



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 NÁSTŘIK MAZIVA NA KOLEJNICI

DESIGN OF WAYSIDE UNIT FOR SPRAYING OF LUBRICANT ON RAIL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Jordán

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Valena

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Tomáš Jordán
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Martin Valena
Akademický rok:	2019/20

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

Konstrukce stacionární jednotky pro nástřik maziva na kolejnici

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při průjezdu vlakové soupravy traťovým obloukem o malém poloměru dochází ke zvýšení hlučnosti. Jednou z možností, jak tento negativní projev redukovat, je aplikace tzv. top-of-rail maziv. Tyto maziva jsou aplikována na temeno kolejnice pomocí stacionárních jednotek, kde je mazivo zpravidla přiváděno na hlavu kolejnice pomocí vrtaných otvorů. Ty však mohou vést k únavovým lomům kolejnice, a proto je v současnosti snaha o vývoj nových jednotek využívající nástřik maziva.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je navrhnout a zrealizovat aplikační jednotku pro nanášení maziva na temeno hlavy kolejnice.

Díličí cíle bakalářské práce:

- patentová rešerše,
- tvorba koncepčních variant,
- realizace vybrané varianty,
- sestavení zařízení,
- ověření funkčnosti.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresová dokumentace.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

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

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vývojem a realizací stacionární jednotky pro nástřik maziva na kolejnici. TOR mazivo snižuje opotřebení a hlukovou emisi na železnicích a tramvajových tratích. Úvodní rešerše se zabývá vlastnostmi maziv a popisuje některá zařízení, která jsou v současnosti dostupná na trhu. Práce obsahuje návrh aplikační jednotky a popisuje konstrukční řešení. Na základě návrhu byl vyroben testovací prototyp a pomocí experimentů došlo k ověření funkčnosti. Při měření se nástřik testoval z hlediska přesnosti, opakovatelnosti a celkové analýzy stopy nástřiku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mazání kolejnice, nástřik maziva, stacionární jednotka, snížení hluku kolejové dopravy, snížení opotřebení kolejové dopravy

ABSTRACT

Presented bachelor thesis deals with development and design of wayside unit for top of rail lubrication by spraying. TOR lubricant reduces wear and noise emission on the railways or tram rails. Introductory part of this thesis deals with lubricants properties and also units which are currently available on the market. The thesis contains proposal of wayside unit and it describes design solution. Based on a suitable design a prototype it was made. Furthermore experiments were carried out and their conclusion was that the unit is functional. The tests involved measuring of accuracy, repeatability and general analysis of spray pattern.

KEYWORDS

Top of rail lubrication, lubrication by spraying, wayside unit, railway noise reduction, railway wear reduction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JORDÁN, Tomáš. *Konstrukce stacionární jednotky pro nástřik maziva na kolejnici*. Brno, 2020, 65 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Valena.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Martinu Valenovi za jeho vstřícnost, ochotu a rady při řešení práce. Velké poděkování patří také mému rodině za jejich podporu během studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Martina Valeny. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	16
2.1	Interakce mezi kolem a kolejnicí	16
2.1.1	Popis stykové plochy	16
2.1.2	Modifikátory tření	17
2.2	TOR produkty	18
2.2.1	Vliv TOR maziv na redukci hluku	18
2.3	Přehled dostupných stacionárních aplikačních zařízení	19
2.3.1	Nástřík na pojížděnou hranu pomocí trysky	21
2.3.2	Aplikace na okolek a běhoun kola pomocí trysky	22
2.3.3	Aplikační jednotka SLID	23
2.3.4	Nástřík maziva na temeno i pojížděnou hranu pomocí trysky	23
2.3.5	Aplikační lišta k mazání okolku kola	24
2.3.6	Aplikace maziva s poddajnou mazací lištou	26
2.3.7	Aplikační lišta k mazání temene hlavy kolejnice	26
2.3.8	Aplikace maziva skrze navrtnané otvory v kolejnici	27
2.4	Norma průjezdového profilu trati	28
2.5	Poloha trysky	29
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	31
3.1	Analýza problému	31
3.2	Cíl práce	33
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	34
4.1	Nástřík pomocí elektricky ovládané trysky	34
4.2	Nástřík pomocí trysky s hydraulickým ventilem	35
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	37
5.1	Konstrukce jádra aplikační jednotky	38
5.1.1	Návrh pístu a volba pružiny	39
5.1.2	Nastavení tlaku a počáteční polohy pístu	40
5.2	Volba trysky	41

5.3	Ustanovení polohy a upevnění zařízení ke kolejnici	43
5.4	Ověření funkčnosti zařízení	44
5.4.1	Prototyp pro testování funkčnosti	44
5.4.2	Výsledky experimentů	45
6	DISKUZE	51
7	ZÁVĚR	53
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	56
9.1	Seznam zkratk	56
9.2	Seznam symbolů a veličin	56
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	58
11	SEZNAM TABULEK	60
12	SEZNAM PŘÍLOH	61

1 ÚVOD

Železniční doprava má ve světě i České republice nepostradatelnou úlohu. V minulosti hrála významnou roli při přepravě těžkého nákladu, a to hlavně z důvodu nízké spotřeby energie. V současné době dochází k nárůstu poptávky po osobní železniční dopravě. Lidé ji mnohem více využívají k cestování. Komfort, který dnes může cestující pocítit, není jen důsledkem modernějších souprav a vybavení, ale také zdokonalením tratí a jejich vlastností.

Vzhledem k zvyšující se poptávce po osobní železniční dopravě, je do budoucna zřejmé, že tratě nebude možné soustředit mimo obydlené oblasti. V mnohých velkých městech se samozřejmě nelze obejít ani bez pravidelných tramvajových linek. Avšak jeden z nežádoucích jevů železniční dopravy je hluk. V místě traťového oblouku o malém poloměru, dochází ke vzniku kvílivého hluku, což je právě v městech a obydlených oblastech nežádoucí jev. Snížení hluku můžeme docílit použitím vhodných třecích modifikátorů. Tyto modifikátory nám umožňují regulovat součinitel adheze, a tím měnit vlastnosti na ploše styku mezi kolem a kolejnicí. Jejich použitím lze výrazně redukovat opotřebení, bránit kontaktní únavě či snížit provozní náklady. Součinitel adheze musí být regulován tak, aby byla zajištěna bezpečnost vozidel na trati. Příliš nízká hodnota může způsobit prodloužení brzdné dráhy vlivem poklesu trakčních sil.

Mezi tyto modifikátory řadíme také tzv. TOR (top of rail) produkty, které se aplikují na temeno hlavy kolejnice. Ty slouží k regulaci součinitele adheze na intervalu hodnot od 0,2 do 0,4. Produkty mají vliv na redukci hluku, snižují opotřebení a způsobují pozitivní sklon trakční křivky. Jedním ze zástupců této skupiny jsou TOR maziva. Právě při jejich používání je třeba kontrolovat množství, které je aplikováno na kolejnici. Přesto pouze malé procento komerčně dostupných aplikačních jednotek, je schopno přesně dávkovat předem zvolené množství. Jedny z nejpoužívanějších zařízení jsou aplikační lišty, které se často používají u těžké železniční dopravy. Fungují na velice jednoduchém principu, ale neumožňují přesnou kontrolu maziva, neboť zde po aplikaci může docházet ke ztrátám. Další skupinou jsou zařízení, jež aplikují mazivo skrze navrtané otvory uvnitř kolejnice. Otvory ovšem kolejnici oslabují, a tak mají uplatnění spíše u lehčí tramvajové dopravy či metra. V poslední době se klade důraz na vývoj jednotek, které aplikují mazivo pomocí nástříku. Umožňují přesnou kontrolu maziva, aniž by byly v přímém kontaktu s temenem hlavy nebo oslabovali pevnost kolejnice.

Cílem práce je návrh a realizace stacionární aplikační jednotky, která má za úkol aplikaci TOR maziv na temeno hlavy kolejnice pomocí nástříku. Součástí práce jsou také experimenty, jež ověřují funkčnost tohoto zařízení.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

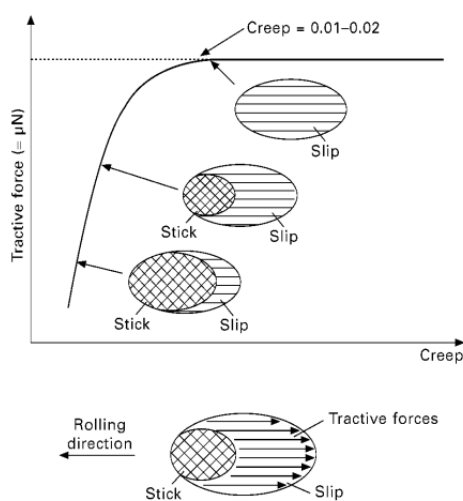
2.1 Interakce mezi kolem a kolejnicí

2.1.1 Popis stykové plochy

Interakcí kola a kolejnice dochází ke vzniku kontaktní plochy o velikosti asi 1 cm² [1]. Tahle relativně malá kontaktní plocha je důvodem vysoké efektivity a nízké spotřeby energie. Při vzájemném pohybu těchto členů, se mohou jednotlivé části stykové plochy lišit svým charakterem. Na obr. 2-1 je zakreslena trakční křivka, která popisuje závislost trakční síly F_T na velikosti prokluzu v procentech. Trakční síla je přímo úměrná normálové síle a koeficientem úměrnosti je součinitel adheze μ . Jedná se o třecí sílu při valivém pohybu kola po kolejnici, zajišťující pohyb vozidla. Velikost trakční síly je dána vztahem 2.1.

$$F_T = \mu N \quad (2.1.)$$

Kontaktní plochu mezi kolem a kolejnicí lze rozdělit na oblast styku (lpění) a skluzu. Nacházíme-li se na křivce v oblasti nulové trakční síly, pak je kontaktní plocha celá styková. Z hlediska mechanického pohybu se jedná o čisté valení. S růstem velikosti trakční síly dochází ke zvětšení oblasti skluzu na stykové ploše. Přírůstek trakční síly je způsoben nárůstem koeficientu adheze, který probíhá až do bodu saturace. Hodnota prokluzu v tomto místě nabývá asi 1-2 %. Bod saturace se vyznačuje tím, že se styková plocha stává pouze skluzovou a dochází k prokluzu. Součinitel adheze dosahuje své maximální hodnoty a dále již nenarůstá. To je zapříčiněno tím, že hodnota je limitována součinitelem smykového tření f [2].



Obr. 2-1 Trakční křivka [3]

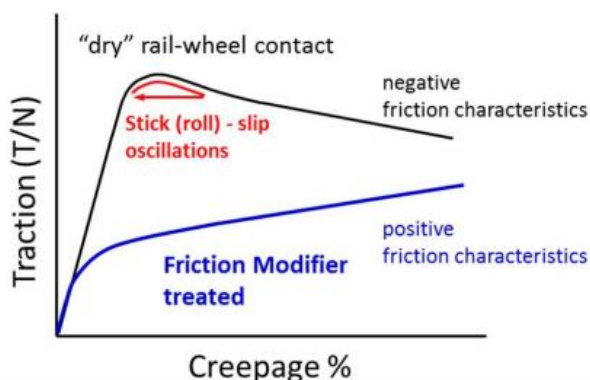
2.1.2 Modifikátory tření

Úpravou adheze je možno ovlivnit vlastnosti při interakci kola a kolejnice. Od snížení opotřebení po redukci hluku. Ke změně těchto jevů je nutné používat správné modifikátory. Je třeba brát ohled na procesy jako je trakce či brždění. Regulace součinitele adheze nesmí ohrozit bezpečnost dopravy. Běžná hodnota suché kolejnice je přibližně 0,6 [1]. Modifikátory tedy lze podle velikosti součinitele rozdělit do třech základních skupin:

Modifikátory s nízkou hodnotou tření – LCF jsou určeny pro snížení součinitele adheze pod hodnotu 0,2. Zpravidla se aplikují na pojížděnou hranu kolejnice nebo okolek, v místě traťového oblouku o malém poloměru. V obloucích o poloměru menším než 500 m, dochází ke styku okolku s pojížděnou hranou, což vede ke vzniku laterální síly [3]. Tento proces je doprovázen velkým opotřebením a vznikem kvílivého hluku. Použitím modifikátorů s nízkou hodnotou tření je snaha omezit zmíněné jevy. Při správném používání, je možné dosáhnout energetických úspor z hlediska dlouhodobého provozu [2].

