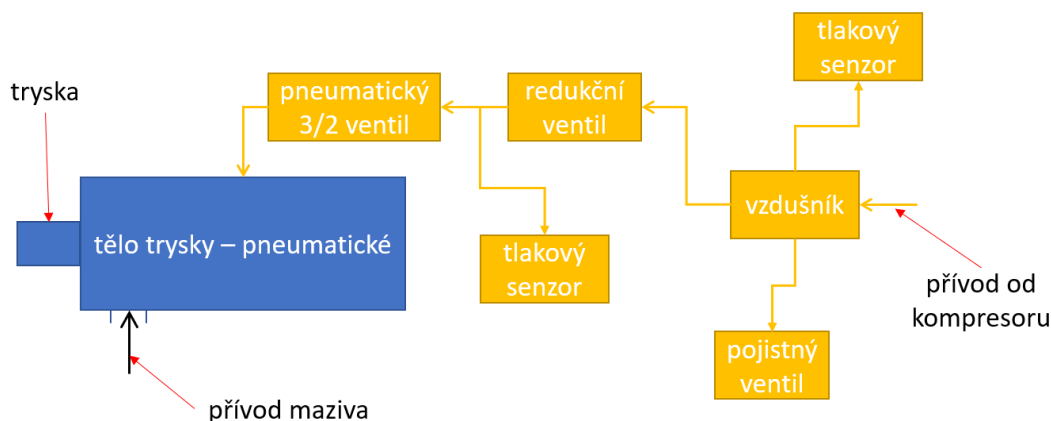
Obr. 4-3 a) Experimentální zařízení – varianta 1, b) Okap na trysce

I přes výše popsané nevýhody byla sestavena testovací aparatura (Obr. 4-3a), na které se testovala funkčnost navržené koncepce. Tato aparatura pomohla odhalit závažnou nevýhodu navržené koncepce. Jedná se o tvoření okapu po provedení nástřiku (Obr. 4-3b). Tento okap negativně ovlivňoval délku nástřiku, dokonce po několika opakování zabránil provedení, neboť došlo k ucpaní trysky. Tuto nevýhodu je možné odstranit dodatečným profukem trysky stlačeným vzduchem.

#### 4.1.2 Varianta 2 – pneumaticky ovládaná tryska

Jedná se o nakupované tělo trysky od firmy Spraying Systems s.r.o. Tryska obsahuje uzavírací jehlu, čímž dojde k okamžitému zamezení toku maziva a zabránění tvorby okapů. Pomocí této jehly je také zvýšena opakovatelnost aplikace. Předpokládaná doba otevření trysky se pohybuje v jednotkách desetin sekundy. Vybraná tryska umožňuje 180 cyklů za minutu, tudíž jeden cyklus trvá 0,33s. Tato hodnota je ještě dostačující, neboť z komunikace s výrobcem vzešel poznatek, že délka cyklu závisí na rychlosti a průtoku ventilu, tudíž je možné se dostat i na nižší hodnoty. Na ovládání trysky je zapotřebí pneumatický ventil, jehož rychlost reakce a délka hadicového vedení mezi ním a tryskou stanovuje minimální dobu otevření, tudíž i nejnižší aplikovatelnou dávku. Množství maziva se jako u předchozí varianty stanoví na základě doby otevření trysky a hmotnostního průtoku maziva. Obr. 4-4 zobrazuje schéma konfigurace s dalšími potřebnými prvky.

Pneumatický okruh se skládá z kompresoru, vzdušníku, pojistného ventilu, redukčního ventilu, pneumatického 3/2 ventilu a tlakových senzorů. Pomocí kompresoru je tlakován vzdušník, který funguje jako zásobárna tlakového vzduchu, aby se s každou aplikací nemusel spouštět i kompresor. Na základě informací z tlakového senzoru dochází ke spouštění kompresoru. Pojistný ventil předchází přetlakování vzdušníku a následné jeho destrukci. Z důvodu proměnnosti tlaku ve vzdušníku je nutné jej redukovat pomocí redukčního ventilu na konstantní hodnotu hlídanou druhým tlakovým senzorem. O samotné spouštění pneumaticky ovládané trysky se stará pneumaticky 3/2 ventil.

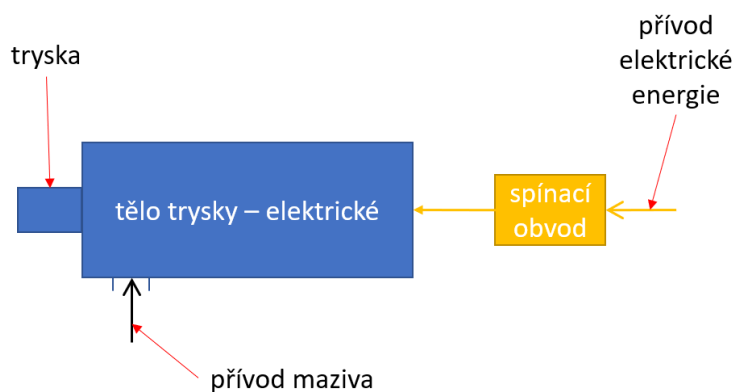


Obr. 4-4 Schéma těla trysky – varianta 2

Nevýhodou této koncepce je nutnost většího počtu komponent, které zároveň snižují spolehlivost systému jako celku. Pokud se provede odhad ceny, tak se jedná o přiměřenou částku, která se již při použití dvou trysek vyrovná ceně varianty 3 popsané níže a s každou přidanou tryskou se tato varianta stává ekonomičtější.

#### 4.1.3 Varianta 3 – elektricky ovládaná tryska

Tato varianta je taktéž založena na trysce od firmy Spraying Systems s.r.o. Oproti již uvedené se liší způsobem aktivace, k čemuž se využívá elektrického proudu. Velká přednost této trysky spočívá ve vysoké opakovací frekvenci – až 10 000 cyklů za minutu. Minimální čas aplikace maziva se zde pohybuje kolem 6 ms, což napomáhá k velmi přesnému dávkování maziva. Tryska se běžně využívá ke spojitě regulaci průtoku, bez nutnosti měnit tlak. Toho je dosaženo pomocí PWM modulace neboli rychlému spínání a vypínání trysky. Podle poměru otevření, zavření se stanoví finální průtok. Připojení trysky do soustavy, které je zobrazeno na Obr. 4-5, vyžaduje menší počet dílů než u varianty 2, což přispívá ke zvýšení spolehlivosti systému. Elektricky ovládané trysky mají poměrně vysokou pořizovací cenu, což je značná nevýhoda této varianty.



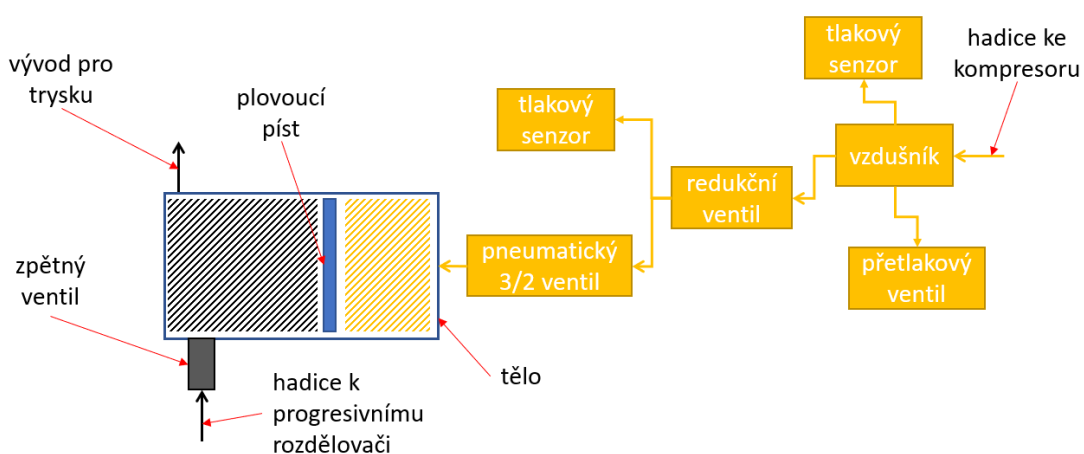
Obr. 4-5 Schéma těla trysky – varianta 3

## 4.2 Vyvození tlaku v mazivu

Na základě výše uvedených variant aplikační jednotky připadají v úvahu dvě možnosti vyvození tlaku v mazivu. První spočívá v použití stlačeného vzduchu a druhá využívá elektromagnet. Zatímco použití stlačeného vzduchu je vhodné pouze pro variantu 2, využití tlakování pomocí elektromagnetu má význam pouze u varianty 3. Jiná kombinace by vedla na značně neekonomická řešení. Varianta 1 již má část vyvozuující tlak v mazivu implementovanou v sobě, tudíž je popsána přímo v předešlé kapitole. Toto sloučení má opodstatnění v tom, že vyvozením tlaku v mazivu dojde přímo k nástřiku, neboť varianta neobsahuje uzavíratelnou trysku.

### 4.2.1 Vyvození tlaku pomocí stlačeného vzduchu

Při použití stlačeného vzduchu se vychází ze stejné koncepce jako je tomu u první varianty těla trysky. Konstrukční uzel zobrazen na Obr. 4-6 se skládá z těla, plovoucího pístu, zpětného ventilu a pneumatického okruhu. Princip činnosti je následující: od pumpy přes progresivní rozdělovač se mazivo dostane do části vnitřního objemu těla. Při doplňování je zastaven přívod tlakového vzduchu pomocí pneumatického 3/2 ventilu, tudíž se překonává pouze odpor těsnění na plovoucím pístu. Připojená tryska má uzavírací jehlu, proto nedochází k nechtěným ztrátám maziva vytečením z trysky. Pro vyvození tlaku v mazivu, otevře se pneumatický 3/2 ventil a do druhé části vnitřního objemu se dostane tlakový vzduch. Při tomto ději se může stát, že malá část maziva se vrátí zpět do hadicového vedení k progresivnímu rozdělovači, ovšem po uniknutí tohoto objemu se uzavře zpětný ventil. Tento únik nemá žádný vliv na aplikované množství, neboť tryska se otevře až po uzavření zpětného ventilu, čehož se docílí časovou prodlevou mezi spuštěním tlakováním maziva a otevřením trysky. Po skončení aplikace se znovu uzavře pneumatický 3/2 ventil a mazivo nebude nadále pod tlakem.

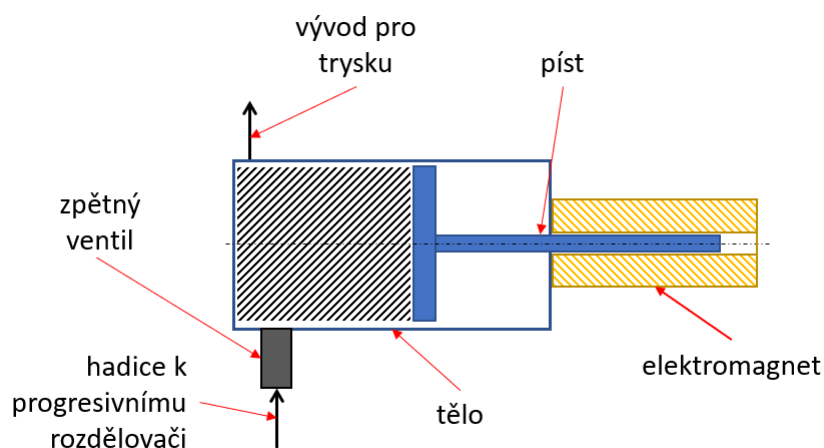


Obr. 4-6 Pneumatické tlakování maziva

Jak již bylo v úvodu kapitoly řečené, tak tato varianta je vhodná pro variantu pneumaticky ovládané trysky. Hlavní důvod spočívá v možnosti sdílení pneumatického okruhu oběma celky, tudíž dochází k finanční úspoře. Většina použitých komponent v tomto okruhu mají poměrně vysokou pořizovací cenu, což se může považovat za nevýhodu. Další nevýhoda spočívá v použití většího počtu komponent, čímž klesá spolehlivost systému.

#### 4.2.2 Vyvození tlaku pomocí elektromagnetu

Druhá varianta zobrazená na Obr. 4-7 využívá elektromagnet k vyvození tlaku v mazivu. Koncepce se skládá z podobných komponent, jako je tomu u předchozí varianty, tedy: tělo, píst, zpětný ventil a elektromagnet. Princip činnosti se podobá také již popsané variantě se stlačeným vzduchem. Jediný rozdíl spočívá v použití elektromagnetu namísto vzduchu. Na elektromagnet je kladen jeden, ale zásadní požadavek a to, aby vyvozená síla byla konstantní v rámci větší části zdvihu. Většina elektromagnetů tento požadavek ovšem nespĺňuje. Když už se objevil elektromagnet splňující tyto požadavky, tak nevyhovoval z hlediska vyvozené akční síly a rozměrové kompaktnosti. Běžně nabízené elektromagnety kompaktních rozměrů nejsou schopny vyvodit sílu, která by byla dodatečná pro aplikaci viskóznějších maziv. Vyvozená síla je závislá na střídě („duty cycle“) elektromagnetu, jež standartně bývá 100 %. Pracovní cyklus vyjadřuje poměr doby sepnutí ku celkové době, která činí 300 sekund. Při použití nejmenší katalogizované hodnoty 5 % se síla výrazně zvýší, čímž se umožní použití kompaktnějších elektromagnetů. Firmy je ovšem běžně nevyrobí, tudíž by bylo nutné objednat minimální počet.



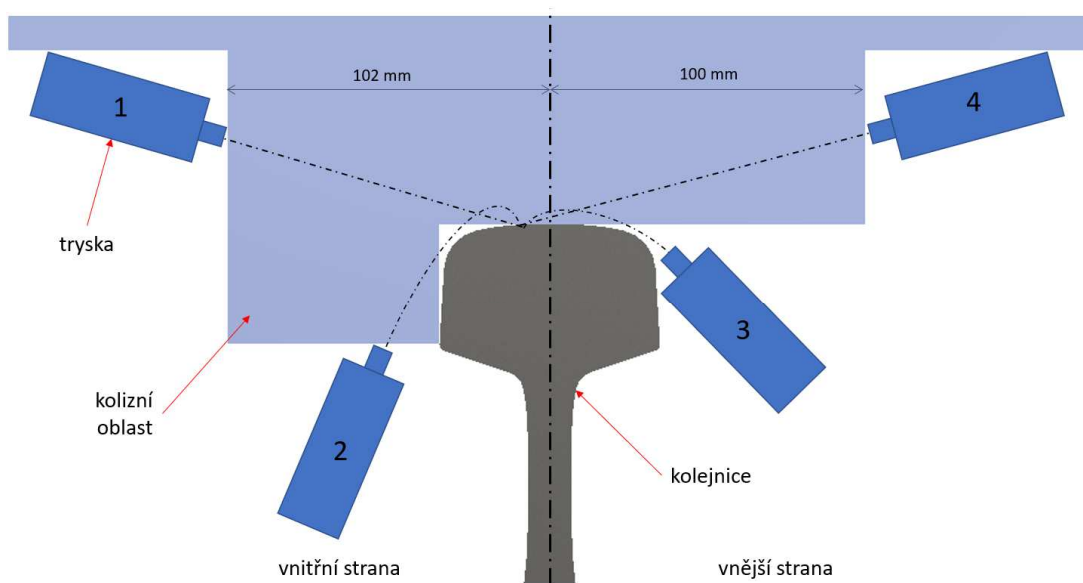
Obr. 4-7 Tlakování maziva pomocí elektromagnetu

Hlavní výhoda koncepce s využitím elektromagnetu spočívá v jeho nízké složitosti a malém počtu komponent, což zvyšuje spolehlivost systému. Při kombinaci s elektricky ovládanou tryskou odpadá potřeba pneumatického obvodu, čímž se zlevní celkové řešení. Tato varianta je však výhodná bude-li zařízení obsahovat jen jednu trysku. Při použití více trysek se stává ekonomičtější varianta využívající stlačený vzduch. Zásadní nevýhoda varianty

s tlakováním maziva pomocí elektromagnetu spočívá v nevhodnosti žádného komerčně prodáváného magnetu, tudíž pro potřeby diplomové práce je to nevhodné. Jednalo-li by se o sériovou výrobu, dá se o této variantě uvažovat.

### 4.3 Pozice trysky aplikační jednotky

Z rešerše vyplynuly jisté oblasti v okolí kolejnice, do kterých konstruované zařízení nemůže zasáhnout (Obr. 4-8). Z tohoto důvodu připadají v úvahu čtyři místa na umístění aplikační jednotky – dvě z vnější (pozice 3, 4) a dvě z vnitřní strany (pozice 1, 2) kolejnice. Při porovnávání těchto dvou stran se dá dojít k závěru, že umístění na vnější straně je méně výhodné. Důvod spočívá v dráze nástřiku maziva a místě kontaktu běhounu kola s temenem hlavy kolejnice, jež je blíže vnitřní straně kolejnice. Mazivo musí při nástřiku urazit delší vzdálenost, čímž se sníží i přesnost. Dále pokud by se vytvořila stopa po aplikaci, tak část maziva se nedostane do kontaktu, tudíž jej lze považovat za ztrátu. Umístila-li by se aplikační jednotka z vnitřní strany, tak cílené místo je v bližší vzdálenosti od trysky. Pokud by se zde vytvořila stopa po aplikaci, tak ke ztrátě nedochází, neboť většina ze stopy dopadne na pojížděnou hranu kolejnice, čímž se také sníží hluk a opotřebení oproti nemazanému stavu.