Modifikátory se střední hodnotou tření – HPF se používají k udržení součinitele adheze mezi hodnotami 0,2 – 0,4. Jedná se o TOR produkty a jsou určeny k aplikaci na temeno hlavy kolejnice. Jak ukazuje obrázek 2-2 způsobují rostoucí charakter trakční křivky a odstraňují bod saturace. Tím dochází k zániku oscilace nazývané „stick-slip“, která je na tomto obrázku vyznačena červeně. Tato oscilace se podílí na vzniku kvílivého hluku a je hlavním důvodem vlnkovitosti kolejí [4]. Tyto produkty mají také pozitivní vliv na snížení spotřeby energie či redukci opotřebení [2].

Modifikátory s vysokou hodnotou tření – VHPF mají za úkol zvyšovat součinitele adheze a zvýšit tak maximální trakční nebo brzděné síly, které je kontakt schopen přenést. Nejčastěji používaným materiálem je písek [2].



Obr. 2-2 Trakční křivka s negativní a pozitivní charakteristikou [4]

2.2 TOR produkty

TOR produkty jsou určeny k aplikaci na temeno hlavy kolejnice. Případně se také někdy používají k nástřiku na běhoun kola. Můžeme je rozdělit do tří základních skupin. Níže uvedené produkty se liší jak svým složením, tak i skupenstvím ve kterém jsou aplikovány.

První skupinou jsou TOR-MT (top of rail – modifikátory tření). Jedná se o produkty na vodní bázi, které obsahují pevné částice. Po aplikaci a následném vyschnutí vody, zůstávají na kolejnici pouze pevné částice, které snižují součinitel adheze a způsobují rostoucí trakční křivku. Kromě redukce opotřebení a hluku, brání únavě a mají pozitivní vliv na eliminaci vlnkovitosti kolejí [4].

Do druhé skupiny můžeme zařadit TOR tuhé kompozice. Princip těchto produktů je podobný jako u TOR-MT. Pevné částice zde nejsou aplikovány v roztoku, ale přímo v pevném stavu jako kompozicové tyčinky. Pomocí mechanismu s pružinou jsou v kontaktu s kolem a vlivem tření dochází k aplikaci pevných částic na kolo. Jejich vlastnosti jsou obdobné TOR-MT [4].

Poslední skupina jsou TOR maziva. Jedná se o produkty na olejové bázi. Zpravidla jde o syntetické oleje, které nemají škodlivý vliv na životní prostředí. Mazivo se dále skládá z pevných kovových částic a aditiv. Na rozdíl od TOR-MT, se jedná o maziva neschnoucí. Na povrchu kolejnice tedy zůstává olejový film. Tyto produkty lze rozdělit na plastické, hybridní a tekuté. Aplikací je možné snížit opotřebení či velikost hluku. V některých vědeckých pracích se objevuje negativní vliv TOR maziv. Během styku kola s kolejnicí, dochází k vtlačování mazného filmu pod obrovským tlakem do již vzniklých únavových trhlin, které jsou tímto rozšiřovány [4].

2.2.1 Vliv TOR maziv na redukci hluku

Ke snížení hlukové emise kolejové dopravy, je nutno znát místa odkud jsou zvuky generovány. Jedině tak je možné docílit efektivního snížení. Nejčastěji zvuk vzniká při běžném valivém kontaktu soukolí. Frekvence takového zvuku se pohybuje v rozmezí 30-5000 Hz. Je zapříčiněn vibrací vlaku během jízdy a drsností kontaktních povrchů soukolí.

Nejvíce nepříjemný zvuk pro člověka je generován mezi okolkem a pojížděnou hranou kolejnice, a to v místě traťového oblouku o malém poloměru. Styk okolku s pojížděnou hranou je doprovázen tóny o vysoké frekvenci (5000-10000 Hz) a objevuje se převážně na vnější kolejnici. V těchto obloucích se také velmi často generují zvuky ze vzájemného styku kola s temenem hlavy kolejnice. Jejich frekvence se pohybuje mezi 1000-5000 Hz. Jako původce je často označována „stick-slip“ oscilace, která již byla zmíněna v předchozí kapitole [3].

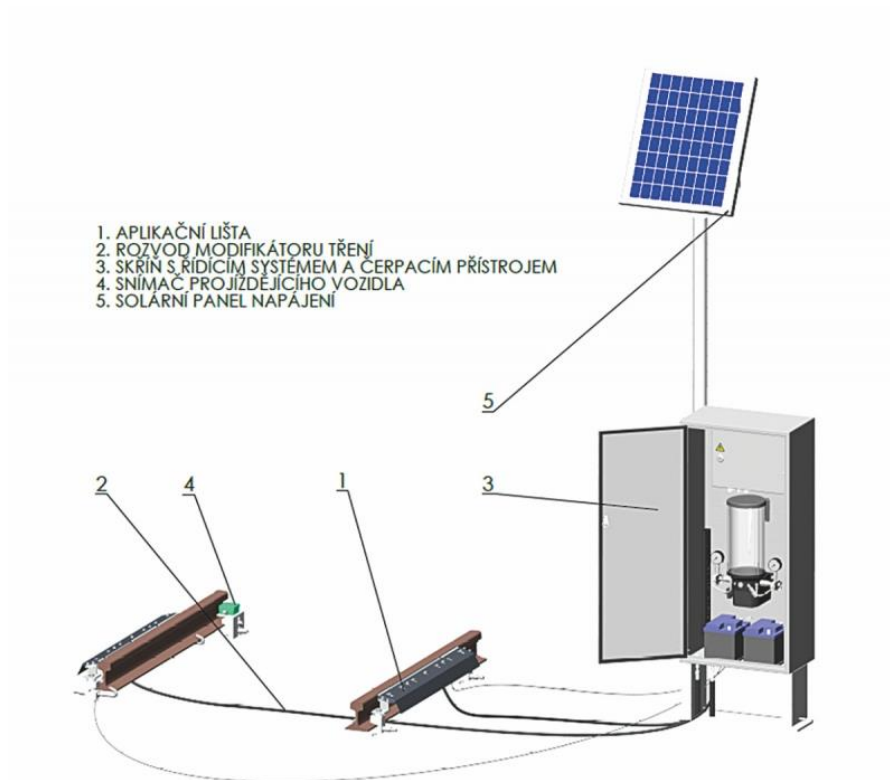
K redukci zvuku na pojížděné hraně kolejnice se zpravidla používají modifikátory, které snižují adhezi na hodnotu menší než 0,2. Tato aplikace je velmi účinná a jelikož zde nedochází k přenosu trakčních sil, není třeba přesně kontrolovat aplikované množství maziva. Pokud chceme aplikovat mazivo na temeno hlavy kolejnice, již je třeba brát ohled na velikost adheze. Zde mají své uplatnění právě TOR produkty. Jejich úkolem je tedy snížit opotřebení, hluk a zároveň zachovat adhezi na středních hodnotách, které zajistí přenos trakčních sil.

Galas ve své práci [5] provedl měření redukce hluku a sledoval vliv množství maziva na prodloužení brzdné dráhy. Při měření byly na kolejnici nanášeny dávky o velikosti 1, 2 a 4 g. Z výsledků vyplývá, že při aplikaci 1 g TOR maziva, nedocházelo k prodloužení brzdné dráhy. Při větších dávkách byl již tento jev opačný. Je třeba poznamenat, že dávka o velikosti 1 g sice neovlivnila velikost brzdné dráhy, ale vliv na redukci hluku byl minimální. Zdroj zvuku při tomto měření ovšem nemusel pocházet z temene hlavy kolejnice, což ukazuje, že je skutečně nutné znát místa, odkud se zvuk šíří.

2.3 Přehled dostupných stacionárních aplikačních jednotek

Zařízení můžeme rozdělit na dvě základní skupiny. Jedná se o zařízení mobilní a stacionární. Mobilní jednotky zpravidla nanášejí modifikátory tření pomocí nástřiku a jsou umístěny na nápravě. Nástřik je v tomto případě směřován na kolo nebo na kolejnici, po které souprava právě projíždí. Jelikož se tato práce nezabývá konstrukcí mobilních zařízení, budou tedy dále rozebrány zejména jednotky stacionární.

Stacionární jednotky jsou umístěny na vnější nebo vnitřní straně kolejnice. Aplikace modifikátorů může probíhat několika způsoby. Zpravidla k ní dochází před průjezdem soupravy. Na obrázku 2-3 je zobrazeno schéma stacionární jednotky. Celé zařízení můžeme rozdělit do dvou základních částí. První částí je tzv. technické zázemí 3, které bývá umístěno v blízkosti trati v dostatečné vzdálenosti od kolejí. Ve většině případů je zázemí vybaveno pumpou, zásobníkem maziva, řídicí jednotkou a zdrojem energie 5. Pomocí hydraulického a elektrického vedení 2 je spojeno s druhou částí, a to se samotnou aplikační jednotkou 1. V tomto případě ji reprezentuje aplikační lišta. Součástí je také snímač 4, který detekuje projíždějící vozidla a předává signál řídicí jednotce.



Obr. 2-3 Základní schéma stacionárního zařízení k aplikaci modifikátorů [6]

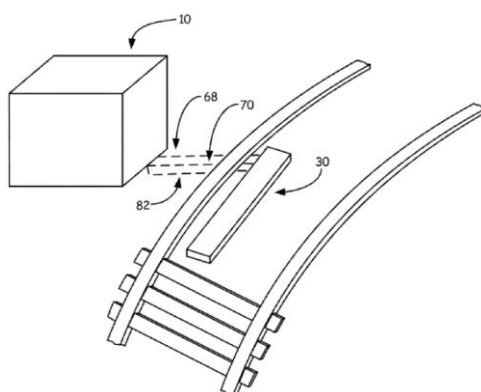
Volba, kde bude jednotka umístěna, záleží zpravidla na samotném zákazníkovi. Umístí se však v místech, kde dochází k velkému opotřebení kolejí či nadměrnému šíření hluku. Například to může být před traťovými oblouky či výhybkami. Způsob aplikace závisí na algoritmu řídicího programu. Zda dojde nebo nedojde k aplikaci modifikátoru vždy nezáleží pouze na skutečnosti, že vozidlo projelo v místě snímače. Například při aplikaci TOR maziv, je snaha kontrolovat celkové množství produktu na kolejnici v delším časovém horizontu. V takovém případě dochází k opakované aplikaci pouze po splnění určité podmínky. Podmínkou může být například čas od poslední aplikace nebo počet projetých náprav. Pokud zařízení slouží převážně k redukci hluku v obydlených oblastech, pak může být jeden ze vstupních parametrů hladina hluku snímaná senzorem. V současné době je snaha vyvinout jednotku, která bude aplikovat mazivo na základě velikosti hluku. Řešení takového systému ovšem není součástí práce.

Je nutno poznamenat, že některé z níže uvedených zařízení se vyrábí v několika různých modifikacích. Jejich princip ale zůstává stejný. Proto jsou v této práci jednotlivá zařízení popsána v jejich základní konfiguraci.

2.3.1 Nástřik na pojížděnou hranu pomocí trysky

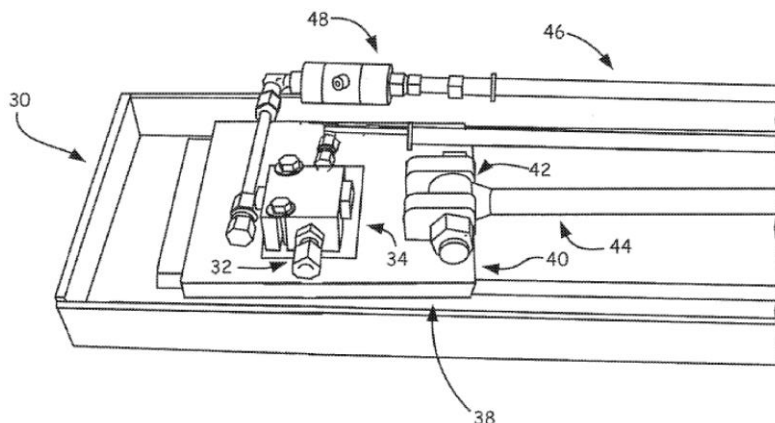
Jedná se o zařízení k aplikaci LCF produktů na pojížděnou hranu kolejnice, které patentovala společnost RBL, Inc. [7]. Stacionární zařízení bylo vyvinuto k přesné aplikaci maziva v místech před traťovým obloukem o malém poloměru.

Na obrázku 2-4 je možné vidět základní schéma zařízení, které se skládá se z několika funkční celků. Prvním z nich je skříň s technickým zázemím 10, která je umístěna v blízkosti trati. Uvnitř skříň je uložena pumpa s pohonem, která slouží k čerpání maziva z rezervoáru. Pomocí hydraulických hadic či trubek 70 je mazivo přiváděno z technického zázemí do aplikační části 30.



Obr. 2-4 Blokové schéma aplikátoru maziva na pojížděnou hranu pomocí trysky [7]

U tohoto zařízení je nástřik na pojížděnou hranu kolejnice realizován pomocí trysky 32, kterou můžeme vidět na obrázku 2-5. Systém se spustí pokud indukční čidlo, umístěné na kolejnici, detekuje projíždějící soupravu. Uvnitř hydraulického okruhu je vyvozen tlak. Mazivo proudí pod tlakem do aplikační jednotky zobrazené na obrázku 2-5. Elektricky ovládaný ventil se otevře a provede se nástřik maziva. Nastavitelná poloha trysky umožňuje efektivně zamířit na předem určenou část pojížděné hrany. K aplikaci dochází bezprostředně před průjezdem soupravy, aby nedocházelo ke stečení produktu. V takovém případě by zůstal kontakt nenamazan. Průjezdem vlaku se pak produkt distribuuje dále po trati. [7].



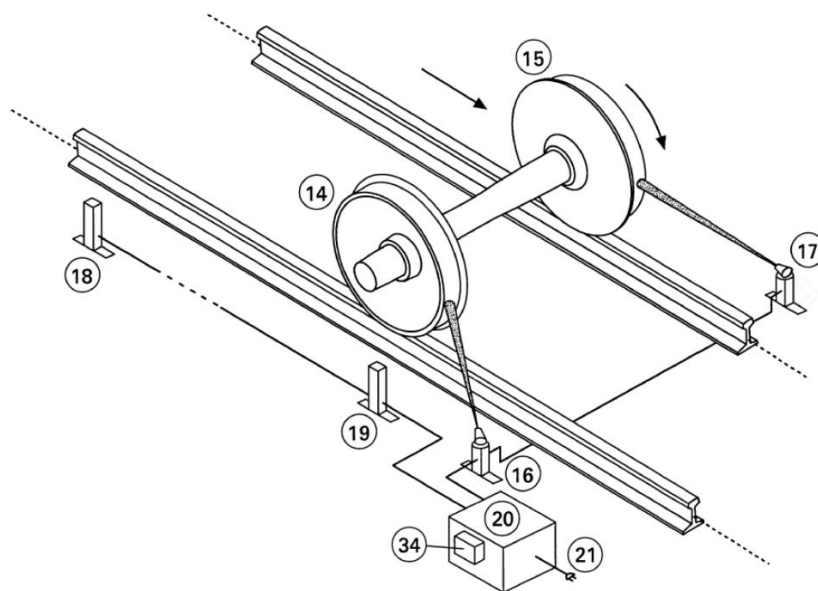
Obr. 2-5 Schéma aplikační části jednotky aplikující mazivo na pojížděnou hranu pomocí trysky [7]

2.3.2 Aplikace na okolek a běhoun kola pomocí trysky

Zařízení od společnosti Tranergy Corporation [8] je určeno k aplikaci TOR maziva na okolek a běhoun železničního kola. Zařízení bylo vytvořeno za účelem snížení opotřebení v místech traťových oblouků. Zpravidla se umísťuje tam, kde vlak nedosahuje příliš vysokých rychlostí.

Zařízení je schematicky zobrazeno na obrázku 2-6. Skládá se ze skříně 20, která obsahuje zásobník maziva a logickou jednotku, jenž řídí proces nástřiku. Uvnitř je také pumpa, která vyvozuje hydraulický tlak. Dalším členem jsou senzory 18 a 19. Poslední nezbytnou částí je aplikační tryska 16, 17, která umožňuje samotný nástřik. Zaznamená-li první senzor 18 průjezd soupravy, předá impuls logické jednotce. Ta spustí pumpu a dochází k natlakování hydraulického systému. Jakmile zaznamená senzor 19 přibližující se kolo, otevře se ventil a dochází k nástřiku. Hydraulický ventil je ovládán elektromagneticky a je umístěn co nejblíže k trysce. Nastavení doby otevření umožňuje regulovat velikost aplikované dávky. Na obrázku lze vidět, že směr nástřiku není rovnoběžný s kolejnicí. Tryska je vychýlena vůči kolu pod určitým úhlem. Při pohybu kola proti trysce tento úhel způsobí, že je nejprve mazivo aplikováno na běhoun kola a po přiblížení dochází k zásahu okolku.

Výhodou tohoto zařízení je jeho schopnost přesného dávkování. Nevýhodou je skutečnost, že pokud se kolo pohybuje příliš vysokou rychlostí, nemusí dojít k zásahu kola mazivem.



Obr. 2-6 Schéma aplikátoru na okolek a běhoun kola pomocí trysky [8]

2.3.3 Aplikační jednotka SLID

Jedná se o aplikační jednotku od společnosti SKF Group [9]. Slouží k nástřiku TOR maziva na temeno hlavy nebo pojížděnou hranu kolejnice. Zařízení může být umístěno z vnitřní nebo vnější strany kolejí. I v tomto případě se jednotka instaluje před traťové oblouky za účelem snížení opotřebení a redukci hluku.

Mazivo je nanášeno na kolejnici pomocí skupiny čtyř trysek. Více trysek má za následek lepší distribuci produktu po trati. Aplikační jednotky jsou navíc instalovány po dvojicích. Mazivo je pomocí vysokotlaké pumpy přivedeno do jednotky. Tlak je dále udržován pomocí mechanismu pístu s pružinou. Jakmile dojde k detekci projíždějící soupravy, provede se samotný nástřik. [10]

Výhodou zařízení je schopnost aplikace malé dávky, a to jak na temeno hlavy, tak i pojížděnou hranu. Za nevýhodu lze považovat fakt, že zákazník nemůže tuto velikost dávky nikterak ovlivnit. Velkou předností oproti jiným zařízením je možnost ohřevu maziva. Uvnitř jednotky je topné těleso, které udržuje mazivo na stále teplotě bez ohledu na počasí. Tím je zajištěna stálá viskozita [11].



Obr 2-7 SLID od firmy SKF Group [11]

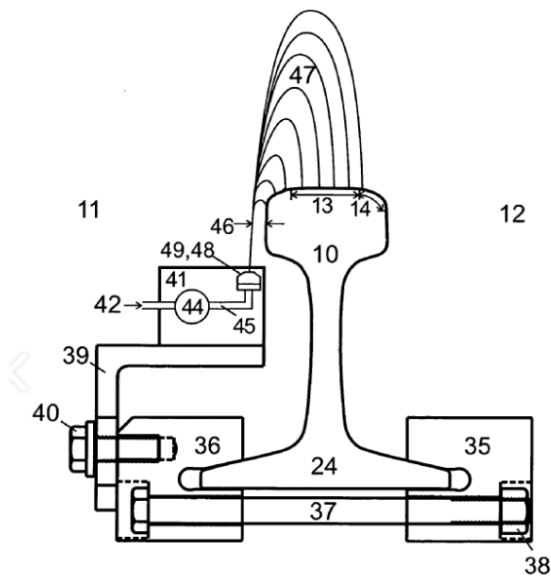
2.3.4 Nástřik maziva na temeno i pojížděnou hranu pomocí trysky

Toto aplikační zařízení vynalezla společnost Tranergy Corporation [12]. Jedná se o stacionární zařízení, jehož úkolem je aplikace maziva na temeno hlavy a zároveň i pojížděnou hranu kolejnice, a to za účelem redukce opotřebení.

V tomto případě je technologické zázemí umístěno v blízkosti trati. Obsahuje nádrž pro mazivo, řídicí jednotku a pumpu. Pomocí vysokotlakých hadic je připojeno k aplikačnímu členu zobrazeného na obrázku 2-8. V případě, že čidlo detekuje průjezd vlaku, dochází k sepnutí pumpy. Mazivo poté proudí do aplikačního členu. Ten je umístěn pod temenem

hlavy kolejnice, aby nedošlo ke kolizi se soukolím. Zařízení se upevňuje k patě kolejnice pomocí držáku, šroubů a upínek, což umožňuje umístění z vnitřní či vnější strany kolejnice. Aplikační člen se skládá z trysky 48 a zpětného ventilu 44. Pomocí trysky je aplikovaná dávka rozprostřena na temeno hlavy i pojížděnou hranu kolejnice pomocí dopadu maziva po parabolické trajektorii.

Nesmírnou výhodou toho zařízení je, že umožňuje dávkovat velmi přesné množství, a proto je také vhodné i k aplikaci TOR maziv. Nabízí se zde otázka, jestli je možno ustavit zařízení tak, aby bylo mazivo aplikováno pouze na temeno hlavy kolejnice, pokud by to zákazník požadoval. Za nevýhodu lze také považovat složitější ustavení jednotky.

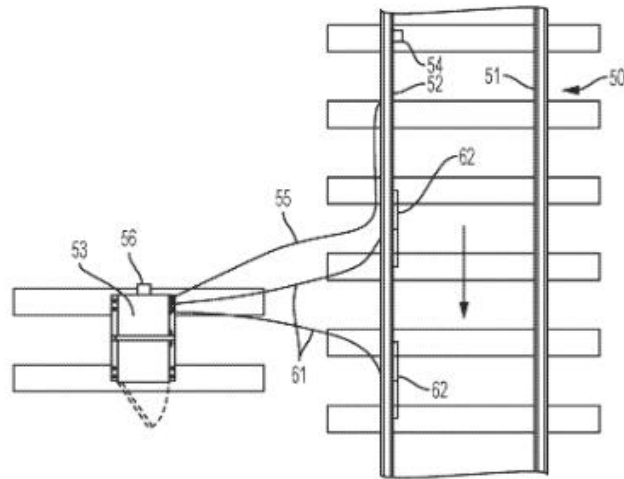


Obr. 2-8 Aplikační člen pro nástřik na temeno i pojížděnou hranu pomocí trysky [12]

2.3.5 Aplikační lišta k mazání okolku kola

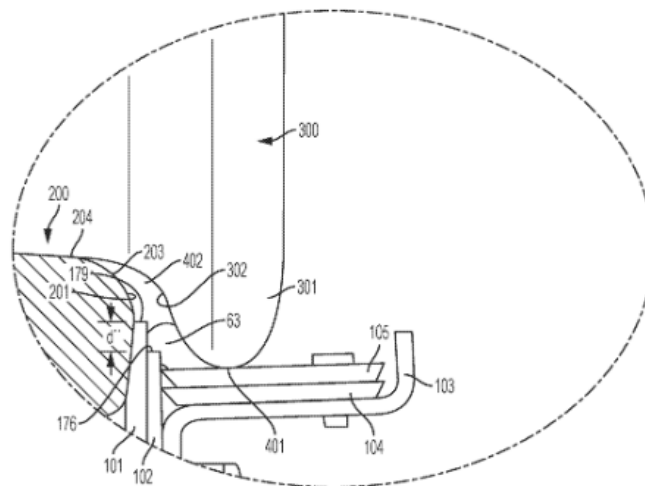
Jedná se o stacionární aplikační lištu umístěnou v bezprostřední blízkosti kolejnice, kterou vyvinula firma WHITEMORE MANUFACTURING, L.L.C. [13]. Hlavním cílem tohoto zařízení je aplikace maziva na okolek kola a zároveň snaha, co nejvíce zamezit, aby se mazivo dostalo na temeno hlavy kolejnice. Lišta umožňuje aplikovat různé druhy produktů včetně TOR.