Obr. 4-8 Schéma umístění trysek

Další rozdělení lze provést na umístění po stranách kolejnice (Obr. 4-8 pozice 2, 3) a na umístění nad temenem hlavy kolejnice (pozice 1, 4). Při umístění prvním způsobem bude docházet k nástřiku pomocí paraboly. Tryska bude natočená kolem horizontální a svislé osy. Správnou volbou těchto úhlů půjde docílit dobré přesnosti v zasažení cílové oblasti a také minimalizace stopy, která by mohla dopadnout na pojížděnou hranu. Nevýhoda této

konfigurace spočívá v nutnosti použití pouze koncovky trysky se souvislým proudem, nikoli koncovky s plochým rozstříkem, jež by vytvořily tenký film namísto „hrudky“ maziva.

Při umístění aplikační jednotky nad úroveň temene hlavy kolejnice (Obr. 4-8 pozice 1, 4) je nutné překonat větší vzdálenost v laterálním směru oproti předchozí variantě. Aby se tato vzdálenost minimalizovala, tryska se umístí kolmo na kolejnici v horizontální rovině a natočí se směrem ke kolejnici. Jako výhodu se dá považovat přímá viditelnost na cílové místo, tudíž není nutné využívat paraboly pro jeho zasažení. Z tohoto důvodu je možné využít i koncovky trysky s plochým rozstříkem, čímž by se mohly zvýšit účinky TOR maziva a snížit aplikované množství. Touto konfigurací se ovšem neomezí dopad stopy po nástřiku na pojížděnou hranu, což může být jistá nevýhoda. Dále zde bude potřeba přesnějšího nastavení úhlu trysky, pro dosažení požadované přesnosti.

## 4.4 Řídící jednotka

Zde připadají v úvahu dvě varianty – jedna využívá PLC neboli průmyslový programovatelný automat a druhou je platforma Arduino. Řídící jednotka, kterou bude obsahovat reálné zařízení, musí být schopná přijímat data ze senzorů teploty, vlhkosti, deště, tlakových senzorů v pneumatickém okruhu, indukčního senzoru pro detekci průjezdů náprav a pozici pístu v aplikační jednotce. Dále musí umět spínat ventily, elektromagnety, ovládat pumpu s kompresorem, mít analogový výstup a komunikovat s modulem umožňující vzdálenou správu zařízení. Posledním požadavkem na řídící jednotku je možnost vyhodnocovat hluk, který generuje průjezdem vozidla. Zpracování vstupů ze snímačů a hluku rozhodující o tom, zda se bude, či nebude mazat, řeší další diplomová práce.

PLC nemá problém splnit všechny požadavky. K snímání senzorů by se zakoupily příslušné měřicí karty. Ventily a elektromagnety byly vybírány na základě pracovního napětí, jež činí 24 V, což je zároveň pracovní napětí PLC. Vzhledem k proudu, který odebírá pumpa a kompresor je nutné využít relé. Výhoda tohoto řešení spočívá v jeho robustnosti, ovšem pořizovací cena je poměrně vysoká. Další nevýhoda plyne z nedostatku zkušeností s programováním PLC.

Arduino umožňuje číst digitální vstupy a pro analogové obsahuje již integrovaný 10bit převodník. Převodník má ovšem nedostatečné rozlišení, navíc je jen v rozpětí 0 až 5 V. Také zde vyvstává problém s vedením analogového signálu na delší vzdálenosti, neboť se zde objevuje větší šum. Z těchto důvodů se použije externí 12-bit převodník, jež s Arduinem komunikuje přes I2C sběrnici. Protože Arduino pracuje s 5V logikou a komponenty využívají 24 V, musí se do obvodu zařadit elektronické desky s relé, které umožňují spínat obvody s vyššími proudy a napětím. Výhodou Arduina je jeho cenová přívětivost



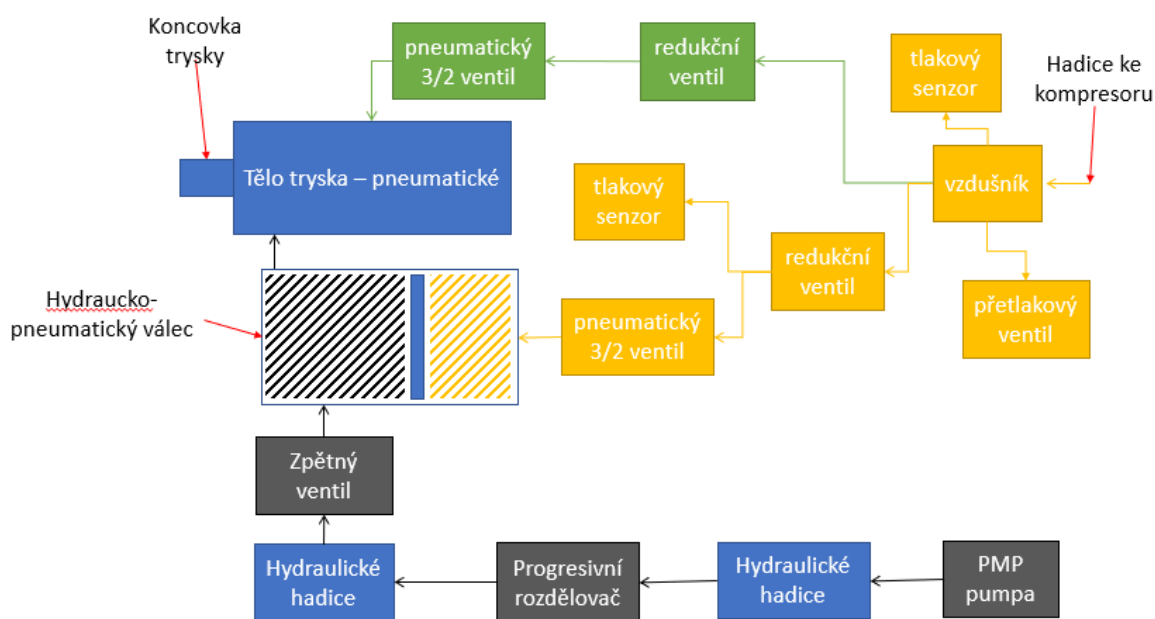
a dostupnost velkého množství podkladů. Robustnost tohoto řešení ovšem není tak velká jako je tomu u PLC.

Výsledná stacionární mazací jednotka bude řízená pomocí PLC. Pro účely diplomové práce a urychlení vývoje se využije Arduino, na kterém dojde k ověření funkčnosti systému. Následný přechod z Arduina na PLC již nebude součástí předkládané práce.

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

### 5.1 Aplikační jednotka

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, aplikační jednotka (Obr. 5-1) se skládá z trysky (tělo trysky a koncovka), ventilů a hydraulicko-pneumatického válce, který bude vyvozovat tlak v kapalině. Tento válec zároveň funguje jako malá nádržka. Schéma zobrazuje pneumatický okruh, který lze rozdělit na dvě větve – ovládací trysku (zeleně) a vyvozující tlak v mazivu (žlutě). Také je tam znázorněn hydraulický okruh (šedá), jež obsahuje pumpu, progresivní rozdělovač a zpětný ventil. Jeho použitím na přívodu do válce dojde k oddělení vlivu hadicového vedení a hlavního zásobníku maziva, neboť bude tlakován pouze objem ve válci. Hlavním parametrem charakterizující celý systém je minimální spolehlivě aplikovatelná dávka maziva. Tato dávka se stanovila na 0,4 g, což odpovídá 480  $\mu\text{l}$ . Z řešení vyplývá, že množství jednoho gramu nijak neovlivňuje brzdnu dráhu a je to běžně aplikované množství. Volba 0,4 g je pro případ, kdyby provozovatel tratě zaujal defenzivní postoj a chtěl by dávkovat menší množství, tak aby to zařízení umožňovalo.



Obr. 5-1 Schéma aplikační jednotky s příslušenstvím

#### 5.1.1 Výběr trysky

Jedním z hlavních parametrů pro výběr trysky byl její průtok, z něhož vyplývá doba otevření trysky a její pracovní frekvence. Vzhledem k požadavku na aplikaci malých množství maziva průtok vždy převyšuje optimální hodnotu. Průtok lze snížit použitím vhodné

koncovky. V katalogu trysek [27] je uvedeno, že uvažovaná tryska pracuje na frekvenci 180 cyklů za minutu, což odpovídá době otevření 166 ms při poměru otevření a zavření 50 %. Bude se uvažovat průtok 0,6 l/min, který se stanovil jako tabulková hodnota pro tlak 7 bar a průměr výstupního otvoru, jež se zvolil na základě provedených experimentů na vytvořené testovací aparatuře varianty 1 [28]. Při jednom testu došlo k ucpání trysky o průměru 0,5 mm, tudíž se volil vyšší průměr. Z průtoku a požadovaného naneseného množství lze stanovit, jaký je potřebný čas otevření trysky. Tento výpočet reprezentuje rovnice ( 5.1 ). Výsledkem je 40 ms, což je 4x nižší časová hodnota, než se udává v katalogu. Z komunikace s výrobcem vzešel poznatek, že v katalogu je uvedena pouze orientační hodnota frekvence spínání. Ve skutečnosti vše záleží na schopnostech ventilu, jak dlouho trvá jeho otevření a jak dlouho zabere, než se v pneumatickém okruhu ovládající trysku zvedne tlak nad pracovní hodnotu, která činí 2 bary.

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{480}{0,6} = 40 \text{ ms} \quad ( 5.1 )$$

kde:

$t$	s	– čas otevření trysky
$V$	l	– aplikované množství
$Q$	l/min	– průtok tryskou

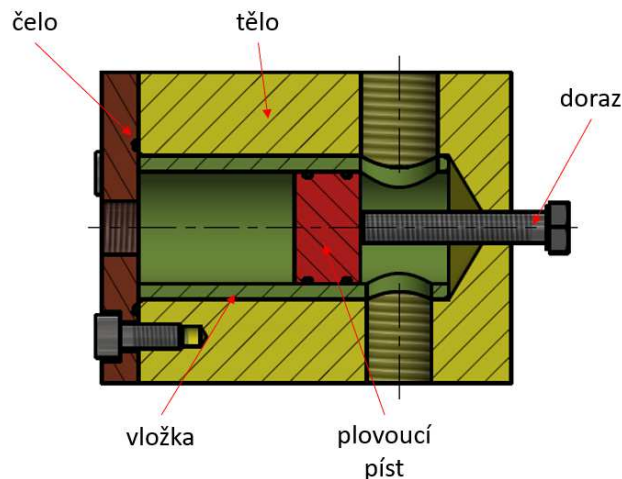
### 5.1.2 Konstrukce experimentálního hydraulicko-pneumatického válce

Pro vytvoření tlaku v kapalině se použije varianta se stlačeným vzduchem, neboť je ekonomičtější a umožňuje sdílení části pneumatického okruhu. Tento hydraulicko-pneumatický válec (Obr. 5-2) se skládá z těla se zalisovanou vložkou a plovoucího pístu, který je uložený ve válci přes O kroužky. Při návrhu vnitřního průměru se vycházelo taktéž z již sestavené testovací aparatury varianty 1 a dostupných průměrů O kroužků. V potaz se také bral pracovní objem a jistá rozměrová kompaktnost. Z těchto důvodů výsledný průměr činí 18 mm. Zvolená délka je 50 mm, což ovšem není pracovní zdvih. Ten je ve skutečnosti 25 mm, neboť se musí odečíst zvolená šířka pístu 10,6 mm. Tato hodnota vyplývá z průměru O kroužků – 1 mm, osazení od čela a vzdálenosti mezi kroužky, aby nedošlo ke zpříčení. Dalším omezujícím parametrem jsou nevhodně umístěné otvory pro hydraulické šroubení. Jedno šroubení připojuje tělo trysky a druhé zpětný ventil, pomocí kterého se oddělí zbytek hydraulického okruhu. Pracovní objem válce se stanoví dle rovnice ( 5.2 ), jejíž výsledek činí 6,36 ml. Tento objem vystačí přibližně na 10 půl gramových dávek, což lze považovat za dostatečné. Aby se zajistila těsnost a funkčnost uložení píst – tělo, byla zvolena tolerance H8 na a drsnost Ra 1,6.

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} \cdot 25 = 6,36 \text{ ml} \quad (5.2)$$

kde:

- $V$  ml – aplikované množství  
 $d$  mm – průměr hydraulicko-pneumatického válce  
 $h$  mm – pracovní zdvih



Obr. 5-2 Řez hydraulicko-pneumatickým válcem

### 5.1.3 Pneumatický ventil

Jak již bylo výše řečeno, výběr ventilu závisí na jeho rychlosti reakce, která usnadňuje řízení a průtok. Z pohledu funkce byl vybrán ventil 3/2, což znamená, že má 3 otvory a 2 pracovní polohy. Důvod výběru tohoto ventilu spočívá v možnosti vypuštění tlaku z natlakovaného objemu po uzavření ventilu – spínání trysky. Jako optimální ovládání ventilu se jeví přímé, kde není pro sepnutí potřeba minimálního ovládacího tlaku vzduchu, ale ventil se sepne připojením napětí. Tento způsob ovládání umožňuje krátké reakční časy, což přispívá k přesnosti aplikace. Vzhledem k požadavkům na kompaktní rozměry byl vybrán ventil V114 s rozměry 30 x 20 x 10 mm, jehož čas otevření a zavření je maximálně 5 ms [29]. Průtok se zde vztahuje na připojený tlak. Pokud na ventil připojíme tlak 7 bar, který bude použit na spínání trysky, docílíme průtoku 15,5 l/min. Aby se dalo stanovit, zda je to dostatečná hodnota, musí se provést odhad objemu, který bude potřeba plnit. Při použití hadicového vedení o vnějším průměru 6 mm (vnitřní 4 mm) a uvažování délky 250 mm, lze do vzniklého objemu zahrnout i neznámý prostor uvnitř trysky. Objem vychází z rovnice ( 5.3 ) a jeho doba plnění z rovnice ( 5.4 ). Výsledná doba plnění 12 ms je pro řízení dostatečná, tudíž lze použít tento kompaktní ventil.

$$V_{odhad} = \frac{\pi \cdot d_{hadice6}^2}{4} \cdot l_{hadice} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot 250 = 3,14 \text{ cm}^3 \quad (5.3)$$

$$t_{plneni} = \frac{V_{odhad}}{C_{ventil}} = \frac{3,14}{15,5} = 12 \text{ ms} \quad (5.4)$$

kde:

$V_{odhad}$  cm<sup>3</sup> – odhad objemu v hadici a trysce

$d_{hadice}$  mm – vnitřní průměr hadice 6

$l$  mm – délka hadice

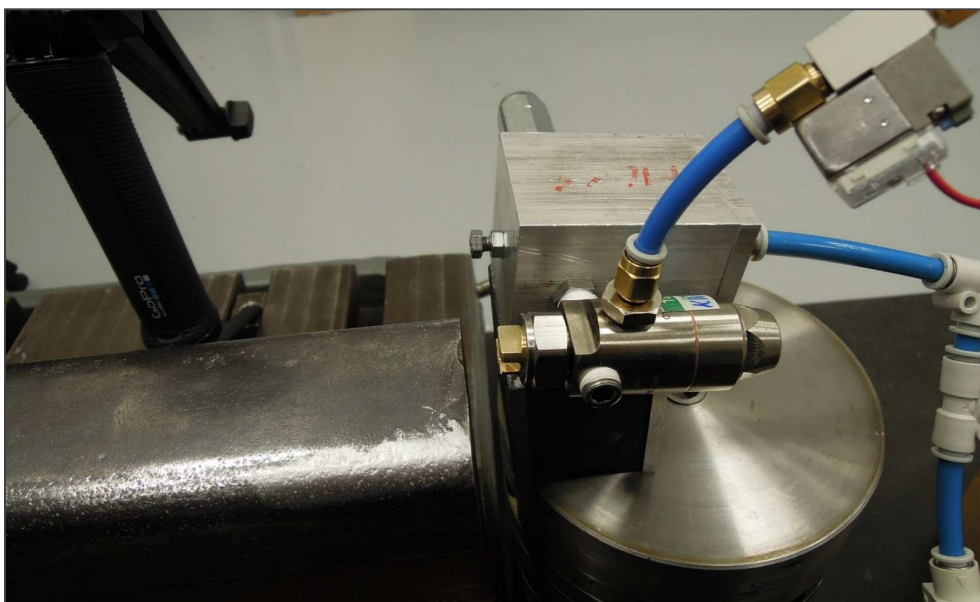
$t_{plneni}$  ms – čas plnění

$C_{ventil}$  l/min – průtok ventilu

Další ventil je zapotřebí k tlakování hydraulicko-pneumatického válce. Zde rychlost úbytku maziva závisí na průtoku trysky, potažmo koncovky. V tomto případě průtok odpovídá 0,6 l/min. Při porovnání této hodnoty s průtokem ventilu 11,1 l/min a 6,6 l/min, které vychází z uvažovaných tlaků 5 a 3 bar, se dojde k závěru, že průtok je dostačující a nedojde k významnému poklesu tlaku při započetí aplikace. Z tohoto důvodu je možné ventil použít i k tomuto účelu.