Na obrázku 2-9 je základní schéma zařízení. Aplikační lišta 62 je umístěna z vnitřní strany kolejnice. Pokud je traťový oblouk pravotočivý, umísťuje se lišta na levou vnitřní stranu, v případě levotočivého oblouku zase na pravou. Lišta je pomocí hydraulických hadic 61 spojena s pumpou a zásobníkem maziva 53, jenž jsou umístěny vedle trati. Jakmile snímač 54 detekuje průjezd kola, dojde ke spuštění pumpy a aplikaci maziva skrze lištu.



Obr. 2-9 Schéma aplikační lišty k mazání okolku kola [13]

Samotnou aplikaci popisuje obrázek 2-10. Detailněji zobrazuje styk maziva 63 s okolkem 302. Mazivo je vytlačeno pumpou z horní části lišty 176. Část lišty 101 je připevněna k pojížděné hraně kolejnice a vytváří se tak prostor mezi touto částí a okolkem, kde se nachází aplikovaná dávka 63. Zároveň brání kontaktu maziva s pojížděnou hranou. Tím dochází k okamžité distribuci modifikátoru na okolek a je tak zabráněno jeho nechtěnému nanesení na temeno hlavy.



Obr. 2-10 Detail mazací lišty [13]

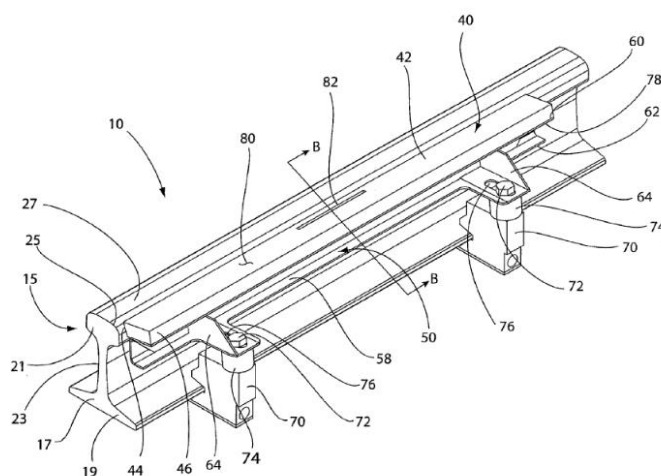
Nevýhodou tohoto zařízení je skutečnost, že nelze přesně sledovat množství, protože může docházet ke ztrátám maziva. Zároveň je citlivé na změnu rozměru okolku, který se v průběhu provozu opotřebovává a může měnit rozměry. Za přednost můžeme považovat jednoduchost systému a také univerzálnost v použití různých produktů.

2.3.6 Aplikace maziva s poddajnou mazací lištou

Poddajnou mazací lištu vyvinula firma L.B. Foster Co. [14]. Lišta je určena k aplikaci TOR nebo jiných maziv na temeno hlavy a pojížděnou hranu kolejnice. Toto zařízení se instaluje z vnější nebo vnitřní strany před výhybky a traťové oblouky, kde je třeba redukovat hluk a opotřebení.

Aplikační jednotkou tohoto zařízení je zde samotná mazací lišta 80, která je zobrazena na obrázku 2-11. Její spodní část 78 je přichycena k podpůrné liště 58, která je pomocí úchytek pevně přišroubována k patě kolejnice. Boční část lišty 44 je přitlačena k pojížděné hraně. Na horní straně lišty je otvor 82, který slouží jako výstup pro mazivo. Ze spodní strany je umístěn závit pro vysokotlakou hadici, která spojuje lištu s pumpou umístěnou v blízkosti trati v technickém zázemí. Při aplikaci je mazivo dopravováno pomocí pumpy přes vysokotlaké hadice do lišty a skrze vnitřní kanálky, se dostává na povrch kolejnice. Jelikož během průjezdu vlaku dochází ke kontaktu s kolem, je lišta vyrobena z pružného a poddajného materiálu. Nejčastěji je použit pórovitý neopren nebo materiály jako jsou guma či plast.

U této lišty nastává problém s přesným dávkováním maziva. Část maziva může být vytlačena či může stéct z temene hlavy kolejnice. Výhodou tohoto zařízení, je poddajnost, která umožňuje nezávislou aplikaci na stavu a opotřebení soukolí.



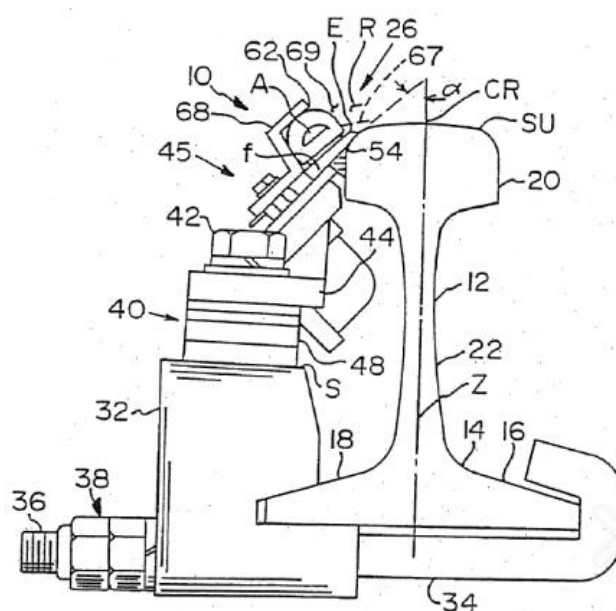
Obr. 2-11 Poddajná mazací lišta [14]

2.3.7 Aplikační lišta k mazání temene hlavy kolejnice

Jedná se o další typ aplikační lišty. S tímto řešením přišla společnost Portec Rail Products, Inc. [15]. Toto zařízení bylo vyvinuto za účelem aplikace maziv čistě na povrch temene hlavy kolejnice. Umísťuje se před výhybky a traťové oblouky, kde dochází k opotřebení a šíření hluku.

Na obrázku 2-12 je v řezu zobrazena mazací lišta 10. Stejně jako v ostatních případech, je lišta připevněna k patě kolejnice pomocí úpinky 32 a šroubu 34. Lišta je přitlačena k pojížděné hraně kolejnice a tento prostor mezi ní a kolejnicí, je utěsněn vnitřním těsněním 54. Zařízení je zásobováno TOR mazivem pomocí pumpy, která je umístěna mimo trať a připojena pomocí vysokotlakých hadic ke vstupnímu otvoru. Pumpa se spustí, pokud čidlo detekuje průjezd soupravy. Uvnitř lišty jsou od vstupního otvoru vedeny kanálky kudy proudí mazivo do výstupních otvorů E. Pomocí horního D těsnění 69 je vytvořen prostor pro mazivo 67. D těsnění má uvnitř vzduchový prostor A. Tento prostor slouží jako ochrana vůči poškození těsnění při jeho kontaktu s kolem, které jej při průjezdu deformuje. Mazivo dopravené na temeno hlavy je poté distribuováno pomocí běhounu kola dále po trati.

Výhodou je v tomto případě sada těsnění, která zabraňuje nechtěnému rozstříku a minimalizuje ztráty maziva. Vnitřní těsnění 54 brání stečení maziva po jejím boku. Těsnění D zase brání tomu, aby se mazivo při průjezdu soukolí rozprsklo v okolí trati. Ani v tomto případě však není ztrátám zcela zabráněno.



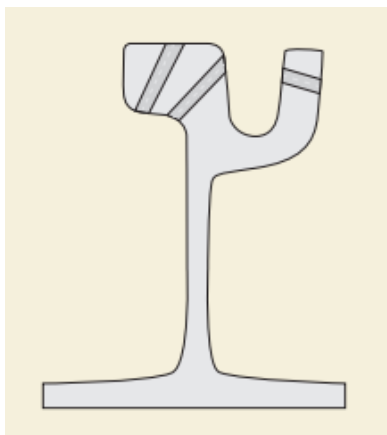
Obr. 2-12 Aplikační lišta k mazání temene hlavy kolejnice [15]

2.3.8 Aplikace maziva skrze navrtané otvory v kolejnici

Zařízení, jenž aplikuje mazivo skrze navrtané otvory v kolejnici, můžeme nalézt u mnoha výrobců, kteří se zabývají touto problematikou. Jeden z předních výrobců je například společnost SKF Group [9].

Zařízení slouží k aplikaci TOR maziv na temeno hlavy kolejnice. Z hlediska konstrukce se jedná o velmi jednoduché řešení. Při detekci projíždějící soupravy, dochází k aplikaci maziva přímo na temeno hlavy skrze navrtané otvory v kolejnici. Mazivo je přes vysokotlaké hadice čerpáno pumpou ze zásobníku. Zásobník i pumpa leží v technologickém zázemí.

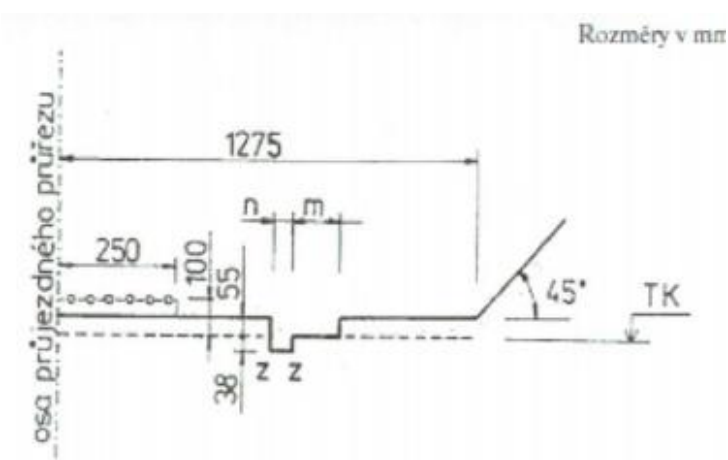
Zařízení se zpravidla umísťuje tam, kde je třeba snížit opotřebení či hluk. Na obrázku 2-13 je zobrazen průřez kolejnice tramvajové dopravy. Velká nevýhoda řešení spočívá v tom, že otvory uvnitř působí jako koncentrátoři napětí a vedou ke vzniku únavových lomů. Tento způsob aplikace tedy není možné využít u těžké železniční dopravy a svoje uplatnění má převážně u tramvají či metra.



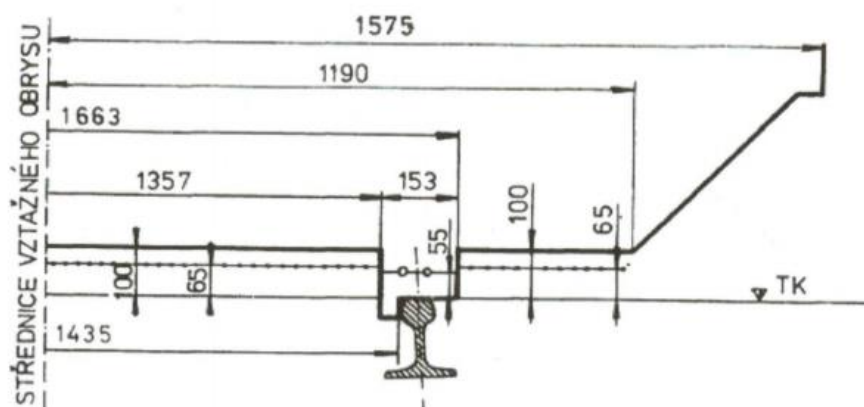
Obr. 2-13 Kolejnice tramvajové trati s navrtnými otvory [9]

2.4 Norma průjezdového profilu trati

K zajištění bezpečnosti provozu, je nutno zabránit kontaktu soupravy s jakýmkoliv zařízením či jeho součástmi, umístěných v blízkosti trati. V případě železniční dopravy je třeba se řídit dvěma normami. Obě tyto normy definují prostor, do kterého nelze zasáhnout. První norma specifikuje průjezdový průřez na celostátních, regionálních a místních drahách normálního rozchodu [16]. Z obrázku 2-14 plyne, že zařízení nesmí sahat výše než 55 mm nad temeno hlavy kolejnice. Druhá norma popisuje minimální vzdálenosti z pohledu jedoucích vozidel a jejich statických částí [17]. V tomto případě je maximální výška prostoru nad temenem hlavy 65 mm, jak můžeme vidět na obrázku 2-15.

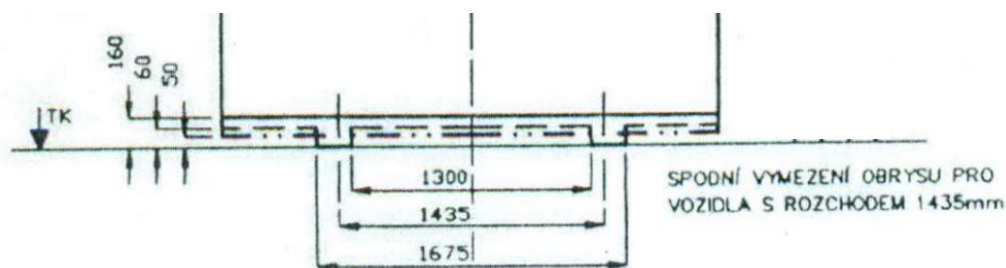


Obr. 2-14 Průjezdový průřez dle ČSN 73 6320 [16]



Obr. 2-15 Vztažný obrys statického obrysu pro hnací vozidla dle ČSN 28 0312 [17]

Aby mohlo být zařízení použito i na tramvajových tratích, je nutné dodržet vnitřní předpisy jednotlivých provozovatelů. Vzhledem k tomu, že se normy mohou napříč dopravci v České republice lišit, je zde uveden předpis Dopravního podniku města Brna, který specifikuje maximální zástavbový prostor vozidel [18]. Z obrysu vozidla na obr. 2-16 vyplívá maximální výška nad temeno hlavy 50 mm. Tento rozměr je tedy ze všech uvedených norem kritický a musí být při návrhu zařízení dodržen.



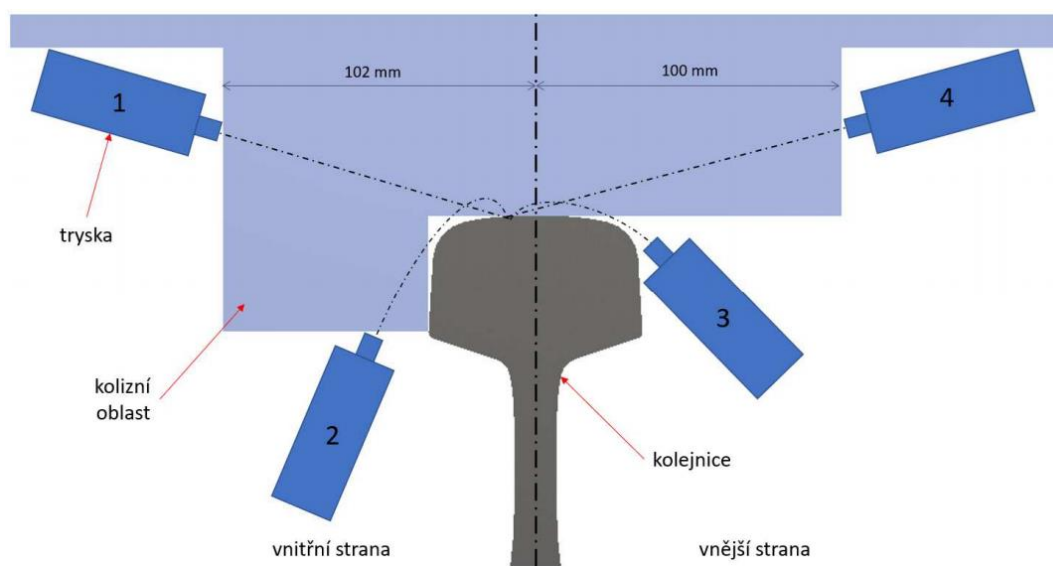
Obr. 2-16 Obrys vozidla DPMB [18]

2.5 Poloha trysky

Z normy průjezdového profilu lze uvažovat pouze několik pozic, odkud může být nástřik na temeno hlavy proveden a jsou zobrazeny na obrázku 2-17. Pozice 1 a 4 se nachází nad temenem hlavy kolejnice. Z těchto dvou míst je možné nástřik směřovat přímo, což usnadňuje nanesení maziva na temeno. Z pohledu varianty 4 se uvažované místo dopadu nachází za vertikální osou kolejnice, a proto je aplikace z tohoto místa méně výhodná než z pozice 1. Výhoda polohy 1 je také v tom, že při nepřesnosti nástřiku, část maziva dopadá na pojížděnou hranu kolejnice a nedochází tak k jeho úplné ztrátě.

Pozice 2 a 3 se nachází pod úrovní temene hlavy a nástřik se realizuje po trajektorii ve tvaru paraboly. Při aplikaci z vnitřní strany 2 je opět výhoda v tom, že při nepřesné aplikaci dopadá část maziva na pojížděnou hranu. Vzdálenost polohy 2 je ovšem větší, protože právě nad

tímto místem projíždí okolek kola a kolizní oblast je tedy rozšířena. Nevýhodou pozice 2 a 3 je požadavek na přesnější a složitější ustavení jednotky.



Obr. 2-17 Schéma pozic nástřiku [19]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Práce se zabývá návrhem stacionární aplikační jednotky pro nástřik maziva na temeno hlavy kolejnice. Úkolem tohoto zařízení je snížit hlukovou emisi v traťových obloucích o malém poloměru, a to převážně v obydlených oblastech. V rešerši byly shrnuty základní poznatky a problémy se kterými je při návrhu nutno počítat. Jelikož bude nástřik aplikován na temeno hlavy kolejnice, kde dochází k přenosu trakčních sil, je nezbytné udržet součinitel adheze na takové hodnotě, aby nedocházelo k prodloužení brzdné dráhy.

Regulovat velikost adheze na kolejnici je možné pomocí modifikátorů tření. Běžná hodnota na suché kolejnici je přibližně 0,6 [1]. Modifikátory lze rozdělit podle velikosti adheze do tří skupin [2]. Modifikátory s nízkou hodnotou tření snižují součinitel pod 0,2 a aplikují se na pojížděnou hranu kolejnice a okolek. TOR produkty s hodnotou adheze mezi 0,2-0,4 se používají na temeno hlavy. Poslední skupinou jsou modifikátory s vysokou hodnotou tření, které adhezi zvyšují na hodnoty blízké suché kolejnice.

TOR produkty se dělí na tuhé a kapalné. Kapalné dále rozdělujeme na vodní a olejové.[4]. Pro návrh zařízení v této práci jsou nejdůležitější skupinou TOR maziva na olejové bázi, protože se nejčastěji používají pro redukci hluku, jenž vzniká na temeni hlavy [3]. Udržují součinitele adheze na střední hodnotě, čímž je zajištěn dostatečný přenos trakčních sil. Jsou charakteristické svojí viskozitou, což je jedna z výzev této problematiky. V práci Galase [5] bylo zpozorováno, že po aplikaci dávky větší než 1 g může docházet k prodloužení brzdné dráhy. Na základě zmíněného článku je hlavním parametrem vyvíjeného zařízení přesná aplikace malého množství maziva s dobrou opakovatelností. Díky tomu bude možné zcela kontrolovat množství maziva na kolejnici, a to i z dlouhodobého časového horizontu.

Velká část rešerše se zabývá popisem zařízení, které se v současné době používají k aplikaci modifikátorů tření. Nejdůležitější z nich jsou pak ty, jenž aplikují TOR maziva přímo na kolejnici. Jedno z nejpoužívanějších řešení je aplikace pomocí mazacích lišt [13, 14, 15]. Nevýhodou jsou ztráty, které neumožňují přesnou kontrolu množství aplikované dávky. Někteří výrobci se snaží řešit problém tím, že lišty osadí těsníci prvky [15], což částečně brání ztrátám. U tramvajové dopravy a metra se lze nejčastěji setkat s aplikací skrze vyvrtané otvory v kolejnici [9]. Výhodou těchto zařízení je jejich jednoduchost a možnost přesné kontroly maziva. Vrtat otvory u těžší železniční dopravy není povoleno, neboť otvory působí jako koncentrátoři napětí a v případě průjezdu těžké nápravy může docházet k únavovým lomům. Proto je v současnosti snaha vyvinout zařízení, které aplikuje mazivo pomocí nástřiku. Jedno z dostupných zařízení [12], které aplikuje mazivo nástřikem pomocí trysky, automaticky počítá se zásahem pojížděné hrany kolejnice, což může být jeho nevýhoda. Aplikační jednotka využívá uzavírací člen, takže je možno kontrolovat nanesené množství.

Nevýhodou je ovšem nutnost velmi přesného ustavení, aby bylo mazivo aplikováno na zvolené místo. Aplikace TOR maziv je možná také na samotné kolo [8]. Takové řešení splňuje požadavek na přesnost i dávkování, ale za velkou nevýhodu lze považovat, nutnost snížení rychlosti pohybující se soupravy. V opačném případě by nástřík nemusel zasáhnout samotné kolo. Z dostupných komerčních zařízení se jako nejvhodnější jeví jednotka SLID [9, 10, 11]. Umožňuje nástřík s vysokou přesností a zároveň je možno přesně kontrolovat množství maziva. Může být vybavena vyhřívání, které v případě poklesu teplot udržuje viskozitu maziva na stabilní hodnotě. Nevýhoda ovšem spočívá v tom, že zákazník nemůže měnit velikost aplikační dávky dle svých potřeb.

Z pohledu konstrukce musí mít zařízení takové rozměry, aby splňovalo příslušné normy kolejové dopravy [16, 17, 18] uvedené v rešeršní části. Nesmí dojít k jeho kontaktu s kolem ani jinou částí vozidla. Z norem plynou čtyři polohy, odkud může být mazivo aplikováno. Nejvhodnější je aplikace z vnitřní strany kolejnice, neboť při nepřesném nástříku dopadá část maziva na pojížděnou hranu. Z hlediska ustavení je vhodnější aplikace z úrovně nad temenem hlavy. V takovém případě míří tryska přímo na kolejnici, což usnadňuje její zásah, a tím se zvyšuje přesnost aplikace.

3.2 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je návrh a realizace stacionární aplikační jednotky pro nástřik TOR maziva na temeno hlavy kolejnice za účelem redukce hluku. Zařízení bude upraveno k patě kolejnice tak, aby byl umožněn nástřik na temeno z vnitřní strany, a to nad úroveň temene hlavy. Součástí této práce není návrh technického zázemí ani řídicí jednotky. Pro otestování vzniklého zařízení musí být zajištěna kompatibilita s již existujícím technickým zázemím.

Na aplikační jednotku jsou požadovány následující parametry:

- Možnost měnit aplikační dávku v rozsahu 0,3-3 g
- Možnost měnit aplikační tlak v rozsahu 4-10 bar
- Schopnost aplikovat viskózní TOR mazivo třídy NLGI 00

Dílčí cíle bakalářské práce:

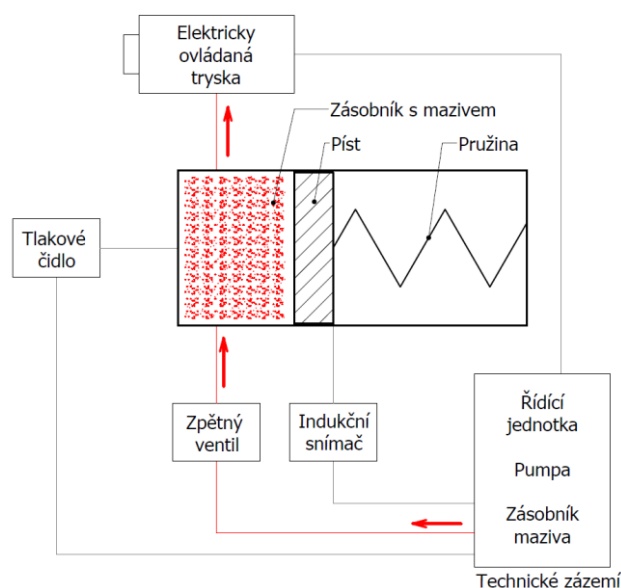
- Patentová rešerše
- Tvorba koncepčních variant
- Kompletní tvorba výkresové dokumentace
- Zajištění výroby aplikační jednotky
- Realizace aplikační jednotky
- Ověření funkčnosti

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Nástřik pomocí elektricky ovládané trysky

Blokové schéma tohoto řešení je znázorněno na obrázku 4-1. Aplikační jednotka se skládá z elektricky ovládané trysky, hydraulického válce s pístem a pružiny. Na počátku každé aplikace se mazivo v zásobníku válce doplní pomocí pumpy. Tím dochází k posunu pístu, který tak stlačuje pružinu uloženou ve válci. Jakmile indukční čidlo detekuje hranu pohybujícího se pístu, řídicí jednotka pumpu zastaví. Po zastavení pumpy dochází k uzavření zpětného ventilu, čímž je zamezeno toku maziva zpět do hydraulického okruhu. Po uzavření zpětného ventilu je pomocí stlačené pružiny uvnitř válce udržován tlak. Hodnota tlaku je předem nastavena a závisí na stlačení pružiny. K válci je připojena elektricky řízená tryska, jenž slouží k samotné aplikaci nástřiku. Tryska je ovládána řídicí jednotkou, která při aplikaci vysílá signál k otevření. Velikost dávky je závislá na době otevření trysky a lze ji pomocí programu měnit. Po aplikaci dochází k opakování celého procesu doplnění a jednotka je připravena k dalšímu nástřiku. Tlakové čidlo k samotnému procesu nástřiku není nutné. Může však být použito například při testování jednotky, za účelem odhalení průběhu tlaku během aplikace.