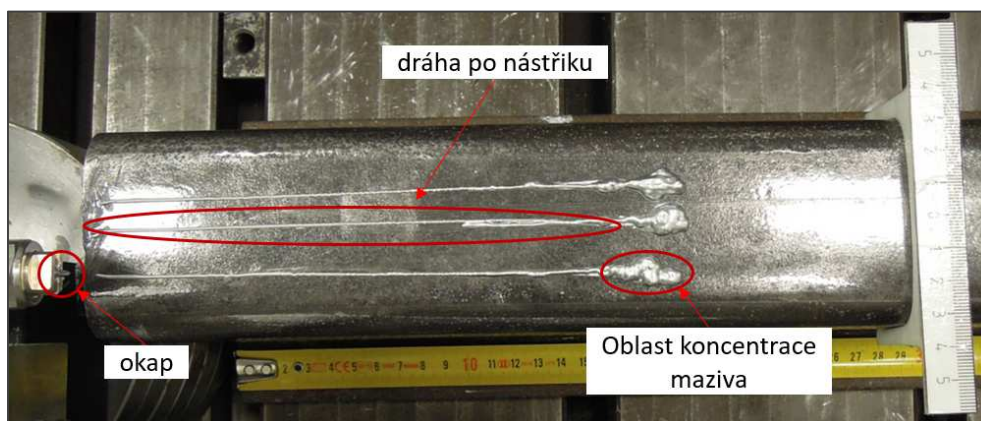
#### 5.1.4 Experimenty ověřující princip činnosti

Z výše popsaných komponent došlo k sestavení testovací aparatury ( $G_{funk\_01}$ ) zobrazené na Obr. 5-3, aby bylo možné laboratorně stanovit parametry nástřiku a ověřit opakovatelnost, která je klíčová pro systém. Sledoval se vliv různých NLGI tříd maziv co do opakovatelnosti hmotnosti, tak do opakovatelnosti délky. Důležitost hmotnosti vyplývá z bezpečnosti, aby nedošlo k přemazání. Vzhledem k oblasti v blízkosti kolejnice, do které se nesmí zasáhnout, je nutné také ověřit délku nástřiku a její opakovatelnost. Dalšími studovanými parametry jsou vliv koncovky trysky na tvorbu okapu, jeho vliv na kvalitu nástřiku a v poslední řadě tvorba stopy po nástřiku, která vede ke snížení efektivity nástřiku z hlediska využitelnosti maziva a současně také může dojít k nežádoucí kontaminaci okolí kolejnice. Poznatky vzešlé z těchto experimentů budou následně využity při návrhu finální aplikační jednotky (viz. kapitola 5.1.6)



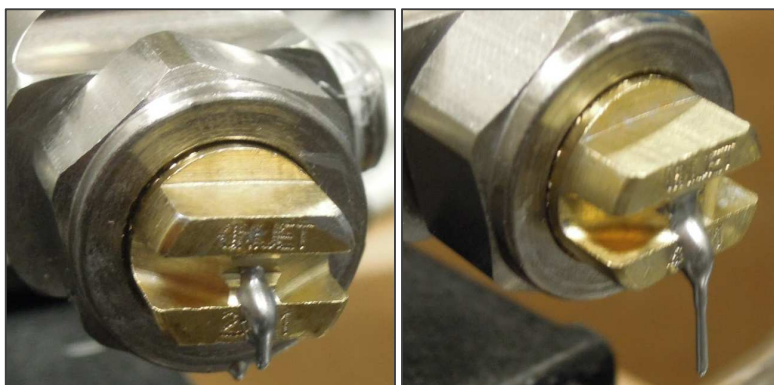
Obr. 5-3 Testovací aparatura (Gfunk\_01)

Z Tab. 2-1 se pro testování vybraly následující maziva: Sintono Terra HLK, Sintono Terra HLK 1 a HeadLub® 90. Uvedené NLGI třídy se zvolily proto, neboť se předpokládalo že budou mít velmi rozdílné chování při nástřiku, což se také potvrdilo. Jedním z hlavních kritérií pro hodnocení vhodnosti maziva byla tvorba dráhy po nástřiku Obr. 5-4. Testy se provedly při třech úrovních tlaku v kapalině 3, 5 a 7 bar a také pro dva časy aplikace 30 a 120 ms.



Obr. 5-4 Oblasti hodnocení

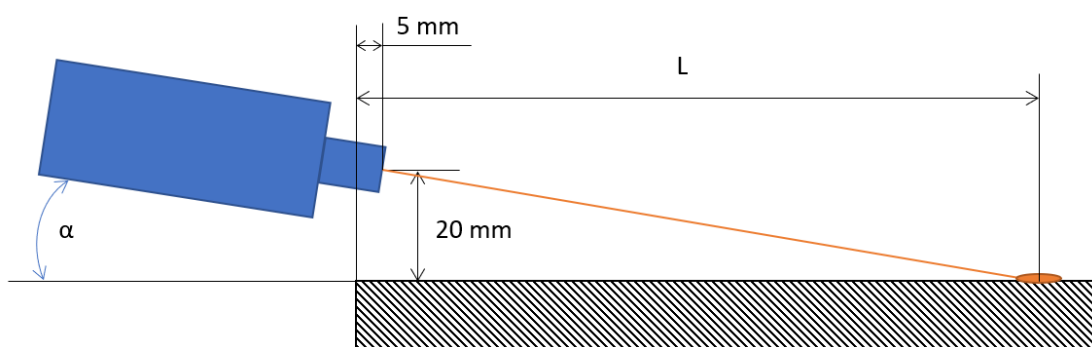
Prvním zjištěným poznatkem bylo, že se okap (Obr. 5-5) sice tvoří u všech provozních podmínek, ovšem jeho vliv na kvalitu nástřiku je téměř zanedbatelný. Důvodem vzniku může být povrchové napětí na koncovce trysky, díky němuž po ukončení aplikace může část ulpět na čele. Velikost s tvar okapu ovlivňuje i tvarování koncovky. Vzhledem k tomu, že tryska je určená na cyklus spínání 3 Hz a pokusy byly prováděny při době otevření 30 ms a 120 ms, nelze vyloučit možnost, že tryska pracuje na hranici své rychlosti otvírání a zavírání. Ze záznamu videa lze vidět postupné, nikoli „okamžité“, ukončení nástřiku. Použitím trysky s kratším časem zavírání by pomohlo k zamezení tvorby okapu.



Obr. 5-5 Okap na koncovce trysky

### Hmotnost a délka nástřiku

Pro testy délky nástřiku bylo zvoleno podobné umístění trysky, jaké může být použito u reálného zařízení. Schéma ustavení je možné vidět na Obr. 5-6. Střed koncovky trysky je umístěn 20 mm nad temenem hlavy kolejnice, neboť obdobná vzdálenost může být použita u finálního zařízení. Tryska taktéž bude nakloněna o jistý úhel  $\alpha$ . Pro potřeby experimentu byl úhel zvolen tak, aby se délka nástřiku snížila na přibližně 200 mm, což je v praxi dostatečné. Zároveň na této vzdálenosti půjde vidět jistou variaci, která bude vznikat od aplikovaného tlaku v kapalině.



Obr. 5-6 Schéma umístění trysky při testování

Při vyhodnocování délky nástřiku se bral střed hlavní oblasti s mazivem. V některých případech bylo obtížné stanovit střed a několikrát ke vzniku této oblasti ani nedošlo. Bylo to hlavně u maziva s NLGI 1. Z Tab. 5-1 vyplývá velmi dobrá opakovatelnost pro všechna maziva a všechny podmínky kromě kombinace 3 bary, 30 ms a již zmiňovaného maziva s NLGI 1. Pohledem na průměrnou délku nástřiku lze zjistit, že první uvedené mazivo téměř nedosahuje hodnoty 100 mm, jež byla stanovena jako minimální potřebná. Důvod je popsán v kapitole 2.4 plus je k němu přidána ještě nějaká rezerva. Závěrem z tohoto experimentu je, že maziva o NLGI 000 a 00 splňují minimální délku nástřiku a dosahují dobré opakovatelnosti.

Tab. 5-1 Délka nástřiku a její odchylka

podmínky		mazivo					
tlak (bar)	čas (ms)	NLGI 1		NLGI 00		NLGI 000	
		průměrná délka (mm)	odchylka (%)	průměrná délka (mm)	odchylka (%)	průměrná délka (mm)	odchylka (%)
3	30	43	6,4	120	2,2	136	1,2
	120	53	2,4	125	0,7	140	1,3
5	30	87	1,5	142	0,9	148	1,1
	120	85	2,4	150	0,4	158	1,0
7	30	101	1,7	145	1,2	166	0,9
	120	100	1,7	174	0,6	163	0,7

Nyní je důležité propojit délku nástřiku s hmotností. Při tomto testu se zjišťovala hmotnost celého nastříknutého množství, což znamená včetně dráhy po nástřiku, jež se v provozu nedostane do kontaktu. Nejnižší aplikovatelné množství vykazuje maziva s NLGI 1, ovšem zde nastával problém s oddělením maziva od koncovky trysky. U nižších tlaků a aplikačních časů nedocházelo k vytvoření hlavní oblasti s mazivem. V Tab. 5-2 jsou zaznamenané průměrné naměřené hmotnosti a jejich odchylky. Také zde dochází k dobré opakovatelnosti. Odchylka větší jak 10 % se objevila pouze u kombinace 3 bary a 30 ms. Tyto parametry vykazují nejnižší aplikovatelné množství, což je pravděpodobně příčina vyšší odchylky. Stejně parametry mají i horší výsledky při testu délky nástřiku. Z tohoto důvodu se tyto parametry nedoporučuje využívat. Další nejnižší aplikovatelné množství se nachází při tlaku 5 bar a 30 ms. Všechna testovaná maziva splňují požadavek na minimální aplikovatelnou dávku.

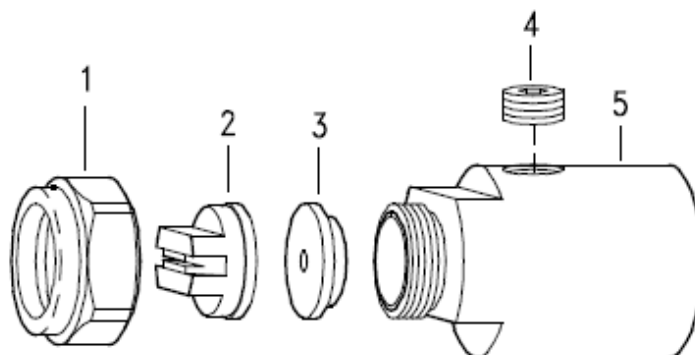
Tab. 5-2 Aplikované hmotnosti a její odchylka

podmínky		mazivo					
tlak (bar)	čas (ms)	NLGI 1		NLGI 00		NLGI 000	
		průměrná hmotnost (g)	odchylka (%)	průměrná hmotnost (g)	odchylka (%)	průměrná hmotnost (g)	odchylka (%)
3	30	0,031	7,8	0,131	12,3	0,235	12,0
	120	0,108	7,6	0,517	0,9	0,764	3,6
5	30	0,098	8,2	0,299	2,4	0,393	1,8
	120	0,255	2,1	0,864	2,5	1,317	5,3
7	30	0,138	2,5	0,430	0,9	0,548	1,8
	120	0,45	1,9	1,303	1,2	1,827	3,5



## Vliv koncovky trysky na stopu po nástřiku

Posledním vyhodnocovacím parametrem byl vliv koncovky trysky na dráhu po nástřiku. Test se provedl s několika typy koncovek o stejném průtoku, které se lišili v úhlu rozstříku, tudíž ve vnější geometrii. Rozložený pohled na trysku se nachází na Obr. 5-7 (1 – převlečná matice, 2 – koncovka, 3 – těsnění, 4 – záslepka, 5 – tělo trysky).



Obr. 5-7 Rozpad trysky [30]

Typ s  $0^\circ$  úhlem rozstříku měl poměrně velký vnitřní objem. Tento objem se nacházel až za těsněním (pozice 3), kde dosedá uzavírací jehla. Při použití maziva s NLGI 1 docházelo k jeho vytékání z koncovky i po ukončení aplikace, Obr. 5-8 vlevo. Tento jev je způsobený již zmíněným objemem a vyšším NLGI, neboť kapalina není schopná rychle zrelaxovat. U maziva s NLGI 00 tento jev nebyl tak výrazný, ovšem stopa po nástřiku byla zvlňená (Obr. 5-8 vpravo), z něhož se dá usuzovat relaxace maziva. U nejrůznějších testovaných maziv se neprojevilo ani zvlňení stopy. Z provedených testů plyne nevhodnost trysky s  $0^\circ$  úhlem rozstříku pro všechna maziva.



Obr. 5-8 Stopa po nástřiku, koncovka  $0^\circ$ úhel rozstříku, NLGI 1 (vlevo), NLGI 00 (vpravo)

Koncovka trysky s  $80^\circ$  úhlem rozstříku vykazovala mírně lepší výsledky. Její vnitřní objem není tak velký, tudíž nedocházelo k vytékání maziva z koncovky i po ukončení aplikace. Při testování maziva o NLGI 1 se zjistilo, že se obtížně odděluje od trysky. Důsledkem toho dráha po nástřiku neměla přímý tvar, ale byla v blízkosti trysky různě zakřivená (Obr. 5-9

vlevo). Dráha také obsahovala velké množství maziva, což je nepřijatelné. Použitím maziva o NLGI 00 se dráha mírně narovнала, ovšem na kolejnici v místech koncovky trysky se začalo objevovat mazivo z okapu po předchozí aplikaci (Obr. 5-9 vpravo). Část maziva obsažená v dráze je oproti předchozí NLGI třídě nižší, ovšem stále velký. Při testech s mazivem o NLGI 000 se dráha po nástřiku zkrátila a mazivo z okapu se při aplikaci dostalo přibližně do třetiny délky nástřiku (Obr. 5-10). To je dobrý výsledek, ovšem část ušetřené mezi místem nástřiku a tryskou se objevila za cílovou zónou v několikanásobné vzdálenosti, tudíž výsledek je podobný jako u předchozích maziv. Na základě uvedených výsledků koncovka vykazuje lepší vlastnosti, jak předchozí, nýbrž se také nedoporučuje využít.

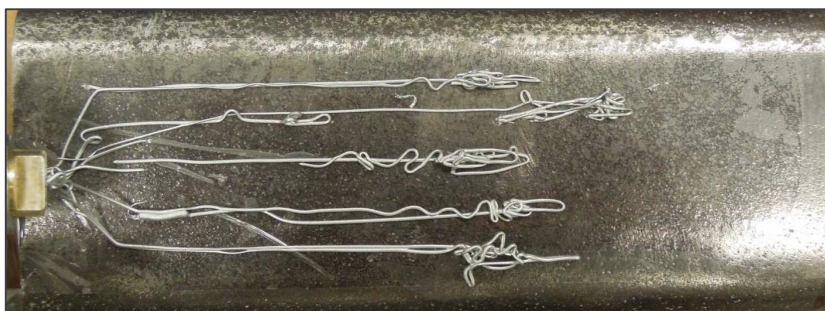


Obr. 5-9 Stopa po nástřiku, koncovka 80° úhel rozstřiku, NLGI 1 (vlevo), NLGI 00 (vpravo)



Obr. 5-10 Stopa po nástřiku, koncovka 80° úhel rozstřiku, NLGI 000

Další testovanou koncovkou byla s úhlem rozstřiku 25°. Tato koncovka vykazuje lepší vlastnosti než předchozí. Stopa po nástřiku sice nebyla odstraněna, ale došlo k redukci obsaženého množství. U maziva s NLGI 1 se objevuje stále stejný problém – mazivo se neodděluje od koncovky trysky. Dráha po nástřiku je přímější a obsahuje méně maziva Obr. 5-11. Tento stav by se dal označit za přijatelný. U maziva s NLGI 00 došlo k odstranění „hrudky“ v blízkosti trysky. Dráha po nástřiku je přímá a obsahuje poměrně málo maziva vzhledem k aplikovanému množství Obr. 5-12. V některých nástřicích dokonce dochází k trhání stopy po nástřiku, což je žádoucí. Poslední testované mazivo také vykazuje lepší parametry nástřiku. Průběhem se dosti podobá mazivu s NLGI 00. Dráha je přímá, v podstatě nezdojená – Obr. 5-13. K trhání dráhy zde nedochází, ovšem její začátek není přímo pod koncovkou, čímž dochází k snížení obsaženého množství. Z testů plyne, že koncovka s úhlem rozstřiku 25° by se dala použít pro reálnou aplikaci.