Za velkou výhodu zařízení lze považovat aplikaci relativně malých dávek maziva. To je způsobeno schopností trysky pracovat za vysoké rychlosti, což umožňuje velmi krátkou dobu otevření. Předpokládá se také vysoká přesnost a efektivitu nástřiku. Za nevýhodu lze považovat vyvození tlaku pomocí pružiny. Pružina během aplikace mění přítlačnou sílu a dochází tak k poklesu tlaku. Při aplikaci malých dávek lze tento pokles zanedbat. Další nevýhodou je cena trysky, která se pohybuje v řádech deseti tisíců korun.

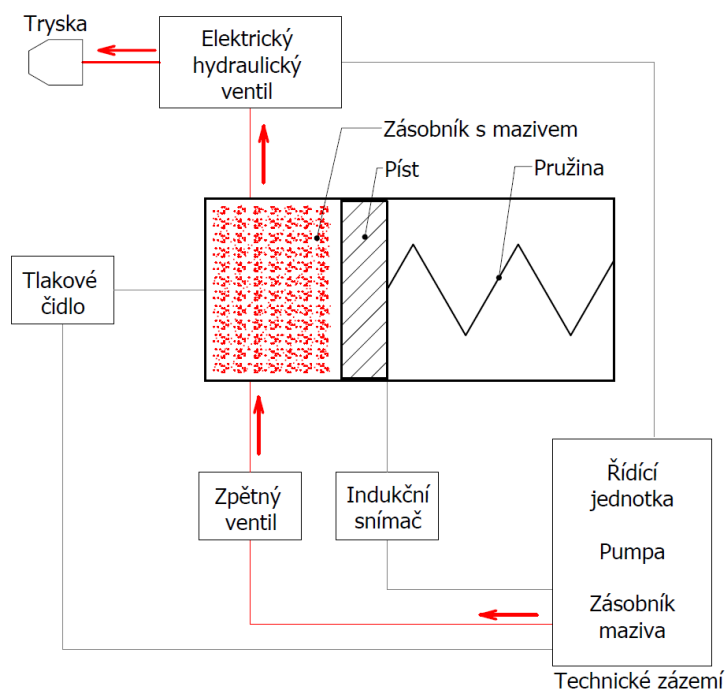


Obr. 4-1 Koncepční schéma s elektricky ovládanou tryskou

4.2 Nástřik pomocí trysky s hydraulickým ventilem

Tato koncepční varianta na obrázku 4-2 vznikla s myšlenkou, nahradit elektrickou trysku, a to z důvodu vysoké pořizovací ceny. Jednotka využívá hydraulický válec s pístem a pružinou, jak je tomu v předešlém případě. Zásobník s mazivem se plní pomocí pumpy a tlak uvnitř válce je udržován pístem s pružinou. Způsob plnění funguje na stejném principu jako předchozí varianta. K samotnému nástřiku využívá elektricky ovládaný hydraulický ventil a trysku. Velikost dávky je tedy dána dobou otevření ventilu. Aplikace je ovládána algoritmem řídicí jednotky.

Použití elektricky ovládaného ventilu umožňuje relativně přesnou kontrolu velikosti aplikované dávky. V porovnání s předchozí variantou navíc značně klesá pořizovací cena. Nevýhodou tohoto řešení je vznik prostoru mezi výstupem z trysky a ventilem, kde po aplikaci zůstává část maziva. U tohoto návrhu nastala otázka, zda mazivo negativně neovlivní prodloužení stopy nástřiku či jeho přesnost.



Obr. 4-1 Koncepční schéma s tryskou a hydraulickým ventilem

Za účelem objasnění tohoto zmíněného problému, bylo provedeno měření na již existující jednotce [19]. Ta využívá k aplikaci pneumaticky ovládanou trysku s koncovkou. Vnitřní objem koncovek reprezentoval objem maziva mezi výstupem z trysky a ventilem. Experiment měl za úkol zjistit, zda objem maziva ovlivní stopu nástřiku a jestli je tato změna významná.

Pro obě koncovky probíhalo měření stejným způsobem. Bylo provedeno několik opakovaných aplikací, u kterých se měřila délka stopy nástřiku. Na obr. 4-3 jsou fotografie

z provedeného experimentu. Můžeme na nich vidět stopu nástřiku s koncovkou o menším vnitřním objemu b) (0,1 ml vody) a s koncovkou o objemu větším a) (0,6 ml vody). Během všech aplikací byla stopa nástřiku s koncovkou o větším objemu výrazně prodloužena. Průměrně se délka zvětšila ze 70 mm až na 150 mm. Nelze opomenout, že prodloužení nástřiku vede ke špatné distribuci maziva. U koncovky s větším vnitřním objemem bylo navíc zpozorováno zvětšení okapu, což je zachyceno na obrázku 4-4.



Obr. 4-3 Stopa nástřiku a) velký vnitřní objem b) malý vnitřní objem

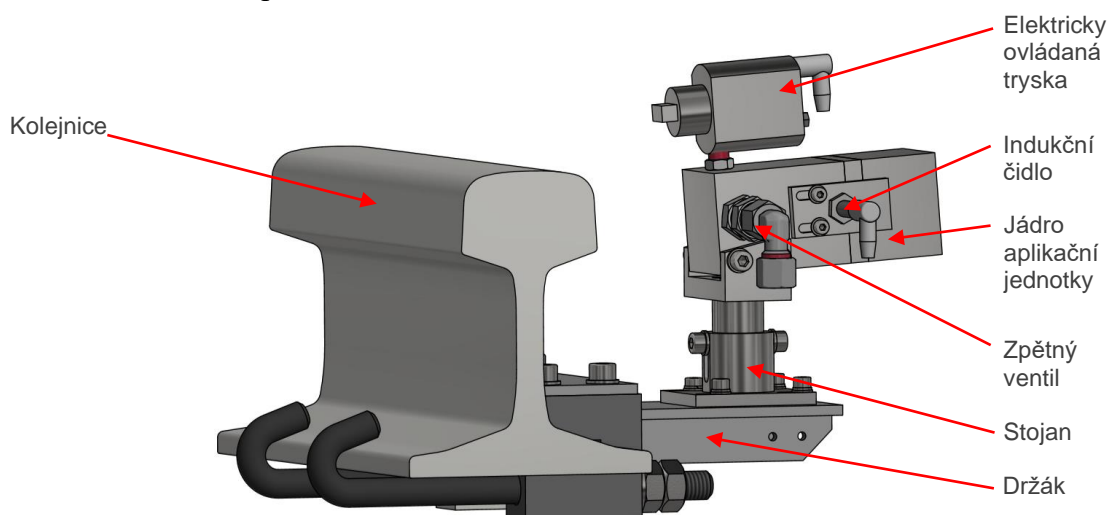


Obr. 4-4 Okap na koncovce s větším vnitřním objemem

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Návrh a konstrukce aplikační jednotky využívá koncepční variantu s elektricky ovládanou tryskou, a to i navzdory vysoké pořizovací ceně. Použitím elektrické trysky je možné dosáhnout velmi přesného dávkování. Vzhledem k její rychlosti uzavírání lze aplikovat malé dávky, což je jeden z požadavků. Pro dosažení přesného nástřiku a zkrácení stopy je rychlost uzavření také velmi důležitá. Po vyhodnocení experimentu u varianty s ventilem se ukázalo, že řešení není vhodné. Větší vnitřní objem koncovky negativně ovlivnil stopu nástřiku. Při konstrukci takového zařízení se navíc předpokládá výrazně větší objem mezi výstupem trysky a ventilem.

Z konstrukčního hlediska lze aplikační jednotku rozdělit do tří základních částí, které jsou popsány na obrázku 5-1. Elektricky ovládaná tryska je pomocí hydraulického šroubení spojena s jádrem aplikační jednotky. Toto jádro je v koncepční části reprezentováno pomyslným hydraulickým válcem. Jádro je vsazeno do stojanu, který je připevněn do držáku. Držák zde slouží k uchycení aplikační jednotky k patě kolejnice. Dále je na obrázku zobrazeno umístění zpětného ventilu a indukčního čidla.

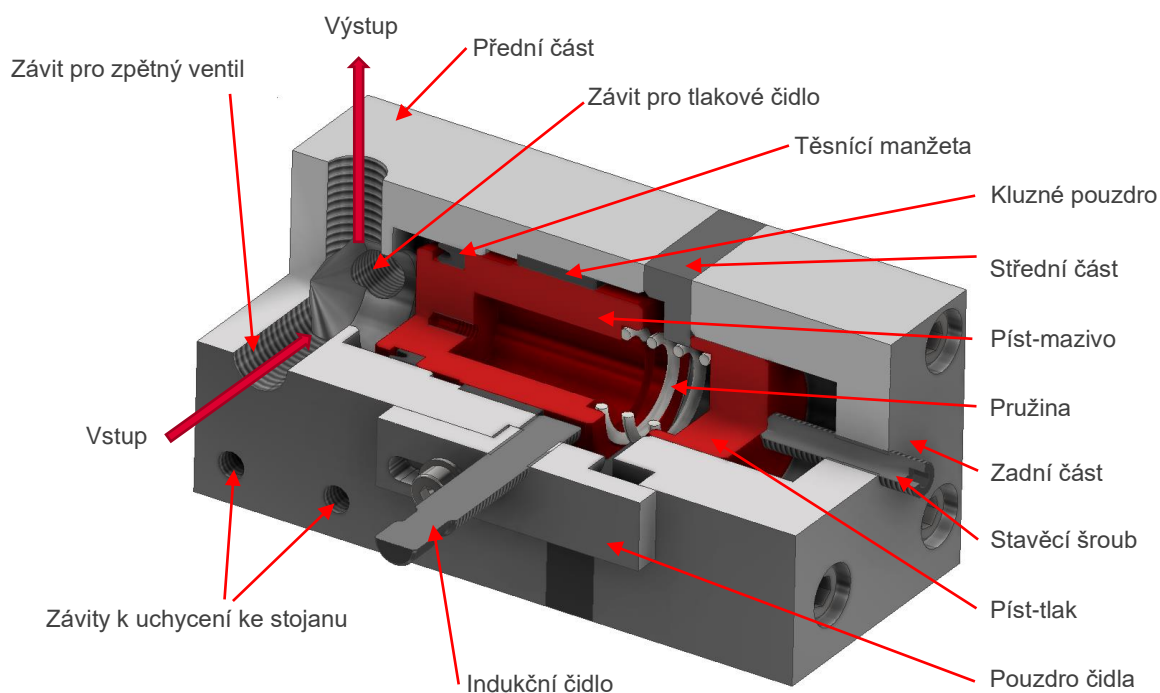


Obr. 5-1 Aplikační jednotka

5.1 Konstrukce jádra aplikační jednotky

Jádro aplikační jednotky je složeno z několika částí. Ty jsou popsány a zobrazeny na obrázku 5-2. Přední část tvoří prostor pro uložení pohyblivého pístu, a zároveň také slouží jako zásobník maziva pro aplikaci až tří gramové dávky. Pohybující se píst je opatřen těsnící manžetou, aby nedocházelo k úniku maziva do dalších částí jádra aplikační jednotky. Tlak od těsnící manžety může způsobit vyosení pístu a tomu musí být zabráněno. Proto je uvnitř tělesa zalisováno kluzné pouzdro, do kterého je píst uložen. V přední části se nachází závity pro upevnění zpětného ventilu, tlakového čidla a hydraulického šroubení, jenž spojuje jádro s tryskou. Zároveň jsou zde závity pro upevnění jednotky ke stojanu a taky pro uložení pouzdra s indukčním čidlem. V zadní části je kluzně uložen píst, který slouží k nastavení velikosti tlaku při aplikaci. Poloha pístu se nastavuje pomocí stavěcího šroubu. Střední část jádra zde vymezuje maximální velikost stlačení pružiny.