Obr. 5-11 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 1



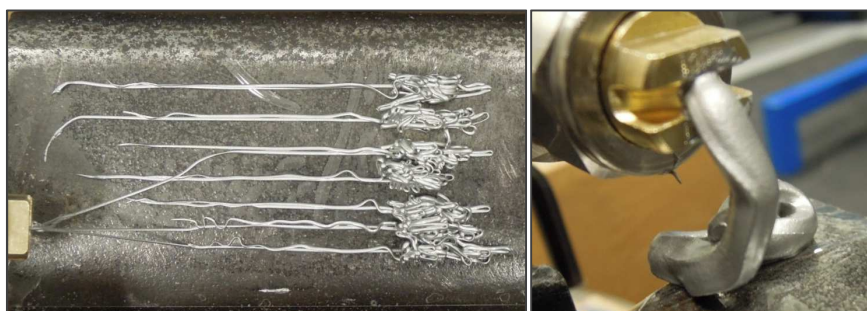
Obr. 5-12 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 00



Obr. 5-13 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 000

Poslední testová koncovka má úhel rozstřiku 40°. Vykazuje nejlepší vlastnosti ze všech testovaných koncovek. U maziva s NLGI 1 došlo v několika případech k oddělení od koncovky (Obr. 5-14 vlevo), což u žádné jiné nenastalo. Vzhledem k oddělení došlo k redukci vzniklého okapu, proto bylo simulováno zanesení koncovky. Do jejího ústí bylo pomocí stříkačky nanášeno mazivo. Následně se provedlo několik pokusů o aplikaci, které skončily neúspěšně. Mazivu se nepodařilo překonat povrchové napětí, tudíž nedošlo k nástřiku, ale mazivo pouze vyteklo (Obr. 5-14 vpravo). Tento test se u jiných koncovek neprováděl, ale lze usuzovat stejný výsledek vzhledem k NLGI třídě. U maziva s NLGI 00 koncovka taktéž vykazovala nejlepší vlastnosti. Zde docházelo výraznému trhání dráhy po nástřiku a její začátek nebyl přímo pod koncovkou (Obr. 5-15 spodní část). Také se provedl test, kde bylo ústí koncovky zaneseno mazivem. Po třech pokusech došlo k vytvoření velkého okapu, který se oddělil od trysky a následně se podařilo překonat povrchové napětí, což vedlo k vydařenému nástřiku (Obr. 5-15 horní část). Tato koncovka v kombinaci s mazivem o NLGI 000 vykazovala velmi podobné chování jako koncovka s úhlem rozstřiku 25° (Obr. 5-16). Dráhy po nástřiku obsahovaly více maziva před oblastí jeho koncentrace,

ovšem jejich začátek nebyl přímo pod koncovkou. V několika případech se malé množství maziva objevilo i za oblastí koncentrace.



Obr. 5-14 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstříku, NLGI 1 (vlevo); výsledek zanesené trysky (vpravo)



Obr. 5-15 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstříku, NLGI 00



Obr. 5-16 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstříku, NLGI 000

Na základě výše uvedených testů se vybrala koncovka trysky, mazivo a provozní podmínky. Jako nejlepší volba se jeví koncovka s úhlem rozstříku 40° v kombinaci s mazivem o NLGI 00. Dráha po nástřiku se objevuje přibližně na polovině vzdálenosti od trysky, což vede k úspoře maziva. Toto mazivo nebylo vybráno pouze na základě dráhy po nástřiku, ale s ohledem na aplikovanou hmotnost. Jak již bylo zmíněno, tlak 3 bary má poměrně nestabilní výsledky při krátkých aplikačních časech, proto se hodnotilo aplikované množství při 5 barech. Mazivo o NLGI 00 vykazuje nižší aplikované množství při nejkratším čase aplikace než mazivo o NLGI 000. To přispívá k lepší regulovatelnosti a stálosti nástřiku, což je hlavní důvod výběru maziva.

### 5.1.5 Volba polohy trysky vzhledem ke kolejnici

V kapitole 4.3 jsou popsány možné umístění trysky. Nejprve se testovala pozice 2, kde proběhlo několik iterací, než se podařilo správně ustavit trysku. Systém obsahuje dva stupně volnosti. Prvním je úhel natočení vůči směru jízdy a druhý je úhel vůči vodorovné rovině. Již po prvním pokusu o ustavení se zjistilo, že tlak 5 bar je vysoký, a i při následných korekcích úhlů by délka nástřiku byla řádově jeden až dva metry, což zvyšuje nároky na přesnost nastavení úhlů. Z tohoto důvodu se aplikační tlak snížil na hodnotu tří bar. Při nastavování úhlů došlo k poznatku, že malá změna jednoho úhlu má velký vliv na kvalitu nástřiku, dokonce i na to, zda nástřik lze hodnotit jako zdařilý. Po několika iteracích se stanovily optimální parametry Tab. 5-3. Obr. 5-17 ukazuje, jak vypadá nástřik s výslednými parametry. Lze zde vidět část maziva na pojížděné hraně kolejnice. Toto množství se nedostane do kontaktu kolejnice a běhounu kola, čímž se sníží celková efektivita nanesení. Mazivo taktéž nelze považovat za zcela nevyužitý, neboť může snížit opotřebení v kontaktu kolejnice s okolkem.

Tab. 5-3 Parametry polohy trysky pro pozici 2

aplikační tlak (bar)	poloha od osy kolejnice (mm)	svislá vzdálenost od temene (mm)	úhel vůči vodorovné rovině (°)	úhel vůči směru jízdy (°)
3	55	70	14	2

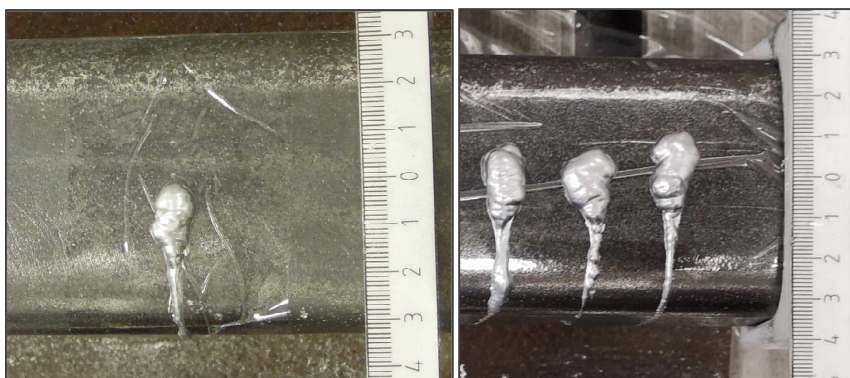


Obr. 5-17 Nástřik z pozice 2 (pod temenem kolejnice)

Ustavení trysky v pozici 1 je jednodušší, neboť systém obsahuje jeden stupeň volnosti. Jedná se o úhel vůči vodorovné rovině. Z testování vzešlo, že citlivost na změny úhlu není tak vysoká jako v předchozím případě. Aplikace se provedla ze dvou svislých vzdáleností vůči temenu kolejnice. Jedna respektuje normu pro železniční dopravu a druhá (menší) je určená pro DPMB. Aplikační tlak byl 5 bar. Jelikož tryska je nasměřována přímo na cílové místo, nedošlo k přestříknutí kolejnice a nutnosti snížit tlak. V obou případech došlo k prověření opakovatelnosti nástřiku. V Tab. 5-4 jsou zaznamenány optimální parametry pro obě varianty.

Tab. 5-4 Parametry polohy trysky pro pozici 1

varianta	aplikační tlak (bar)	poloha od osy kolejnice (mm)	svislá vzdálenost od temene (mm)	úhel vůči vodorovné rovině (°)
Železniční doprava	5	115	17	8
DPMB	5	115	12	4



Obr. 5-18 Nástřík z pozice 1, konfigurace pro železniční dopravu (vlevo), pro DPMB (vpravo)

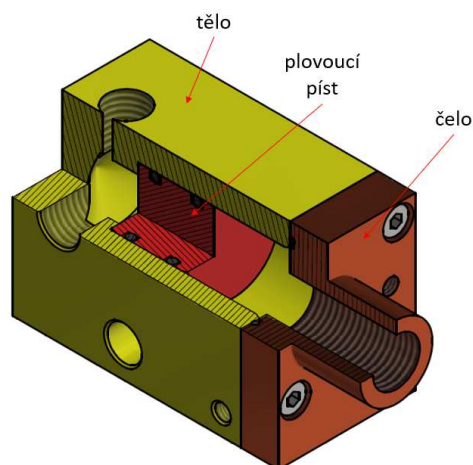
Na základě provedených experimentů se zvolila poloha trysky odpovídající pozici 1. Jedním z důvodů bylo jednodušší ustavení a také menší vliv změny polohy. Je zde obava, že po několika průjezdech soupravy může dojít vlivem vibrací k malé změně nastavených úhlů, což by mohlo mít za následek aplikaci maziva do nesprávné oblasti. Volba je dále podpořena jednodušší konstrukcí držáku, neboť bude mít menší počet stupňů volnosti pro nastavení správné polohy.

### 5.1.6 Konstrukce finálního hydraulicko-pneumatického válce

Oproti experimentální variantě zde došlo hned k několika úpravám, které lze vidět na Obr. 5-19. Hlavní změna je ve vnitřních rozměrech válce. Zvětšil se průměr a zkrátila se pracovní délka vlivem použití delšího pístu, který zabrání zaseknutí. Pracovním objem se zvýšil z 6,36 ml na 9,8 ml. Osazení ve válci zabraňuje vjetí o kroužku do oblasti vtoku, kde by mohlo dojít k jeho poškození. Větší pozornost byla věnována uložení o kroužků na pístu, neboť u experimentální varianty došlo po jisté době k prosáknutí základového oleje. Na základě průměru pístu se zvolil o kroužek 20,6 x 2,3 PN 029280 z materiálu NBR 80. Tento kroužek je vhodný pro dynamické aplikace [31]. Z tabulky se zástavbovými rozměry se stanovila šířka drážky  $3 \pm 0,1$  mm a hloubka  $2 + 0,05$  mm. Uložení pístu ve válci je f8/H8 a na obou plochách je předepsána drsnost Ra 0,4. Tělo válce bylo opatřeno otvorem pro čep, kolem kterého dojde k nastavení požadovaného úhlu. Jelikož zařízení bude provozováno ve venkovním prostředí, je nutné řešit korozi. Vzhledem k přesnému uložení pístu a celého

válce uvnitř vidlice se pro výrobu zvolila nerezová ocel AISI 304. Z této oceli je zhotoveno i čelo válce.

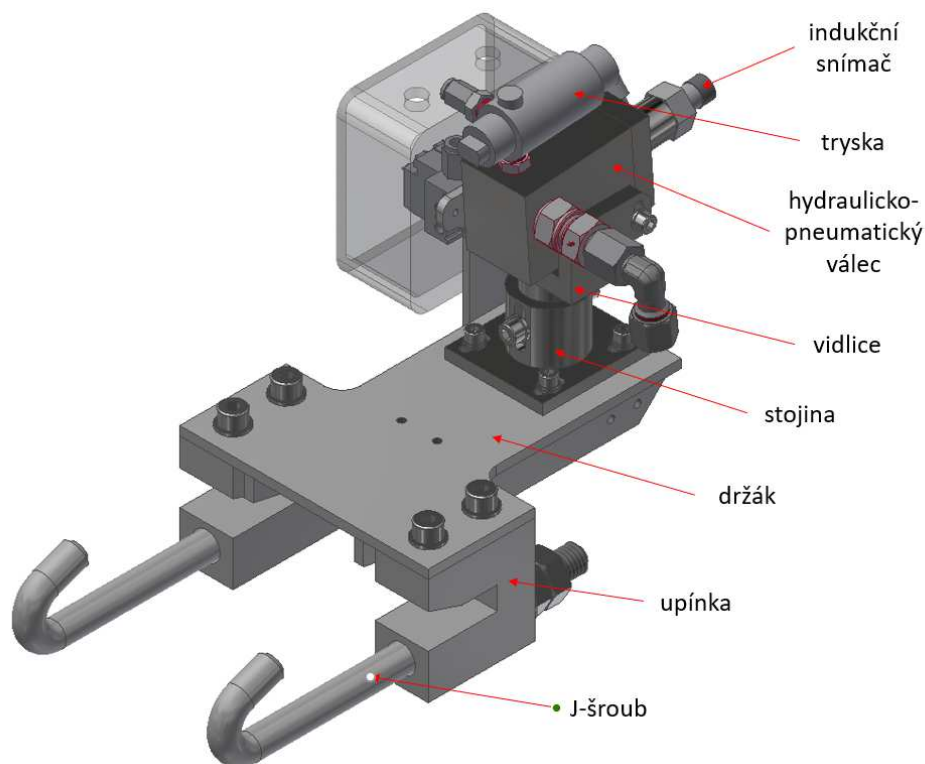
Do čela válce bude zašroubovaný indukční snímač pro vysoké tlaky. Výhoda tohoto senzoru spočívá v tom, že obsahuje těsnění a není třeba řešit jeho zatěsnění [32]. Je určený ke snímání koncové polohy pístu. Jakmile dojde k jeho sepnutí zastaví se doplňování maziva. Byla zvažována varianta magnetického snímače, kterými se pneumatické válce běžně osazují, ovšem zde nelze zaručit přesnost a opakovatelnost spínání.



Obr. 5-19 Finální hydraulicko-pneumatický válec

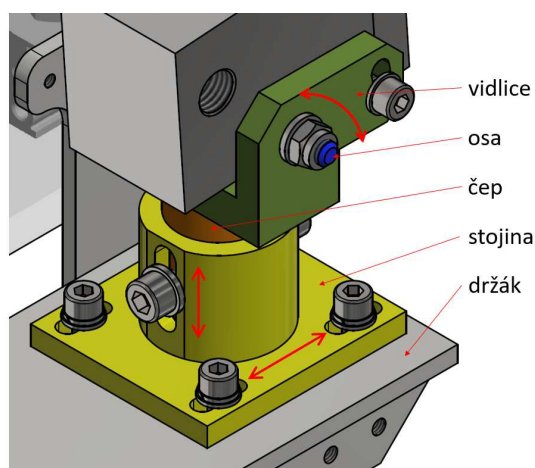
### 5.1.7 Uchytení ke kolejnici a ustavení

Způsobů, jak uchytit celé zařízení ke kolejnici je hned několik: základní deska s příločkami, dvojice upínek, upínka a J šroub. Zde se zvolil poslední jmenovaný způsob. Jak lze vyvodit z Obr. 5-20, upínka dosedá na patu kolejnice. Vzhledem k tomu, že upínka nemusí dosednout na kolejnici vždy stejně, ať už z důvodu výrobních nepřesností či kvality povrchu, je nutné, aby držák umožňoval posun ve dvou osách a natočení kolem třetí osy. Pohyb v laterálním směru je umožněn mezi držákem a stojinou po povolení čtyř šroubů. Rozsah pohybu se stanovil na  $\pm 5$  mm. Svislý posun o  $\pm 8$  mm je realizován uvnitř stojiny, do které se zasouvá čep připevněný k vidlici. Poslední pohyb v rozsahu  $-2^\circ$  až  $18^\circ$  se provádí mezi vidlicí a hydraulicko-pneumatickým válcem. Detail s vyznačenými stupni volnosti lze vidět na Obr. 5-21. Všechny komponenty kromě válce jsou pozinkovány vrstvou  $12 \mu\text{m}$ . Kvůli povrchové úpravě bylo nutné zvětšit vůle mezi pohyblivými součástmi. Pro stojinu se navrhlo uložení H8/d8, kde po přičtení zinkové vrstvy je nejmenší vůle  $17 \mu\text{m}$ . Mezi vidlicí a válcem vzniká vůle řádově v desetinách, tudíž zde není potřeba řešit zvětšení rozměrů kvůli povrchové vrstvě.



Obr. 5-20 Aplikační jednotka

Pro usnadnění ustavení trysky do správné polohy vznikl přípravek (Obr. 5-22 vlevo), který se připevní k držáku. Je založen na podobné konstrukci jako stojina, čili výška se mění zasouváním čepu do trubky. Jeho hlavní úlohou je podpírání vidlice, když s ní bude pohybováno v laterálním směru. Přípravek obsahuje závitovou tyč pro snazší a přesnější polohování ve svislém směru.



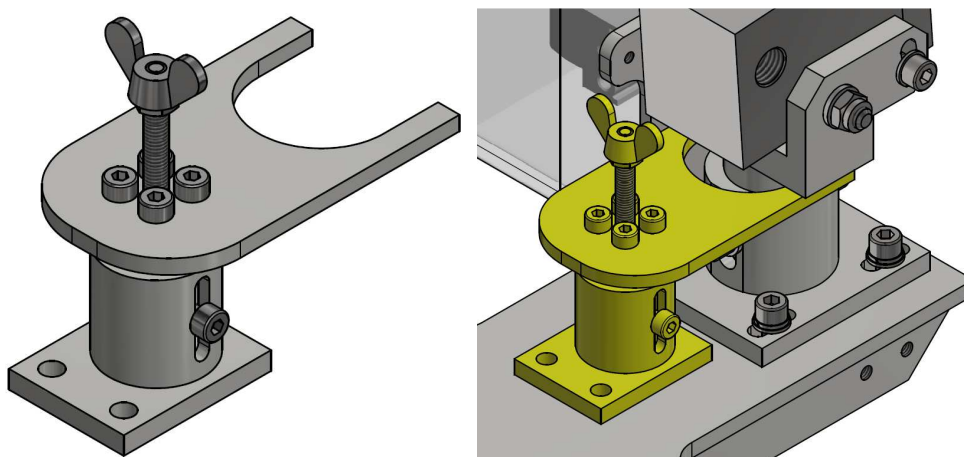
Obr. 5-21 Aplikační jednotka – detail

### Postup ustavení

Před samotnou montáží se v dílně pomocí úhloměru nastaví sklon na 4° popřípadě 8° záleží na místě instalace. Zařízení se připevní ke kolejnici pomocí J-šroubů, které se řádně



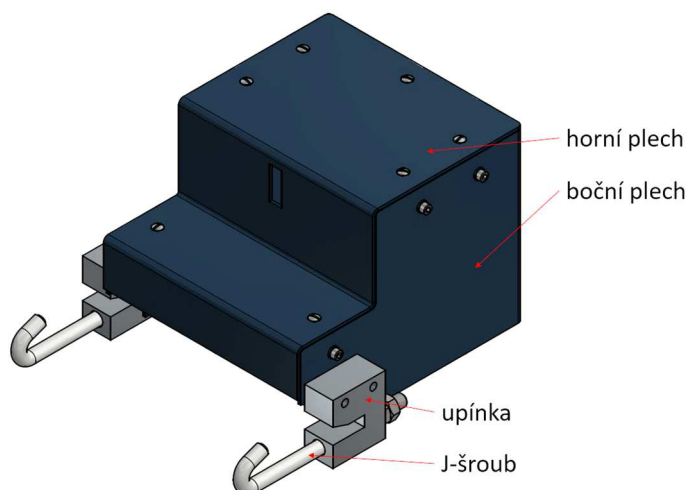
dotáhnou. Kontra matice zajistí, aby vlivem vibrací nedošlo k uvolnění upínek. Následuje povolení šroubů spojující stojinu s čepem a držákem. Poté se připevní přípravek, jak je zobrazeno na Obr. 5-22 vpravo. Nastaví se vodorovná vzdálenost koncovky trysky od středu kolejnice na 115 mm a zajistí se poloha vůči držáku pomocí šroubů. Následuje ustavení svislé polohy. Na vodováze se vytvoří značka ve vzdálenosti 12 mm od plochy, která se přiloží na kolejnici. Značka značí požadovanou polohu. Pomocí přípravku a vodováhy dojde k ustavení trysky. Dotáhnutím šroubů ve stojině se zajišťí poloha. Odstraní se přípravek a připojí se hadice s mazivem a vzduchem. Aby byla zjištěna správnost ustavení, musí se provést zkušební aplikace maziva. Je-li nástřik nedostatečný, povolí se aretační šroub a matice na ose procházející hydraulicko-pneumatickým válcem. Povolování ovšem musí probíhat opatrně, aby nedošlo k úplnému uvolnění a pootočení válce. Úprava uhlu probíhá dle potřeby doporučuje se postupovat po jednom stupni. Matice a šroub jsou jemně utaženy a následně se provede zkušební aplikace. Proces se opakuje, dokud není nástřik uspokojivý. Po dokončení nastavování dojde k dotažení všech šroubů a matic.