Při volbě materiálu jednotlivých součástí bylo dodrženo požadavků na obrobiteľnosť a korozivzdornost. Vzhľadom k veľmi nízkému zatíženiu, není pevnost materiálu příliš omezující. Pro všechny součásti byla nakonec zvolena hliníková slitina EN-AW-6082 a to z důvodu nižší váhy a cena. Výjimkou je pouze píst stlačující mazivo, kde je z níže uvedených důvodů vybrána nerezová ocel.



Obr. 5-2 Popis jádra aplikační jednotky

5.1.1 Návrh pístu a volba pružiny

Pro aplikaci maziva nástřikem za pomoci trysky, je nutno uvnitř zařízení nastavit dostatečnou hodnotu tlaku. Tento tlak je zde vytvořen a udržován pomocí mechanismu pístu s pružinou. V zařízení je možno měnit tlak od 4 do 10 barů, což umožňuje vyladit samotný nástřik. Maximální a minimální síla, kterou pružina působí k udržení tlaků v tomto rozsahu, je dána:

$$S = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 29^2}{4} = 660,52 \text{ mm}^2 \quad (5.1.)$$

$$F_{Pmax} = p_{max} \cdot S \cdot 10^{-1} = 10 \cdot 660,52 \cdot 10^{-1} = 660,52 \text{ N} \quad (5.2.)$$

$$F_{Pmin} = p_{min} \cdot S \cdot 10^{-1} = 4 \cdot 660,52 \cdot 10^{-1} = 264,21 \text{ N} \quad (5.3.)$$

kde:

F_{Pmax} [N] maximální nutná síla pružiny

F_{Pmin} [N] minimální nutná síla pružiny

S [mm²] plocha pístu stlačující mazivo

d_p [mm] průměr pístu stlačující mazivo

p_{max} [bar] maximální tlak

p_{min} [bar] minimální tlak

Během nástřiku dochází k posunu pístu, a tím ke změně tlaku uvnitř zařízení. To je způsobeno změnou stlačení pružiny, a tedy poklesem síly, kterou působí na píst. Bylo třeba zvolit vhodnou kombinaci pružiny s průměrem plochy pístu tak, aby změna tlaku při posunutí, byla co nejmenší. Výsledný průměr pístu je 29 mm. Tento rozměr byl zvolen iteračně spolu s volbou pružiny tak, aby změna tlaku při posunutí o 1 mm, nabývala co nejmenší hodnoty. V zařízení byla použita nástrojová pružina od společnosti Alcomex s označením ST11420. Změna tlaku je dána následujícím vztahem:

$$\Delta p = \frac{c \cdot 10}{S} = \frac{44,8 \cdot 10}{660,52} = 0,68 \text{ bar} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (5.4.)$$

kde:

Δp [bar·mm⁻¹] změna tlaku vztažená na 1 mm

c [N·mm] tuhost pružiny

S [mm²] plocha pístu stlačující mazivo

K posouzení, zda je tato hodnota přijatelná, je třeba spočítat, k jak velké změně tlaku dochází, při aplikaci uvažovaného množství maziva o velikosti 1 g.

$$\Delta p_1 = \Delta p \cdot h_1 = \Delta p \cdot \frac{m_1}{\rho_m \cdot S} = 0,68 \cdot \frac{1}{1,08 \cdot 10^{-3} \cdot 660,52} = 0,95 \text{ bar} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (5.5.)$$

kde:

Δp_1	[bar·mm ⁻¹]	změna tlaku při aplikaci 1 g
h_1	[mm]	posun pístu při aplikaci 1 g
m_1	[g]	aplikované množství 1 g
ρ_m	[g·mm ⁻³]	hustota maziva
S	[mm ²]	plocha pístu stlačující mazivo

Velikost poklesu při aplikaci takové dávky, lze považovat za relativně přijatelnou. Při aplikaci maximální dávky 3 g je tahle změna 2,85 bar. Tato hodnota je již poměrně znatelná. V takovém případě musí nástřík probíhat při vyšších tlacích. Je nutno podotknout, že se v praxi nepředpokládá aplikace takhle velkého množství, a že zařízení je primárně určeno pro nástřík malých dávek okolo 1 g. Z experimentů vyplynulo, že zařízení je i tak schopno dávku o velikosti 3 g aplikovat.

Jak již bylo řečeno, průměr pístu je zvolen vhodnou kombinací s pružinou. Uvnitř pístu, který je zobrazen na obrázku 5-2, je vyvrtána dutina, a to z důvodu snížení hmotnosti. Pružina tak pístu udělí větší zrychlení. Při volbě materiálu je brán ohled na korozivzdornost a obrobitelnost. Zároveň je třeba zajistit, aby bylo možno detekovat jeho polohu pomocí indukčního čidla. Jako vhodná volba se jeví použití materiálu AISI 304, který splňuje všechny uvedené požadavky.

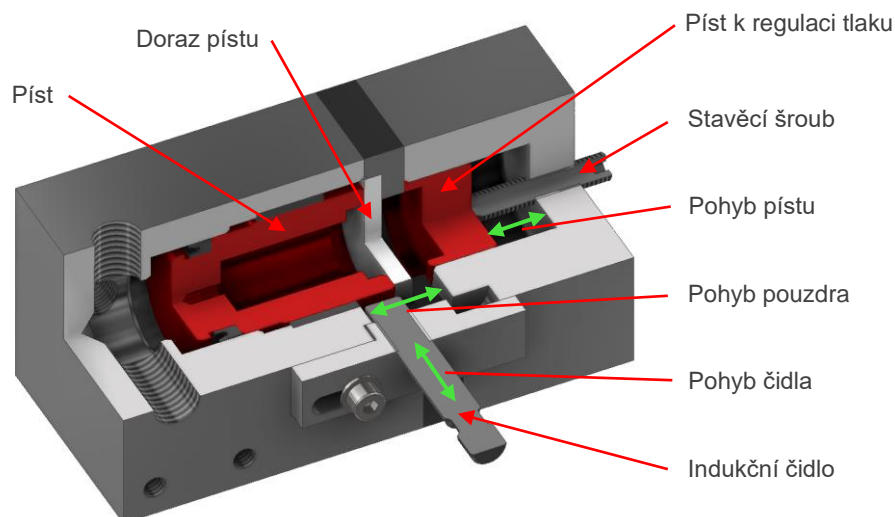
5.1.2 Nastavení tlaku a počáteční polohy pístu

Z výzkumných důvodů je jednotka navržena tak, aby bylo možné regulovat aplikační tlak při nástříku. Na rozdíl od výsledného komerčního produktu, který bude pracovat na přednastavené hodnotě. Ke změně tlaku uvnitř zařízení, slouží píst uložený v zadní části sestavy. Dráha tohoto pístu má takové rozměry, aby její koncové polohy definovaly maximální a minimální stlačení pružiny. Vnitřní ztráty v pružině a nepřesnost výroby způsobuje, že výsledná velikost tlaku v koncových polohách přesně neodpovídá teoretickým hodnotám. Tuto odchylku však můžeme zanedbat, protože je možno hodnotu tlaku kalibrovat použitím tlakového snímače v přední části. Poloha pístu je dána stavěcím šroubem. Ten mění tlak uvnitř systému při pootočení o úhel 264° o hodnotu 0,5 bar. Pro jednodušší nastavení tlaku, je vhodné, na zadní část jádra aplikační jednotky umístit úhlovou stupnici 0-360°.

Plnění zásobníku mazivem probíhá tak dlouho, dokud píst nedorazí na koncovou polohu, která je definována indukčním snímačem [20]. Detekovat pohyb pístu při malých posuvech,

a to navíc z radiálního směru, není jednoduché. Z tohoto důvodu je čidlo upevněno do posuvného pouzdra, které umožňuje pohyb v axiálním směru pístu. Indukční čidlo se upevňuje do pouzdra pomocí závitu, čímž je možno pohybovat snímačem v radiálním směru pístu.

Pro nastavení počáteční polohy se zařízení nejprve složí bez pružiny. Namísto pružiny je do sestavy umístěn doraz pístu. Čidlo se upevní do pouzdra a připojí k napájení. Píst musí být v kontaktu s dorazem, a proto se musí zásobník zcela naplnit. S pouzdem se velmi jemně posunuje, dokud nedojde k detekci koncové hrany pístu. Pouzdro se v této poloze upevní, zařízení rozebere a následně se do něj vloží pružina.



Obr. 5-3 Ustanovení tlaku a počáteční polohy pístu v jádru aplikační jednotky

5.2 Volba trysky

Pro funkci zařízení je důležitá správná volba elektricky ovládané trysky. Po analýze trhu, byla nakonec vybrána tryska od společnosti BETE – HydroPulse [21]. Hlavním důvodem této volby je její schopnost rychlého otevírání a zavírání, která je pro aplikaci malého množství maziva velmi důležitá. Je-li schopna takhle rychlého uzavření, předpokládá se také zkrácení nežádoucí stopy nástřiku. Při komunikaci s výrobcem bylo zjištěno, že čas uzavření je v rozmezí 3-4 ms. Tento parametr platí za podmínek, kdy je aplikovanou kapalinou voda a tlak v trysce nepřesáhne 3 bary. Informaci o tom, jak moc se tento čas změní při použití viskóznějšího média nebyl výrobce schopen odpovědět. Druhým důležitým parametrem je maximální dovolený tlak uvnitř trysky. U tohoto typu je katalogová hodnota 17 bar, což je pro naši aplikaci postačující. Její nevýhodou je pořizovací cena, která se pohybuje okolo 30 000 Kč.

Tryska je v aplikační jednotce hlavním akčním členem. Slouží nejen k provedení nástřiku, ale také k nastavení velikosti dávky. Uživatel zvolí tuto hodnotu pomocí programu řídicí

jednotky. Ta následně přepočte a přenastaví čas otevření trysky tak, aby bylo dosaženo zvolené hmotnosti. Aby aplikace fungovala, bylo třeba ověřit, zda je čas při aplikaci 0,3 g dávky pro trysku reálný. Při použití koncovky o průtoku $1,1 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ je čas otevření:

$$t_{03} = \frac{V_{03} \cdot 60}{Q_t} = \frac{m_{03} \cdot 60}{\rho_m \cdot Q_t} = \frac{0,3 \cdot 60}{1,08 \cdot 1,1} = 15,15 \text{ ms} \quad (5.6.)$$

kde:

t_{03}	[ms]	čas otevření trysky pro 0,3 g
V_{03}	[l]	objem maziva při 0,3 g
m_{03}	[g]	hmotnost maziva 0,3 g
ρ_m	[g.cm ⁻³]	hustota maziva
Q_t	[l·min ⁻¹]	průtok koncovkou trysky

Pokud porovnáme čas uzavření trysky, který garantuje výrobce, s hodnotou vypočtenou, je zřejmé, že tato tryska vyhovuje. V případě, že by se doba uzavření při aplikaci viskóznějšího maziva výrazně zvýšila, je možno použít koncovku s menším průtokem, a tím čas otevření trysky zvýšit.

Velikost aplikované dávky nezáleží pouze na čase otevření trysky. Při zvýšení aplikačního tlaku dochází k nárůstu velikosti průtoku. Zpravidla jej lze vyhledat v tabulkách, které poskytují výrobci koncovek. Pro přesné dávkování, a tedy nastavení doby otevření, je nutno počítat s tímto skutečným průtokem.