Obr. 5-22 Přípravek (vlevo), Umístění přípravku (vpravo)

### Kryt aplikační jednotky

Kryt na Obr. 5-23 se skládá ze čtyř hlavních částí: dvojice upínek a J-šroubů, bočního a horního plechu. Upínky jsou k bočnímu plechu přišroubovány skrze drážky, aby v případě potřeby bylo možné změnit výšku. Horní plech se připevňuje pomocí šroubů s kuželovou hlavou. Jelikož v okolí kolejí je poměrně velká prašnost, je potřebné chránit vnitřní díly. Z toho důvodu je horní plech veden až k patě kolejnice a mezera mezi plechy je těsněná těsnicí páskou o tloušťce 2 mm přilepená na horní plech. Také byla snaha o minimalizaci otvoru, skrz který bude probíhat aplikace.



Obr. 5-23 Kryt aplikační jednotky

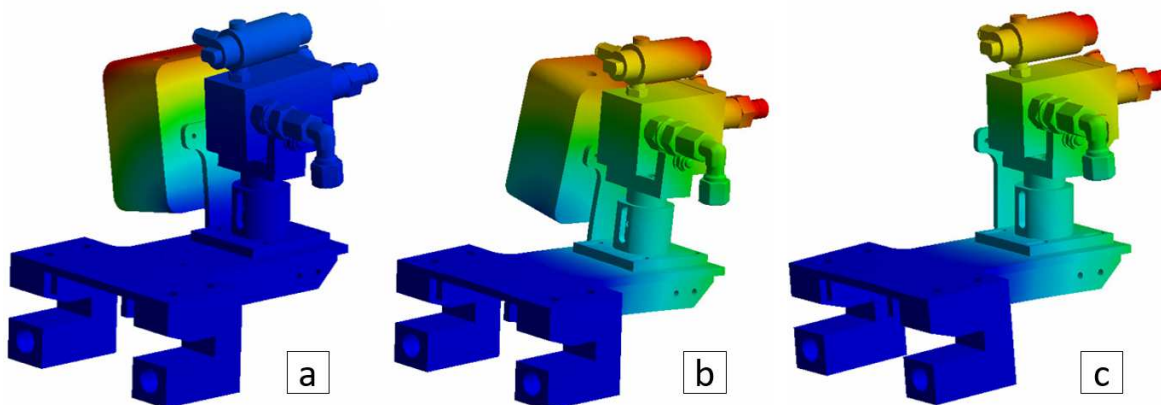
Po ustavení aplikační jednotky do správné polohy se může upevnit kryt. Nejprve se odstraní horní plech a zbylá část se připevní ke kolejnici pomocí upínek a J-šroubů tak, aby tryska byla uprostřed. Následně se přiloží horní plech a dojde ke kontrole, zda je koncovka trysky ve středu otvoru. V případě potřeby se posune boční část krytu. Po správném ustavení se dotáhnou matice na J-šroubu a zašroubují se šrouby připevňující horní plech.

### 5.1.8 Modální analýza

Pro správnou aplikaci je nutné zamezit změně pozice trysky. K této změně může dojít skrze vibrace generované při průjezdu soupravy. Z toho důvodu se provedla modální analýza, která ukázala vlastní frekvence zařízení. Aby výpočet byl rychlejší, snížil se počet dílů odstraněním šroubů a matice. Kontakt „bonded“ mezi jednotlivými součástmi dobře reprezentuje skutečnost, neboť díly budou k sobě pevně sešroubované. Fixní vazba se umístila na plochy upínek, skrze které je aplikační jednotka připevněna ke kolejnici. Výpočet proběhl pro dvě konfigurace. Síť v obou případech dosahuje kvality 0,68, což je způsobeno omezením licencí. První obsahuje elektrickou krabičku s ventilem uvnitř. První vlastní frekvence je v tomto případě 163 Hz a pohyb vykonává pouze krabička Obr. 5-24a. Tento pohyb ovšem neovlivňuje trysku, proto se vzala do úvahy druhá vlastní frekvence 203 Hz, kde se již pohybuje celé zařízení i s tryskou Obr. 5-24b. V druhé konfiguraci není do výpočtu zahrnuta krabička a výsledek je podobný jako v předchozím případě 208 Hz Obr. 5-24c.

Vznikající vibrace lze rozdělit podle způsobu vzniku na mnoho skupin, kde každá se projevuje v jiném frekvenčním pásmu [33]. Většina těchto pásem je nižší než vypočtená vlastní frekvence. Také se zde objevuje horní frekvenční práh 250 Hz, který ještě ovlivňuje struktury. Heckel a kol. [34] ve své práci uvádí, že dominantní frekvence jsou v pásmu

40 až 100 Hz, neboť se zde projevuje rezonance kola a kolejnice. Na základě těchto informací se spočtená frekvence hodnotila jako dostatečná.



Obr. 5-24 Vlastní tvary aplikační jednotky

## 5.2 Technické zázemí

Jedná se o elektroinstalační skříň, která je umístěna nedaleko kolejí a uvnitř ní jsou instalovány zařízení, jež jsou společné pro všechny aplikační jednotky – PMP pumpa, kompresor atd. O propojení skříně s aplikačními jednotkami se starají hydraulické hadice vedoucí mazivo, pneumatické hadice na stlačený vzduch a kabeláž k ventilů. Její součástí jsou také dvojice 60Ah baterie, které se kvůli úspoře místa umístili do soklu. Aby nenastaly problémy s nabíjením, zařadil se mezi solární panely a baterie regulátor. Návrh řetězce solární panely – baterie není součástí předkládané diplomové práce. Řešení se převzalo od firmy TriboTec.

### 5.2.1 PMP pumpa

PMP pumpa na Obr. 5-25 dodává mazivo z hlavního zásobníku do hydraulicko-pneumatického válce, ke kterému je připojena tryska. Pumpa se skládá z vačkového mechanismu, ke kterému je možné připojit až tři pracovní (dávkovací) jednotky fungující na principu pístového čerpadla [35]. Tento mechanismus se pohání 28 W stejnosměrným elektromotorem. K pumpě je také připojen zásobník maziva vybavený stíracím nožem zlepšující čerpání plastického maziva. Jako příslušenství se dodává pojišťovací ventil, kterým je možné regulovat maximální tlak v rozsahu 40 až 350 bar. Výhoda této pumpy spočívá v přesném dávkování maziva i při malých dávkách. Jiný způsob dopravy maziva do aplikační jednotky nebyl zvažován, neboť s touto pumpou jsou dobré zkušenosti a byla doporučena i firmou TriboTec. Řešila se zde velikost zásobníku na mazivo a počet pracovních jednotek. Objem zásobníku se stanovil na 6 l. Při předpokladu velikosti dávky

jeden gram neboli  $1200 \text{ mm}^3$  plný zásobník dle rovnice ( 5.5 ) vydrží 5 000 dávek. Pokud zařízení pojede 16 hod denně a aplikace bude probíhat každých 20 min, lze dle rovnice ( 5.6 ) říci, že se mazivo nemusí doplňovat skoro 15 týdnů.

$$n_{dávek} = \frac{V_{zás}}{V_{dávky}} = \frac{6 \cdot 10^6}{1200} = 5000 (-) \quad (5.5)$$

$$t_{náplně} = \frac{n_{dávek} \cdot 20}{16 \cdot 60 \cdot 7} = \frac{5000 \cdot 20}{16 \cdot 60 \cdot 7} = 14,88 \text{ týdne} \quad (5.6)$$

kde:

$n_{dávek}$	–	– počet dávek
$V_{zás}$	l	– objem zásobníku
$V_{dávky}$	$\text{mm}^3$	– objem dávky
$t_{náplně}$	týden	– čas výdrže maziva v zásobníku



Obr. 5-25 Mazací přístroj PMP [4]

Provedl se výpočet času chodu PMP pumpy, který je potřebný na doplnění hydraulicko-pneumatického válce. Původně se uvažovala jenom jedna pracovní jednotka, ale vzhledem k času doplnění 155 s vycházející z rovnice ( 5.7 ) se jejich počet zdvojnásobil. Použitím dvou pracovních jednotek se zvýší dodávané množství a čas doplnění klesne na polovinu, tedy 78 s. Jelikož zdrojem energie jsou baterie, provedl se odhad spotřebované energie na doplnění jedné aplikační jednotky, která dle rovnice ( 5.9 ) činí 0,025 Ah. Přidáním druhé aplikační jednotky dojde k zdvojnásobení času doplnění a tím pádem i spotřeby. Parametry vybrané PMP pumpy jsou uvedeny v Tab. 5-5.

$$t_{pumpy} = \frac{V_0}{C_{pumpy}} = \frac{9,8}{3,8} = 155 \text{ s} \quad (5.7)$$

$$E_{pumpy} = P_{pumpy} \cdot \frac{t_{pumpy}}{2} = 28 \cdot \frac{155}{2} = 2,17 \text{ kJ} \quad (5.8)$$

$$E_{pumpy\_Ah} = \frac{E_{pumpy}}{U} = \frac{2,17}{24} = 0,025 \text{ Ah} \quad (5.9)$$

kde:

$t_{pumpy}$	s	– čas plnění hydraulicko-pneumatického válce
$V_0$	cm <sup>3</sup>	– objem hydraulicko-pneumatického válce
$C_{pumpy}$	cm <sup>3</sup> /min	– dávkované množství pracovní jednotky
$E_{pumpy}$	J	– spotřebovaná energie PMP pumpou
$P_{pumpy}$	W	– výkon PMP pumpy
$E_{pumpy\_Ah}$	Ah	– spotřebovaná energie PMP pumpou
$U$	V	– napájecí napětí

Tab. 5-5 Technické parametry PMP pumpy

Technické parametry	
<b>Pracovní tlak</b>	300 bar
<b>Objem nádrže</b>	6 l
<b>Regulovatelná pracovní jednotka</b>	0,8 – 3,8 cm <sup>3</sup> /min
<b>Napájení přístroje</b>	24 V
<b>Řídící automatika</b>	NE
<b>Signalizace minimální hladiny</b>	ANO
<b>Pojišťovací ventil s manometrem</b>	ANO, regulace 40–350 bar

## 5.2.2 Pneumatický okruh

Pro správné dimenzování pneumatického okruhu je zapotřebí znát spotřebu vzduchu. Při zanedbání úniků se na jednu aplikaci spotřebuje množství dané objemem vzduchové komory uvnitř hydraulicko-pneumatického válce, objemem přívodní hadice k válci a také hadice ovládající trysku. Objem válce se mění v závislosti na množství obsaženého maziva. Ve výpočtech se uvažuje zjednodušení, že při každé aplikaci maziva se spotřebuje vzduch o objemu válce tedy 9,8 ml. Vzhledem k malému průtoku vzduchu je možné využít hadice s největším průměrem 6 mm a vnitřním 4 mm. Z modelu vyšly následující délky: 140 mm pro připojení k válci a 106 mm od ventilu k trysce. Celkový objem těchto hadic činí 3,1 ml. Uvnitř trysky a fitinek je neznámý objem, ale lze předpokládat, že jeho vliv je již započten ve zjednodušujícím předpokladu. Jedna aplikace spotřebuje přibližně 12,9 ml tlakového vzduchu. Z experimentů vzešlo, že vhodný aplikační tlak má hodnotu 5 bar.

Pro vhodnost zvoleného objemu vzdušníku se hodnotila na základě poklesu tlaku po 8 aplikacích jedné aplikační jednotky. Tento počet odpovídá jednogramovým dávkám nutných k vyprázdnění hydraulicko-pneumatického válce. Jelikož se můžou provozovat dvě aplikační jednotky zaráz, výpočet byl proveden s 16 nástřiky. Z rovnice ( 5.10 ) se stanovila hmotnost spotřebovaného vzduchu na jednu aplikaci. Také se určila hmotnost vzduchu ve vzdušníku o objemu 5 l – rovnice ( 5.11 ). Aby byl tlak vzduchu u aplikační jednotky konstantní, je nutné použít regulátor tlaku. Z toho důvodu se vzdušník musí tlakovat na vyšší tlak. Bylo zvoleno 7 bar. Podle rovnice ( 5.12 ) se vypočetla hmotnost vzduchu ve vzdušníku po 16 aplikacích, z níž se následně stanovil tlak – rovnice ( 5.13 ). Jelikož pokles tlaku činí přibližně dvě desetiny baru, shledal se objem vzdušníku jako dostatečný. Výpočet se provedl pro teplotu 20 °C (298,15 K), ale ukázalo se, že teplota nemá na pokles tlaku vliv.

$$m_{vytl} = \frac{p_{apl} \cdot V_{vytl}}{r \cdot T} = \frac{5 \cdot 12,9}{287,1 \cdot 293,15} = 7,66 \cdot 10^{-2} \text{ g} \quad (5.10)$$

$$m_{nadoby} = \frac{p_{nadoby} \cdot V_{nadoby}}{r \cdot T} = \frac{7 \cdot 5}{287,1 \cdot 293,15} = 41,59 \text{ g} \quad (5.11)$$

$$m_{end} = m_{nadoby} - n_{apl} \cdot m_{vytl} = 47,6 - 16 \cdot 7,66 \cdot 10^{-2} = 40,38 \text{ g} \quad (5.12)$$

$$p_{end} = \frac{m_{end} \cdot r \cdot T}{V_{nadoby}} = \frac{46,38 \cdot 287,1 \cdot 293,15}{5} = 6,794 \text{ bar} \quad (5.13)$$

kde:

$m_{vytl}$	g	– hmotnost vzduchu spotřebovaná jednou aplikací
$p_{apl}$	bar	– aplikační tlak
$V_{vytl}$	ml	– objem vzduchu spotřebovaný jednou aplikací
$r$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	– plynová konstanta
$T$	K	– teplota
$m_{nadoby}$	g	– hmotnost vzduchu ve vzdušníku
$p_{nadoby}$	bar	– tlak ve vzdušníku
$V_{nadoby}$	l	– objem vzdušníku
$m_{end}$	g	– hmotnost vzduchu ve vzdušníku po aplikacích
$n_{apl}$	–	– počet aplikací
$p_{end}$	bar	– tlak ve vzdušníku po aplikacích

K vytvoření tlakového vzduchu se použije bezolejový pístový kompresor na stejnosměrný proud od společnosti Dürr Technik. Při výběru se dbalo převážně na spotřebu energie, jelikož je jí omezené množství. Byly zvažovány dvě varianty. První má výkon 122 W a průtok 4 l/min, pokud se bude tlakovat na 7 bar [36]. Druhý je výkonnější, 192 W a 13 l/min. Pro

rozhodnutí se provedl výpočet, kde se dle rovnice ( 5.14 ) stanovila hmotnost vzduchu v pětilitrovém vzdušníku při tlaku 5.5 bar. Hodnota vychází ze spodní hranice intervalu regulace. Následně se vyjádřil hmotnostní úbytek oproti plnému stavu (7 bar), který byl přepočten rovnicí ( 5.15 ) na objem, jež musí kompresor doplnit. Rovnice ( 5.16 ) udává dobu chodu kompresoru, která slouží ke stanovení spotřebované energie – rovnice ( 5.17 ). Z provedených výpočtů pro slabší kompresor vzešla jeho spotřeba 0,023 Ah. Porovnání spotřebovaných energií ukazuje, že výkonnější kompresor je vhodnější. Jeho větší hmotnost a zástavbové prostory neskýtají žádný problém při konstrukci technického zázemí.

$$m_{vz,end} = \frac{p_{vz,end} \cdot V_{nadoby}}{r \cdot T} = \frac{5,5 \cdot 5}{287,1 \cdot 293,15} = 32,68 \text{ g} \quad (5.14)$$

$$V_{doplň} = \frac{(m_{nadoby} - m_{vz,end}) \cdot r \cdot T}{p_{nadoby}} = \frac{(41,59 - 32,68) \cdot 287,1 \cdot 293,15}{7} = 1,07 \text{ l} \quad (5.15)$$

$$t_{komp} = \frac{V_{doplň}}{C_{komp}} = \frac{1,07}{13} = 4,9 \text{ s} \quad (5.16)$$

$$E_{komp,Ah} = \frac{P_{komp} \cdot t_{komp}}{U} = \frac{192 \cdot 4,9}{24} = 0,011 \text{ Ah} \quad (5.17)$$

kde:

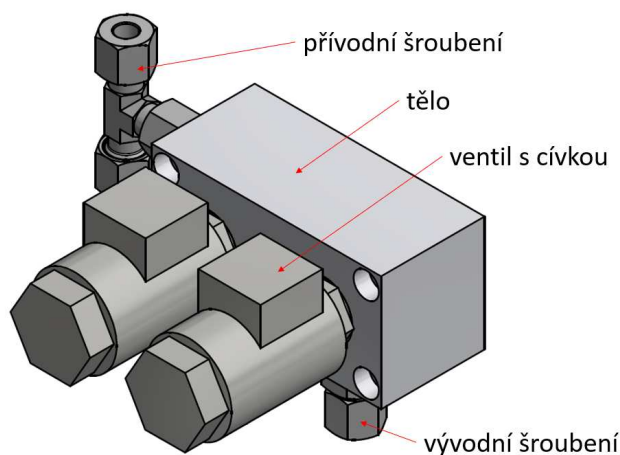
$m_{vz,end}$	g	– hmotnost vzduchu ve vzdušníku po aplikacích
$p_{vz,end}$	bar	– minimální tlak pro regulaci
$V_{doplň}$	l	– doplňovaný objem
$t_{komp}$	s	– čas chodu kompresoru
$C_{komp}$	l/min	– průtok kompresoru
$E_{komp,Ah}$	Ah	– spotřebovaná energie kompresorem

Provedl se pokus se sníženou teplotou, kde se celé experimentální zařízení včetně maziva umístilo do ledničky a schladilo na teplotu 4 °C. Po provedení několika aplikací při tlaku 5 bar se zjistilo, že tlak není dostatečný, aby mazivo dostal na požadované místo. Zvýšení tlaku na hodnotu 6 bar zvětšilo délku nástřiku, čímž se eliminovala nízká teplota. Zařízení musí pracovat bez zásahu člověka, proto byl do pneumatického okruhu zařazen elektrický regulátor tlaku firmy Aventics s označením R414008452. Regulátor umožňuje měnit tlak v rozmezí 0,5 až 10 bar [37]. Jeho průtok dosahuje 550 l/min, což je řádově více než se potřebuje. Má také výborné opakovatelnosti a hystereze – obojí pod hodnotu 0,05 bar. Dokáže pracovat i při -10 °C, což je jeho hlavní výhoda a důvod, proč byl vybrán. Jediná nevýhoda spočívá v tom, že nemá výstup skutečné hodnoty.

Do pneumatického obvodu byly zařazeny dva tlakové senzory PSE570. Jeden je určen ke snímání tlaku ve vzdušníku a na základě jeho hodnoty se bude spouštět kompresor. Druhý slouží k ověření, zda z regulátoru tlaku vychází požadovaný tlak. Senzor umožňuje měřit v rozmezí 0 až 10 bar s dostatečnou přesností [38]. Jedná se o poměrně kompaktní provedení, což je vítané. Jeho hlavní přednost spočívá v tom, že funguje i při okolní teplotě  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Oba elektronické prvky jsou napájeny stejnosměrným napětím 24 V.

### 5.2.3 Rozdělovač

Zařízení obsahuje dvě aplikační jednotky, které mohou být spouštěny nezávisle na sobě a jednu PMP pumpu se zásobníkem. Jelikož aplikace probíhají nezávisle, je nutné mít oddělené jejich doplňování. Toho se docílilo navržením rozdělovače na Obr. 5-26 skládajícího se z těla, dvou hydraulických ventilů s cívkami a přípojovacího šroubení. Konstrukce je navržena tak, aby bylo možné v případě potřeby jednoduše modifikovat tělo a přidat další aplikační jednotku. Modifikace spočívá v prodloužení spojovacího kanálku a zkopírování uložení ventilu. Jako vhodný ventil se zvolil SD1E-A2 od firmy Agro-hytos s.r.o [39]. Umožňuje používání až při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tlaku 350 bar. Jeho přední výhodou je, že dokáže pracovat s oleji o vysoké viskozitě až  $500\text{ mm}^2/\text{s}$ . Má poměrně malý průtok 30 l/min, ale množství dodávané PMP pumpou je ještě o tři řády menší.



Obr. 5-26 Rozdělovač

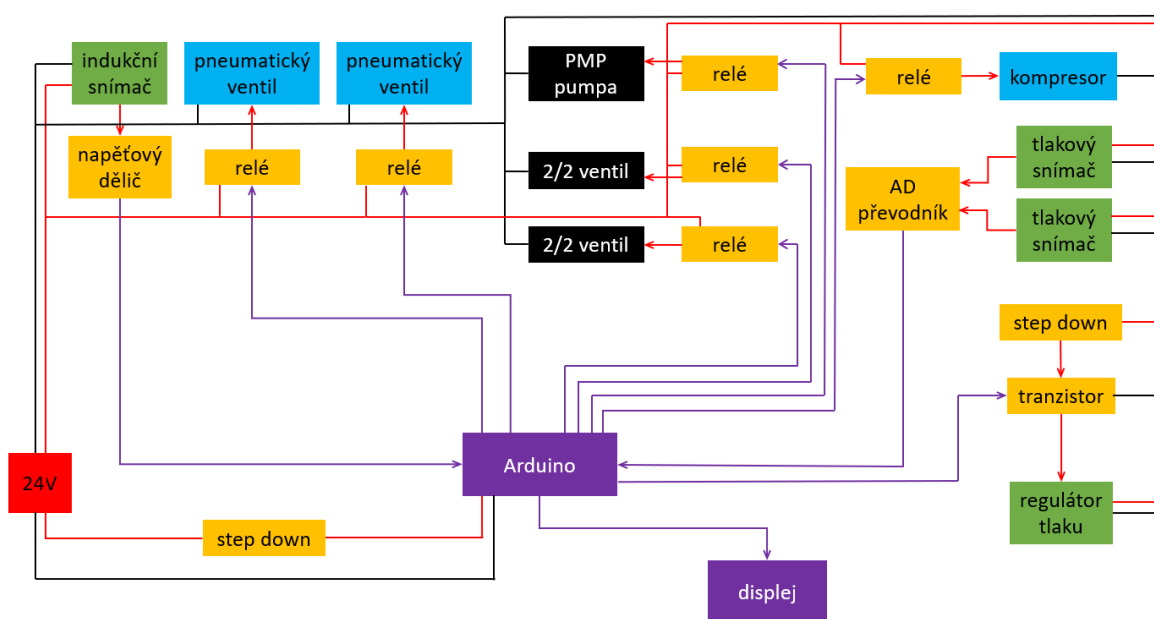
## 5.3 Řídící jednotka

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.4, zhotovená řídicí jednotka bude sloužit pouze k ověření funkčnosti. Z toho důvodu se zvolila platforma Arduino s dalšími komponentami.



### 5.3.1 Elektronika

Zdrojem energie je 24V zdroj o výkonu 250 W, neboť použité prvky pracují právě na tomto napětí. To ovšem není jediná napěťová hladina, dále je zde 12 V na napájení Arduina, 10 V jako vstup požadované hodnoty do regulátoru tlaku a 5 V určených pro logiku. Aby bylo možné spínat prvky s vyšším napětí a odebíraném proudu, muselo se využít relé. Vybraly se relé moduly se čtyřmi kanály určené přímo pro ovládání Arduinem. Ze schématu Obr. 5-27 lze vyčíst, že k modulům jsou připojeny dva pneumatické ventily, dva hydraulické ventily, PMP pumpa a kompresor. Indukční snímač umístěný v hydraulicko-pneumatickém válci je v provedení PNP neboli po sepnutí má výstup 24 V. Za pomoci napěťového děliče se tato hodnota ponížila na 4,8 V, kterou je již Arduino schopné číst jako digitální vstup. Dělič se skládá ze 4 kΩ odporu a 1 kΩ odporu.



Obr. 5-27 Ideové schéma zapojení

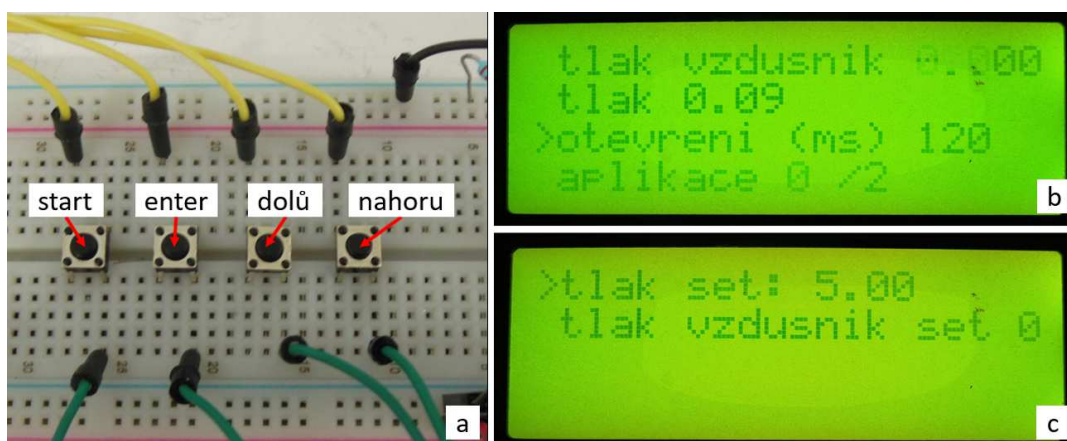
Původně řídicí jednotka měla zpracovávat více analogových vstupů než jenom z tlakových senzorů, a hlavně tyto signály nabývaly hodnot 0 až 10 V. Arduino již v základu má implementovaný 10-bit A/D převodník, ovšem jenom do napětí 5 V. Aby bylo možné číst i vyšší napětí musel se zařadit externí A/D převodník s označením ADS1115/ADS1015, který zvládá až 12 V [40]. S Arduinem je propojený skrze I2C sběrnici. Nakonec jediný zpracovávaný analogový signál pochází od dvojice tlakových senzorů a nabývá hodnot 1 až 5 V. I přes to se ponechalo původní řešení.

Poslední elektrický prvek je regulátor tlaku. Zvolil se model, který má napěťový vstup požadované hodnoty v intervalu 0 až 10 V. Jelikož vznikl požadavek, aby se nastavení tlaku provádělo softwarově, musela se pro změnu napětí použít PWM regulace. Zde ovšem nastal problém, neboť Arduino je schopné mít maximálně 5 V na výstupu a regulace vyžaduje až

10 V. Zvažovalo se několik variant: použití násobiče napětí v podobě operačního zesilovače, ten se ale nepodařilo zprovoznit. Další možnost byla optočlen, zde se narazilo na limity spínání daného prvku, což mělo za následek zvýšení střídy na výstupu oproti vstupu. Také optické oddělení bylo zbytečné, jelikož regulátor měl společnou zem. Řešení se objevilo v podobě tranzistoru IRL 3803, který je připojen na napětí 10 V. Vzhledem k zapojení má výstupní napětí obrácený charakter než PWM. Jinak řečeno: 100 % PWM odpovídá 0 V na výstupu a 0 % PWM odpovídá plnému napětí, tedy 10 V. Vzniklý signál má tvar obdélníkové vlny, která se následně vyhlazuje pomocí filtru s dolní propustí. Aby regulátor neměl problém vstup zpracovat, je filtr napočítán na poměrně nízkou frekvenci, přibližně 5 Hz.

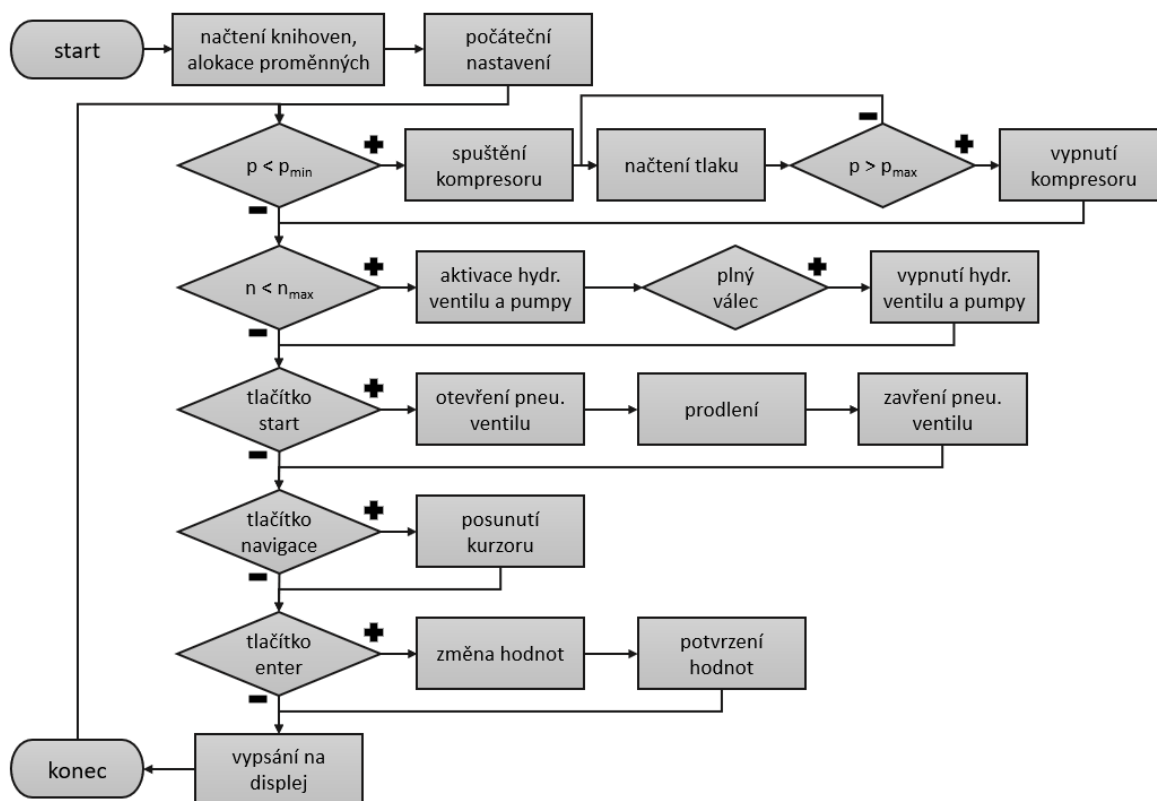
### 5.3.2 Řízení

Aby uživatel mohl komunikovat s elektronikou, bylo nutné připojit displej 20 x 4 znaků a čtveřici ovládacích tlačítek – nahoru, dolů, enter a start Obr. 5-28a. Pomocí prvních dvou probíhá pohyb v menu a nastavování hodnot. Enter slouží pro započítí a ukončení editace hodnot. Pomocí posledního tlačítka se provádí aplikace maziva. Mezi nastavované hodnoty patří: čas aplikace určující množství maziva; počet aplikací před doplněním hydraulicko-pneumatického válce; aplikační tlak. Pro přesné měření tlaku ve vzdušníku a za regulátorem je přidána možnost kalibrace snímače offsetem nulového bodu. Na displeji se vypisují obě hodnoty tlaku a nastavené parametry Obr. 5-28b. Jelikož vše nelze zobrazit naráz, vytvořili se dvě zobrazení, které se mění v závislosti na poloze kurzoru Obr. 5-28c.



Obr. 5-28 a) umístění tlakčíttek, b) displej úvodní zobrazení, c) displej pokračování

Celý program se skládá z několika částí. První část obsahuje načtení používaných knihoven a alokaci proměnných. Druhá část – setup, slouží k nastavení sériové komunikace, definici typů pinů (input, output) a jejich počátečního stavu (high, low). Také se zde přednastaví hodnota PWM reprezentující aplikační tlak. Třetí částí je smyčka, která se neustále opakuje a obsahuje hlavní tělo programu.



Obr. 5-29 Vývojový diagram řízení

Tělo lze rozdělit na čtyři úseky, kde každý obstarává jednu činnost. Vývojový diagram lze vidět na Obr. 5-29. Nejprve se načte tlak ve vzdušníku a pokud je nižší než minimální nastavená hodnota, spustí se kompresor a ve smyčce probíhá kontrola tlaku, dokud nedojde k překročení nastavené hodnoty. Poté se kompresor vypíná a program pokračuje. Další sekce obstarává doplňování maziva. Po uskutečnění nastaveného počtu aplikací se otevře hydraulický ventil a aktivuje se PMP pumpa. Mezi těmito úkony je 0,3 s pauza, aby měl ventil dostatek času na otevření a nedošlo k předčasnému tlakování. Následně se ve smyčce zjišťuje, zda plovoucí píst již dorazil do krajní polohy. Jakmile dojde k jeho detekci, vypíná se PMP pumpa a po 0,3 s dochází k zavření hydraulického ventilu. Následující část provádí aplikaci maziva po stlačení tlačítka start. Nejprve se otevře ventil přivádějící tlakový vzduch do hydraulicko-pneumatického válce. Po uplynutí jedné sekundy se aktivuje na nastavenou dobu ventil ovládající trysku. Jakmile je aplikace provedena, dochází k vypnutí prvního ventilu a vypuštění vzduchu z válce. Zbytek kódu provádí vypisování údajů na displej a pohyb kurzoru s nastavováním hodnot.

## 5.4 Sestavení a ověření funkčnosti

Zhotovily se dvě aplikační jednotky s krytváním a příslušné technické zázemí, o jejichž propojení se starají hydraulické hadice o vnitřním průměru 8 mm a jedna pneumatická

s vnějším průměrem 8 mm. Pro účely ověření se použila pouze jedna aplikační jednotka. Rozdíl vůči použití obou je jenom softwarový. Uživatel by si volil, která jednotka má zrovna dávkovat. Jelikož se testy prováděly v laboratoři, o napájení zařízení se staral 24V zdroj. Nejprve se ověřila funkčnost části programu zajišťující vhodný tlak ve vzdušníku. Aby se plnění zpomalilo, připojil se další vzdušník a zároveň pomocí pojistného ventilu došlo ke snížení maximálního tlaku v okruhu. Následoval test doplňování maziva. Před spuštěním PMP pumpy došlo k otevření hydraulického ventilu, ke kterému byla připojena hadice. Jakmile začalo mazivo vytékat z hadice, přiložil se senzor k pístu hydraulicko-pneumatického válce, čímž došlo k vypnutí pumpy. Následně se hadice připojila k válci a otevřela se tryska, aby vzduch mohl unikát. Jakmile z trysky začalo plynout mazivo, pumpa se zastavila a koncovka trysky byla očištěna.

Test se provedl s mazivem Sintono Terra HLK, které na základě experimentů popsanych v kapitole 5.1.4 vyšlo jako nejlepší. Pozice trysky vycházela z Tab. 5-4 pro Dopravní podnik města Brna. Použil se aplikační tlak 5 bar a čas otevření trysky 120 ms. Na základě Obr. 5-30 zobrazující nástřik lze říci, že aplikace je dostatečně kvalitní. Mazivo se dostalo přibližně na střed kolejnice. Stopa po nástřiku je přítomna, ale je na místě, kde se dostane do kontaktu. Na pojížděné ploše zůstala část maziva, ale v porovnání s množstvím na hlavě, se jedná o minimum.



Obr. 5-30 Nástřik při ověřovacím experimentu

## 6 DISKUZE

V rámci předkládané diplomové práce vzniklo zařízení aplikující TOR maziva o nízké NLGI třídě na kolejnice. Mezi hlavní kritéria při návrhu patřila: přesnost dávkování, opakovatelnost nástřiku, možnost měnit aplikované množství, aplikace na vnější nebo vnitřní kolej. Z provedení jednoduchého experimentu s tvorbou aerosolu vzešel poznatek, že překonávaná vzdálenost daná průjezdovým profilem je příliš velká na dosažení uspokojivé hodnoty opakovatelnosti. Na základě těchto požadovaných parametrů a experimentu se zvolila koncepce, kde nebude docházet k tvorbě aerosolu při nástřiku maziva. Řešení má výhodu oproti vrtané kolejnici, že umožňuje instalaci i na železniční tratě pro nákladní vlaky. Vzniklé zařízení využívá k vyvození tlaku stlačený vzduch a s dostatečnou opakovatelností dokáže aplikovat až 0,4 g maziva, což odpovídá přibližně 440  $\mu$ l Sintono Terra HLK. Aby se dosáhlo požadované přesnosti, musí se tryska umístit do správné polohy. Přesné dávkování vede na úspory spojené s náklady na samotné mazivo. Provoz jednoho mazníku bude až o desítky tisíc levnější ve srovnání s komerčně dostupnými produkty. Konstrukce umožňuje posun ve svislém směru o 16 mm, z čehož plyne vhodnost pro vlakovou dopravu i pro Dopravní podnik města Brna. Vzniklo také technické zázemí obsahující potřebné komponenty k provozu – PMP pumpa, kompresor, elektronika atd. Jiné státy a dopravní podniky mohou mít odlišnou legislativu, která přímo ovlivňuje průjezdový profil. Po jednoduché konstrukční úpravě bude celá aplikační jednotka pod úrovní temene hlavy kolejnice a zařízení se bude moct použít i mimo Českou republiku.

Zařízení z rešerše využívající nástřik dokáže nanášet mazivo přesně, ovšem vždy mají více či méně závažné nevýhody. Zařízení aplikující mazivo na kolo je omezeno průjezdovou rychlostí. Pokud se nanáší mazivo na kolejnici jako u [13], vyžaduje se zde velmi přesná montáž a nutnost zajištění ustavení v průběhu provozu, aby došlo k rozstříku maziva. SLID ani vyvinuté zařízení nevyžadují tak přesné nastavení, neboť zde není rozstřík, ale trysky míří přímo na kolejnici. Obě tyto mazací jednotky umožňují ošetřovat i pojížděnou hranu. Výhodou vzniklého zařízení je, že uživatel může proporčně měnit dávkování. U SLIDu lze dávku pouze zvětšit provedením většího počtu aplikací.

Při pohledu na aplikační jednotku okem zákazníka, se může na první dojem jevit poměrně složitě. Opak je ale pravdou. Jsou zde pouze tři pohyblivé komponenty, jež jsou nutné pro správné umístění trysky. Po prvotním ustavení se vše stáhne pomocí šroubů a jedinou pohyblivou komponentou bude píst. Pokud zařízení porovnáme s lištami, které jsou komerčně dostupné, nárůst komponent je zřejmý, ovšem lišty mají mnohem více nevýhod. Další otazník může nastat u trysky v blízkosti pohybujícího se kola. Jedná se totiž o poměrně drahou komponentu. Aby se předešlo poškození, zařízení se navrhovalo podle průjezdového profilu – pro vlaky definovaného normou a pro tramvaje se zahrnutím informací od Dopravní

podnik města Brna. Krytovaní v podobě plechu slouží jako ochrana před nečistotami, prachem a vandalizmem.

Další vývoj zařízení lze rozdělit na dvě části – experimentování a konstrukční úpravy. První uvedené spočívá v provedení testu za snížených, až záporných, a vyšších teplot. Na základě shromážděných dat by měla vzniknout procesní mapa, která bude udávat, že při dané teplotě se má pro optimální nástřik použít příslušný aplikační tlak. Z experimentu může také vyjít, že regulovat tlak je nedostatečné, tudíž se bude muset sáhnout po jiném řešení – vyhřívání trysky. Z konstrukčních úprav by stálo za zvážení vyhřívání technického zázemí kvůli elektronice. S tím může být spjato zvětšení solárního panelu a případně kapacity baterií. Zvolená elektronika by ovšem záporné teploty měla vydržet. V neposlední řadě vznik přípravku usnadňující ustavení trysky do správné pozice. Přípravek by mělo obsahovat dvě na sebe kolmé stupnice – jedna v rozsahu 0 až 150 mm a druhá 0 až 40 mm. Delší strana musí být opatřena bublinou, kvůli vodorovnému ustavení. Právítko by bylo vhodné opatřit magnetickým stojánkem pro ještě snazší manipulaci.

## 7 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce popisuje vývoj zařízení pro aplikaci TOR maziv na temeno hlavy kolejnice za účelem snížení hlukové emise. Práce je součástí projektu Technologické agentury s názvem *Vývoj stacionární jednotky pro snížení hluku z kolejové dopravy*. Do tohoto projektu je zařazena další diplomová práce, která zpracovává analýzu hluku a řídicí algoritmus.

Úvodní část práce obsahuje současný stav poznání v podobě patentové rešerše a produktů dostupných na trhu. U každého zařízení je popsán princip funkce a u některých i způsob řízení a detekce vozidel. Jelikož jednou z možných variant bylo vytvořit směs maziva a vzduchu, jsou zde obsaženy směšovací trysky. Pozornost byla věnována také průřezovému profilu daného normami, ze kterého plyne výsledná pozice trysky. Je zde provedeno základní rozdělení produktů ovlivňujících tření a jejich vliv na hluk včetně dávkování. Následuje kritické zhodnocení rešerše a stanovení požadavků na vyvíjené zařízení. V další kapitole jsou uvedeny principy, na kterých aplikační jednotka bude pracovat. Vzhledem k jednoduchosti jednoho z nich, proběhlo jeho sestavení a následné testování ukázalo problémy, jež určily další vývoj. Vznikly zde koncepty pro plně elektrickou variantu a variantu využívající stlačený vzduch. Výsledné zařízení využívá druhou variantu. Následující kapitola popisuje konstrukci aplikační jednotky, kde stěžejní částí jsou experimenty ověřující princip aplikace, a které pomohly stanovit vhodné mazivo. Testy se provedly na vzniklé experimentální aparatuře ( $G_{funk\_01}$ ). Získané poznatky byly použity při konstrukci finální stacionární jednotky, kde novost řešení spočívá zejména ve způsobu aplikace čili v aplikační jednotce ( $G_{funk\_02}$ ). Kapitola taktéž obsahuje postup pro správné ustavení trysky. Další část se věnuje technickému zázemí, kde se řeší vhodná velikost vzdušníku a typ kompresoru. Elektronika vzniklá pro ověření funkčnosti je popsána v závěru kapitoly. V diskuzi se rozebírá, v čem se vyvinuté zařízení liší oproti produktům z rešerše. Je zde uveden pohled ze strany potenciálního zákazníka a závěrečný odstavec nastiňuje následný vývoj v podobě experimentů a případných konstrukčních úprav.

Výsledkem předkládané práce je dvojice funkčních vzorků aplikační jednotky, kde první sloužil jako experimentální aparatura. Získané výsledky přispěly při konstrukci finálního řešení. Funkčnost stacionární mazací jednotky byla ověřena pomocí nástřiku na kolejnici.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEWIS, Roger a Ulf OLOFSSON. *Wheel-rail interface handbook*. 1st pub. Cambridge: Boca Raton: Woodhead ; CRC Press, 2009. ISBN 978-1-84569-412-8.
- [2] HARMON, M. a R. LEWIS. Review of top of rail friction modifier tribology. *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces*. 2016, roč. 10, č. 3, s. 150–162. ISSN 1751-5831.
- [3] STOCK, Richard, Louisa STANLAKE, Chris HARDWICK, Marcia YU, Donald EADIE a Roger LEWIS. Material concepts for top of rail friction management – Classification, characterisation and application. *Wear*. 2016, roč. 366–367, s. 225–232. ISSN 00431648.
- [4] KEJDA, Petr. *Konstrukce zkušebního zařízení pro ovlivňování adheze v kontaktu kola s kolejnicí*. B.m., 2015. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] CURLEY, D, D. C. ANDERSON, J JIANG a D HANSON. Field Trials of Gauge Face Lubrication and Top-of-Rail Friction Modification for Curve Noise Mitigation. In: *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design*. 2015, s. 449–456. Dostupné z: doi:
- [6] TRAM - SILENCE. *Fuchs*. [vid. 16. květen 2019]. Dostupné z: <http://www.hazmioil.cz/PI/PI-L2-2190.pdf>
- [7] EADIE, Donald T., Marco SANTORO a Joe KALOUSEK. Railway noise and the effect of top of rail liquid friction modifiers: changes in sound and vibration spectral distributions in curves. *Wear*. 2005, roč. 258, č. 7–8, s. 1148–1155. ISSN 00431648.
- [8] WHITMORE. RailGuard. *Whitmore*. [vid. 17. květen 2019]. Dostupné z: <https://www.whitmores.com/assets/documents/RailGuard-TDS-3040.pdf>
- [9] GALAS, Radovan, M. OMASTA, M. KLAPKA, S. KAEWUNRUEN, I. KRUPKA a M. HARTL. Case study: The influence of oil-based friction modifier quantity on tram braking distance and noise. *Tribology in Industry*. 2017, roč. 39, č. 2, s. 198–206. ISSN 03548996.
- [10] VAŠÍČEK, Michal a Petr KEJDA. *Mazník kolejnicové hlavy MKH-01-9620098*. Brno: Tribotec, s r.o. 2017
- [11] KUMAR, Sudhir. Wayside wheel lubricator. US 6585085B1. 2003.
- [12] KUMAR, Sudhir. Top-of-rail lubrication rate control by the hydraulic pulse width modulation method. US 6199661B1. 2001.
- [13] KUMAR, Sudhir. Gage side or field side top-of-rail plus gage corner lubrication system. US 20060163004 A1. 2006. Illinois.
- [14] URMSON JR., W. Thomas, John W. MOSPAN a Frank T. LENCO. Top of rail applicator. US 6971479B1. 2005.



- [15] JUNK, Ronald K., W. Thomas URMSON JR. a Thomas R. WALKER. Rail lubrication apparatus. US 5394958A. 1995.
- [16] SINGLETON, Steven D, Thomas W URMSON, Matthew P REDFIELD a Christopher Alan LUCKE. Top of rail foam bar. US 9440665B2. 2016. United States.
- [17] LINCOLN. *Stationary rail lubrication systems for the mainline rail infrastructure Why rail lubrication ?* Walldorf: SKF. 2012 [vid. 10. květen 2019]. Dostupné z: [https://cematech.hennlich.cz/fileadmin/user\\_upload/KATEGORIEN/Schmiertechnik/Zentralschmiersysteme/en\\_INFO\\_LINCOLN\\_Stationary\\_rail\\_lubrication\\_mainline\\_rail.pdf](https://cematech.hennlich.cz/fileadmin/user_upload/KATEGORIEN/Schmiertechnik/Zentralschmiersysteme/en_INFO_LINCOLN_Stationary_rail_lubrication_mainline_rail.pdf)
- [18] LINCOLN. *Managing friction successfully*. 2014 [vid. 10. květen 2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/binary/68-160324/14824-EN.pdf>
- [19] *Oil & Gas Lubrication Systems*. Zaragoza: Grupo Técnico RIVI S.L. Dostupné z: <http://www.rivi.net/en/products/oil-mist-lubrication/RVMist-Oil-Mist-Generator.pdf>
- [20] KANTOR, Valdimír a Josef ABRAHÁM. Rozprašovací tryska pro rozprašování kapaliny pomocí tlakového vzduchu. CZ 30842U1. 2017. Česká republika.
- [21] VAŠÍČEK, Michal. Rozprašovač pro nástřik mazací směsi maziva a vzduchu. CZ 25810U1. 2013. Česká republika.
- [22] ČSN280312. *Obrysy pro kolejová vozidla s rozchodem 1435 a 1520 mm. Technické předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1977
- [23] ČSN736320. *Průjezdny průřezy na dráhách celostátních, dráhách regionálních a vlečkách normálního rozchodu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1997
- [24] ČSN280337. *Obrysy pro tramvajová vozidla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1994
- [25] LUBCON. *LUBCON® Special Lubricants for Train, Rail and Wheel*. 2016 [vid. 10. květen 2019]. Dostupné z: <https://www.lubcon.com/wp-content/uploads/2017/06/LUBCON-lubricants-rail-industry-EN.pdf>
- [26] IGRALUB. *Rail head conditioning*. 2019 [vid. 10. květen 2019]. Dostupné z: [https://igralub-asia.com/?page\\_id=2578](https://igralub-asia.com/?page_id=2578)
- [27] SPRAYING\_SYSTEMS\_CO. *1/8JJAUH-QC Automatic Spray Nozzle*. Wheaton: Spraying Systems Co. 2008
- [28] SPRAYING\_SYSTEMS\_CO. *Trysky UniJet se standartním rozstříkem*. Brno: Spraying Systems Czech, s.r.o
- [29] SMC-CORPORATION. *Installation and Maintenance Manual Series V100 3 Port Solenoid Valves*. Vitoria (Alava): SMC Corporation. 2017

- [30] SPRAYING\_SYSTEMS\_CO. *Automatic Hydraulic Atomizing Nozzles 1/8JJAUH*. Wheaton: Spraying\_Systems\_Co.
- [31] RUBENA. *TĚSNICÍ PRVKY*. 2007 [vid. 29. duben 2019]. Dostupné z: [https://www.dimensor.cz/editor/image/eshop\\_menu/dbf\\_file\\_8.pdf](https://www.dimensor.cz/editor/image/eshop_menu/dbf_file_8.pdf)
- [32] ELECTRONIC, Ifm. *Polohový senzor odolný vůči tlaku pro hydraulické válce*. 2016.
- [33] CONNOLLY, D. P., G. KOUROUSSIS, O. LAGHROUCHE, C. L. HO a M. C. FORDE. Benchmarking railway vibrations - Track, vehicle, ground and building effects. *Construction and Building Materials*. 2015, roč. 92, s. 64–81 [vid. 8. květen 2019]. ISSN 09500618.
- [34] HECKL, M., G. HAUCK a R. WETTSCHURECK. STRUCTURE-BORNE SOUND AND VIBRATION FROM RAIL TRAFFIC. *Journal of Sound and Vibration*. 1996, roč. 193, č. 1, s. 175–184 [vid. 8. květen 2019]. ISSN 0022460X.
- [35] TRIBOTEC. *Mazací přístroj PMP*
- [36] DÜRRTECHNIK. *Bezolejové pístové kompresory KK a pístová vakuová čerpadla KV*. Bietigheim-Bissingen: DürrTechnik
- [37] AVENTICS. *E/P regulátor tlaku, Série EV03*. Brno: AVENTICS s r.o. 2019
- [38] SMC-CORPORATION. *Installation & Maintenance Manual Pressure Sensor for General Fluids PSE570/PSE573/PSE574*. Vitoria (Alava): SMC Corporation. 2017
- [39] AGRO-HYTOS. *2/2 Way Solenoid Operated Directional Control Poppet Valve*. Vrchlabí: ARGO-HYTOS s.r.o. 2013
- [40] ECLIPSERA. *I2C AD převodník ADS1015 12 bit*. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA. 2018

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

### 9.1 Seznam zkratek

TOR	top of rail
VHPF	very high positive friction
HPF	high positive friction
LCF	low coefficient friction

### 9.2 Seznam symbolů a veličin

<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název veličiny</b>
$t$	s	čas otevření trysky
$V$	l	aplikované množství
$Q$	l/min	průtok tryskou
$V$	ml	aplikované množství
$d$	mm	průměr hydraulicko-pneumatického válce
$h$	mm	pracovní zdvih
$V_{odhad}$	cm <sup>3</sup>	odhad objemu v hadici a trysce
$d_{hadice}$	mm	vnitřní průměr hadice 6
$l$	mm	délka hadice
$t_{plneni}$	ms	čas plnění
$C_{ventil}$	l/min	průtok ventilu
$n_{dávky}$	–	počet dávek
$V_{zás}$	l	objem zásobníku
$V_{dávky}$	mm <sup>3</sup>	objem dávky
$t_{náplně}$	týden	čas výdrže maziva v zásobníku
$t_{pumpy}$	s	čas plnění hydraulicko-pneumatického válce
$V_0$	cm <sup>3</sup>	objem hydraulicko-pneumatického válce
$C_{pumpy}$	cm <sup>3</sup> /min	dávkované množství pracovní jednotky
$E_{pumpy}$	J	spotřebovaná energie PMP pumpou
$P_{pumpy}$	W	výkon PMP pumpy
$E_{pumpy\_Ah}$	Ah	spotřebovaná energie PMP pumpou
$U$	V	napájecí napětí
$m_{vytl}$	g	hmotnost vzduchu spotřebovaná jednou aplikací

$p_{\text{apl}}$	bar	aplikační tlak
$V_{\text{vytl}}$	ml	objem vzduchu spotřebovaný jednou aplikací
$r$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	plynová konstanta
$T$	K	teplota
$m_{\text{nadoby}}$	g	hmotnost vzduchu ve vzdušníku
$p_{\text{nadoby}}$	bar	tlak ve vzdušníku
$V_{\text{nadoby}}$	l	objem vzdušníku
$m_{\text{end}}$	g	hmotnost vzduchu ve vzdušníku po aplikacích
$n_{\text{apl}}$	–	počet aplikací
$p_{\text{end}}$	bar	tlak ve vzdušníku po aplikacích
$m_{\text{vz,end}}$	g	hmotnost vzduchu ve vzdušníku po aplikacích
$p_{\text{vz,end}}$	bar	minimální tlak pro regulaci
$V_{\text{doplň}}$	l	doplňovaný objem
$t_{\text{komp}}$	s	čas chodu kompresoru
$C_{\text{komp}}$	l/min	průtok kompresoru
$E_{\text{komp,Ah}}$	Ah	spotřebovaná energie kompresorem

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Lišta pro mazání okolku [2]	15
Obr. 2-1 Diagram závislosti trakce na prokluzu [3]	17
Obr. 2-2 Graf závislosti brzděné vzdálenosti [9]	18
Obr. 2-3 Zařízení MKH-01	19
Obr. 2-4 Umístění mazacího otvoru	20
Obr. 2-5 Stacionární mazník s nástřikem na kole – schéma	21
Obr. 2-6 Schéma PWM modulace hydraulických pulzů	23
Obr. 2-7 Schématické vyobrazení zařízení	24
Obr. 2-8 Řez kolejnicí ukazující umístění bloku s tryskami	25
Obr. 2-9 Další možnost umístění trysek	25
Obr. 2-10 První varianty mazací lišty (vlevo), detail (vpravo)	27
Obr. 2-11 Druhá varianta mazací lišty (vlevo), třetí varianta (vpravo)	28
Obr. 2-12 Schématické vyobrazení poddajné lišty	29
Obr. 2-13 Varianta tvarovaného povrchu poddajné lišty	30
Obr. 2-14 Aplikační jednotka SLID [17]	30
Obr. 2-15 Simulace vírové technologie pro tvorbu mlhy	32
Obr. 2-16 Průřez rozprašovací tryskou	33
Obr. 2-17 Rozprašovač pro nástřik mazací směsi	34
Obr. 2-18 Vztažený profil statického obrysu pro hnací vozidlo [22]	35
Obr. 2-19 Minimální průjezdný profil tratě [23]	35
Obr. 2-20 Obrys tramvaje [24]	36
Obr. 4-1 Schéma celkového zařízení	41
Obr. 4-2 Způsob nanášení maziva varianta 1	42
Obr. 4-3 a) Experimentální zařízení – varianta 1, b) Okap na trysce	43
Obr. 4-4 Schéma těla trysky – varianta 2	44
Obr. 4-5 Schéma těla trysky – varianta 3	44
Obr. 4-6 Pneumatické tlakování maziva	45
Obr. 4-7 Tlakování maziva pomocí elektromagnetu	46
Obr. 4-8 Schéma umístění trysek	47
Obr. 5-1 Schéma aplikační jednotky s příslušenstvím	50
Obr. 5-2 Řez hydraulicko-pneumatickým válcem	52
Obr. 5-3 Testovací aparatura ( $G_{funk\_01}$ )	54
Obr. 5-4 Oblasti hodnocení	54
Obr. 5-5 Okap na koncovce trysky	55
Obr. 5-6 Schéma umístění trysky při testování	55
Obr. 5-7 Rozpad trysky [30]	57

Obr. 5-8 Stopa po nástřiku, koncovka 0° úhel rozstřiku, NLGI 1 (vlevo), NLGI 00 (vpravo)	57
Obr. 5-9 Stopa po nástřiku, koncovka 80° úhel rozstřiku, NLGI 1 (vlevo), NLGI 00 (vpravo)	58
Obr. 5-10 Stopa po nástřiku, koncovka 80° úhel rozstřiku, NLGI 000	58
Obr. 5-11 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 1	59
Obr. 5-12 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 00	59
Obr. 5-13 Stopa po nástřiku, koncovka 25° úhel rozstřiku, NLGI 000	59
Obr. 5-14 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstřiku, NLGI 1 (vlevo); výsledek zanesené trysky (vpravo)	60
Obr. 5-15 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstřiku, NLGI 00	60
Obr. 5-16 Stopa po nástřiku, koncovka 40° úhel rozstřiku, NLGI 000	60
Obr. 5-17 Nástřik z pozice 2 (pod temenem kolejnice)	61
Obr. 5-18 Nástřik z pozice 1, konfigurace pro železniční dopravu (vlevo), pro DPMB (vprav)	62
Obr. 5-19 Finální hydraulicko-pneumatický válec	63
Obr. 5-20 Aplikační jednotka	64
Obr. 5-21 Aplikační jednotka – detail	64
Obr. 5-22 Přípravek (vlevo), Umístění přípravku (vpravo)	65
Obr. 5-23 Kryt aplikační jednotky	66
Obr. 5-24 Vlastní tvary aplikační jednotky	67
Obr. 5-25 Mazací přístroj PMP [4]	68
Obr. 5-26 Rozdělovač	72
Obr. 5-27 Ideové schéma zapojení	73
Obr. 5-28 a) umístění tlakčíttek, b) displej úvodní zobrazení, c) displej pokračování	74
Obr. 5-29 Vývojový diagram řízení	75

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Přehled komerčně dostupných TOR produktů [6, 8, 25, 26]	17
Tab. 3-1 Porovnání jednotlivých variant	38
Tab. 5-1 Délka nástřiku a její odchylka	56
Tab. 5-2 Aplikované hmotnosti a její odchylka	56
Tab. 5-3 Parametry polohy trysky pro pozici 2	61
Tab. 5-4 Parametry polohy trysky pro pozici 1	62
Tab. 5-5 Technické parametry PMP pumpy	69

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Cenová rozvaha
Příloha 2	Fotodokumentace
Příloha 3	Seznam výkresové dokumentace
Příloha 4	Funkční vzorek č. 1 (G <sub>funk_01</sub> )
Příloha 5	Funkční vzorek č. 2 (G <sub>funk_02</sub> )



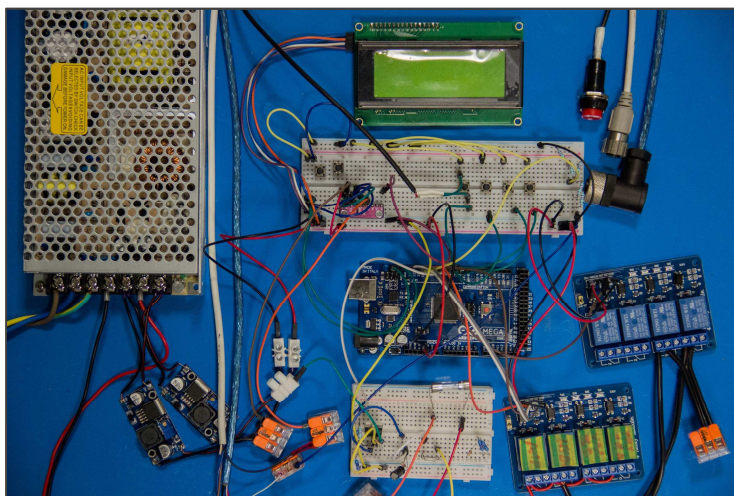
## Příloha 1

### Cenová rozvaha

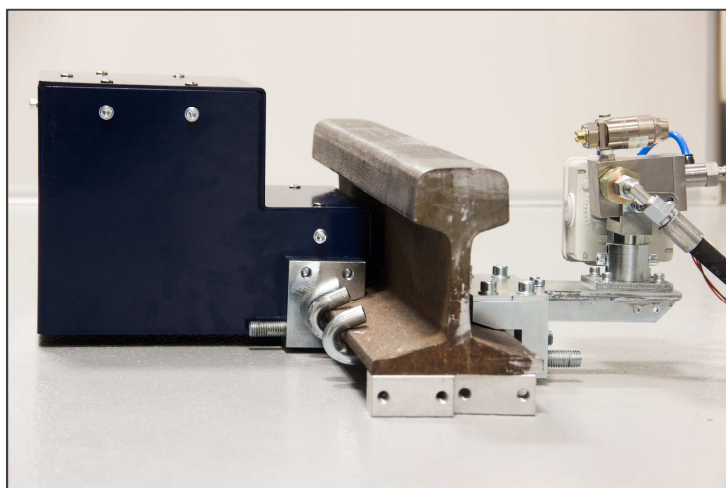
<b>díl</b>	<b>cena bez DPH (Kč)</b>
PMP pumpa	25100
hydr ventil + cívky	4620
kompresor + příslušenství	40000
vzdušník	750
elektronický regulátor tlaku	3020
konektor k regulátoru	200
fitinky	5000
vzduchový filtr	550
senzory tlaku	5200
elektroinstalační skříň	5900
trysky	16000
indukční snímače	3500
pneumatický ventil	2500
hadice	1760
výroba	35000
elektrokomponenty	3000
celková cena bez DPH	152100
celková cena s DPH	184041

## Příloha 2

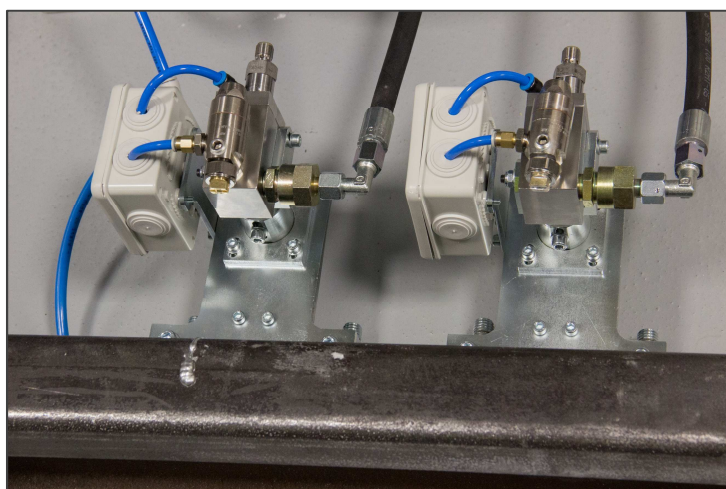
### Fotodokumentace



Testovací elektronika



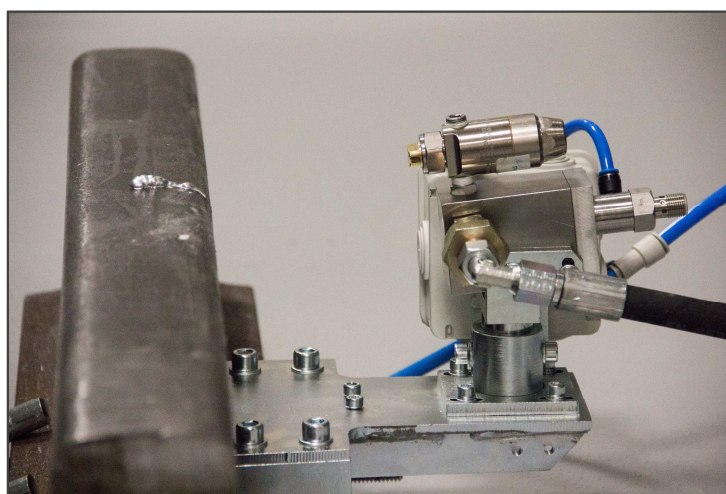
Aplikační jednotka krytovaná a bez krytu



Dvojice aplikačních jednotek



Technické zázemí



Aplikační jednotka – pohled z boku

## Příloha 3

### Seznam výkresové dokumentace

<b>Aplikační jednotka</b>	1-DP-A-00-00
<b>Technické zázemí</b>	1-DP-S-00-00
<b>Aplikační člen</b>	2-DP-A-02-00
<b>Zadní deska</b>	2-DP-S-00-07
<b>Válec</b>	3-DP-A-01-00
<b>Válec – tělo</b>	3-DP-A-01-01
<b>Válec – čelo</b>	3-DP-A-01-03
<b>Vidlice</b>	3-DP-A-02-02
<b>Stojina – venek</b>	3-DP-A-03-00
<b>Držák</b>	3-DP-A-04-00
<b>Přípravek</b>	3-DP-A-06-00
<b>Kryt 49E1 – bok</b>	3-DP-A-07-01
<b>Kryt 49E1 - h. deska</b>	3-DP-A-07-02
<b>Rozdělovač</b>	3-DP-S-00-01
<b>Vanička-baterka</b>	3-DP-S-00-05
<b>Trubka-pumpa1</b>	3-DP-S-00-10
<b>Konzola-kompresor</b>	3-DP-S-02-00
<b>Konzola-vzdušník</b>	3-DP-S-03-00
<b>Konzola-baterie</b>	3-DP-S-04-00
<b>Upínka 49E1</b>	4-DP-A-00-01
<b>J-hák M14</b>	4-DP-A-00-02
<b>Držák – krabička</b>	4-DP-A-00-03
<b>Držák – příložka</b>	4-DP-A-00-04
<b>Válec – píst</b>	4-DP-A-01-02
<b>Stojina – vnitřek</b>	4-DP-A-02-01
<b>Čep – válec</b>	4-DP-A-02-03
<b>Stojina – trubka</b>	4-DP-A-03-01
<b>Stojina – deska</b>	4-DP-A-03-02
<b>Držák horní deska</b>	4-DP-A-04-01
<b>Držák – příčka</b>	4-DP-A-04-02
<b>Přípravek – základna</b>	4-DP-A-05-00
<b>Přípravek – trubka</b>	4-DP-A-05-01
<b>Přípravek – deska</b>	4-DP-A-05-02
<b>Přípravek – vnitřek</b>	4-DP-A-06-01
<b>Přípravek – plocha</b>	4-DP-A-06-02
<b>Tyč M5</b>	4-DP-A-06-03
<b>Kryt – úhelník</b>	4-DP-A-07-03
<b>Upínka 49E1 – kryt</b>	4-DP-A-07-04

<b>konzola – ventil</b>	4-DP-S-00-02
<b>Úchyt vzdušníku</b>	4-DP-S-00-03
<b>Pás – vzdušník</b>	4-DP-S-00-04
<b>Příčka-baterka</b>	4-DP-S-00-06
<b>Držák regulátoru</b>	4-DP-S-00-08
<b>Trubka – pumpa2</b>	4-DP-S-00-09
<b>trubka-rozdělovač</b>	4-DP-S-00-11
<b>Konzola – kompresor1</b>	4-DP-S-02-01
<b>Konzola – kompresor2</b>	4-DP-S-02-02
<b>Konzola – kompresor3</b>	4-DP-S-02-03
<b>Konzola – kompresor4</b>	4-DP-S-02-04
<b>Konzola – kompresor5</b>	4-DP-S-02-05
<b>Konzola – vzdušník1</b>	4-DP-S-03-01
<b>Konzola – vzdušník2</b>	4-DP-S-03-02
<b>Konzola – vzdušník3</b>	4-DP-S-03-03
<b>Konzola – vzdušník4</b>	4-DP-S-03-04
<b>Konzola – baterie1</b>	4-DP-S-04-01
<b>Konzola – baterie2</b>	4-DP-S-04-02
<b>Konzola – baterie3</b>	4-DP-S-04-03