Tab. 1 Základní parametry trysky [21]

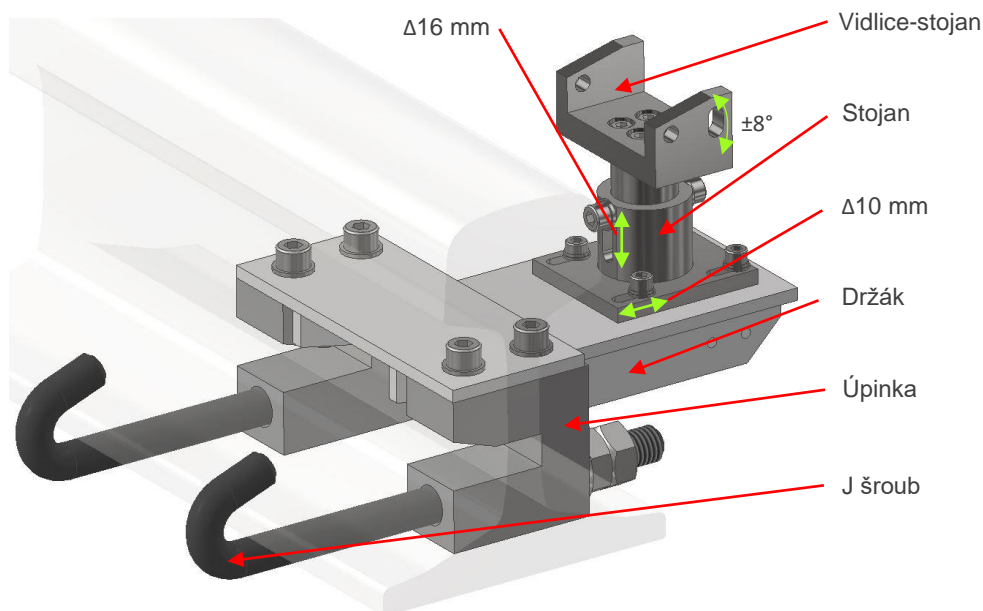
Základní parametry trysky	
Základní průtok trysky	3,785 l·min ⁻¹
Frekvence	150 Hz
Maximální provozní tlak	17 bar
Maximální teplota kapaliny	155 °C
Napájecí napětí	24 V

5.3 Ustanovení polohy a upevnění zařízení ke kolejnici

Hlavní část aplikační jednotky je připevněna ke stojanu, který má 3 stupně volnosti, což umožňuje vhodně nastavit polohu trysky. Na obrázku 5-4 je naznačeno, jak je možné s jednotkou pohybovat. Stojan umožňuje náklon $\pm 8^\circ$ od horizontální roviny temene, pohyb v laterálním směru vůči kolejnici lze měnit na rozsahu 10 mm a vertikální výškový rozsah je 16 mm.

Stojan je upevněn k držáku a tento držák je uchycen pomocí J šroubů a upínek k patě kolejnice. Po výrobě a sestavení zařízení se k držáku připevní přípravek, pomocí nějž se nastaví potřebná poloha. V praxi se ovšem může snadno stát, že se zařízení upevní ke kolejnici, která není ideálně usazena. V takovém případě by hrozilo, že část nástřiku nezacílí na temeno kolejnice. Pomocí těchto posunů je však možné polohu trysky doladit tak, aby k tomu nedošlo.

K upevnění jednotky ke kolejnici je maximálně využito již existujících dílů z diplomové práce [19]. Musela být upravena vidlice stojanu, protože jádro aplikační jednotky má větší rozměry. Nový držák snižuje výšku sestavy tak, aby zařízení splnilo normu průjezdového profilu a zároveň zde byl dostatečný prostor pro případné krytování. Tyto nově vzniklé díly jsou vyrobeny z oceli S235JR. Materiál splňuje požadavky na svařitelnost i pevnost. K ochraně proti korozi, jsou tyto součásti pozinkovány.



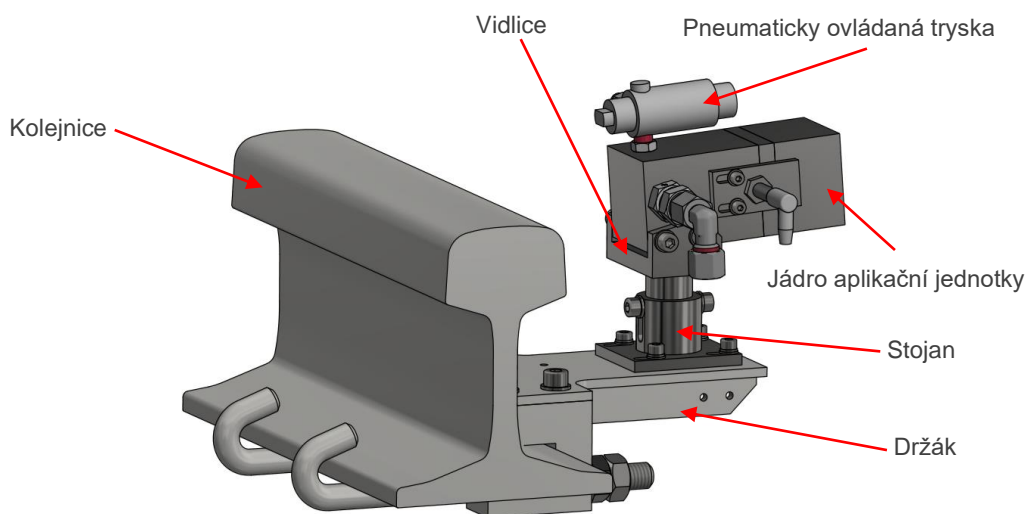
Obr. 5-4 Konstrukce stojanu s držákem k upevnění zařízení ke kolejnici

5.4 Ověření funkčnosti zařízení

5.4.1 Prototyp pro testování funkčnosti

V rámci této práce byla vytvořena kompletní dokumentace k výrobě a sestavení výše popsaného zařízení. Z ekonomických důvodů byl testovací prototyp upraven. Úprava spočívala v nahrazení elektricky ovládané trysky pneumatickou, která je řízena pomocí pneumatického ventilu.

Vzhledem k rozdílným rozměrům trysky bylo nutné upravit vidlici stojanu. Tuto součást je pro testování možné vyrobit na 3D tiskárně. Prototyp využívá již existující držák i stojan a nebyla tedy nutná výroba nových dílů. Výroba se tak omezila pouze na jádro aplikační jednotky a již zmíněnou vidlici.



Obr. 5-5 Model testovacího prototypu aplikační jednotky



Obr. 5-6 Skutečný testovací prototyp aplikační jednotky

Při použití elektricky ovládané trysky, dochází k její aktivaci pomocí signálu z řídicí jednotky, což vede k rychlejší odezvě. Je-li tryska schopna rychle reagovat, předpokládá se zkrácení stopy nástřiku, jež bude vysvětleno dále, a dosažení vyšší přesnosti. Zároveň kratší doba uzavírání, může umožnit aplikaci menších dávek. Pneumatická tryska je z pohledu reakce pomalejší. Aplikace se spouští přivedením stlačeného vzduchu skrze pneumatický ventil, což způsobuje zpoždění, které může snížit přesnost nástřiku i velikost dávky. Hlavním důvodem zpoždění je nutnost dosáhnout prahové hodnoty otevíracího tlaku (2 bar), aby došlo k otevření trysky. Experimenty provedené v rámci této práce ukázaly, že prototyp s pneumatickou tryskou byl pro ověření funkčnosti dostačující a splňuje všechny požadavky.

5.4.2 Výsledky experimentů

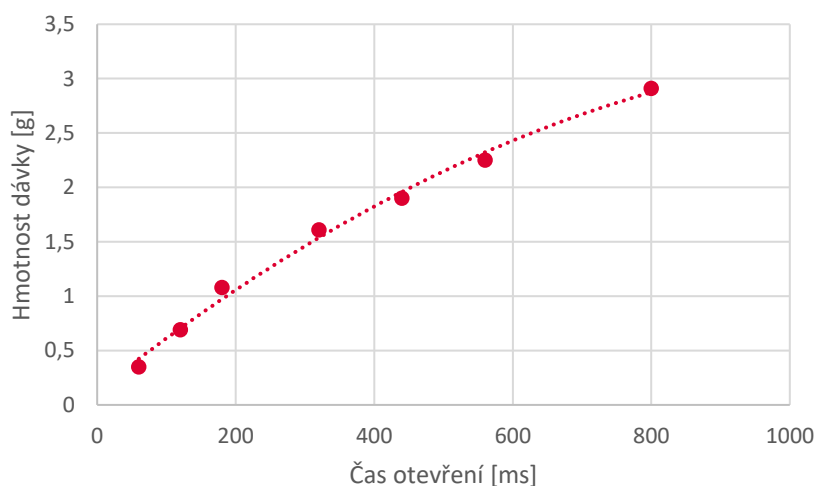
Po sestavení prototypu a ověření jeho funkčnosti, byly provedeny dva jednoduché experimenty. Všechny výsledky vyhodnocené v této práci, probíhaly v laboratoři za běžných podmínek (normální teplota i vlhkost). Chování tohoto zařízení v reálném provozu, se nemusí zcela shodovat s těmito experimenty. Velký vliv může mít například právě zmíněná teplota, díky které mazivo mění svou viskozitu, čímž může dojít k ovlivnění samotného nástřiku. Přesto tyto experimenty dávají dostatečné informace o funkčnosti zařízení.

Úkolem prvního měření bylo ověřit, zda je zařízení schopno aplikovat dávky o hmotnosti ve stanoveném rozsahu. U jednotlivých dávek se také sledovala opakovatelnost a přesnost. Při měření se nejprve nastavila hodnota tlaku v jednotce. V tomto případě to bylo 5, 7, 8 a 10 barů. Změnou času otevření trysky se upravovala velikost dávky, která se následně zvažila na váze s přesností na setinu gramu. Pro jednotlivé parametry (tlak, čas) byly nástřiky třikrát opakovány.

V tabulce 2 jsou uvedeny střední hodnoty hmotnosti jednotlivých dávek v závislosti na čase otevření trysky při tlaku 8 barů. Také jsou zde vypočteny maximální odchylky od této střední hodnoty. Největší odchylka byla pozorována při době otevření trysky 120 ms, která činí 4,3 %. Většinou se však jednalo o odchylky mnohem nižší a to do 2 %. Během tohoto experimentu došlo k ověření, že zařízení umožňuje regulovat velikost dávek v cíleném rozsahu 0,3-3 gramy. Na obrázku 5-7 je zobrazena závislost hmotnosti dávky na čase otevření trysky. Z grafu lze vyčíst, že tato závislost má logaritmický průběh.

Tab. 2 Měření hmotnosti při tlaku 8 bar

Čas otevření trysky (ms)	Hmotnost (g)	Odchylka (%)
60	0,35	±0,0
120	0,69	±4,3
180	1,08	±1,9
320	1,61	±1,2
440	1,90	±0,5
560	2,25	±0,9
800	2,91	±1,0

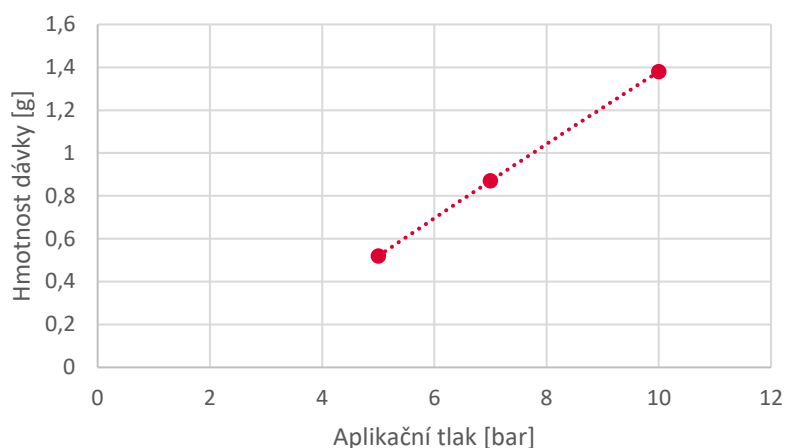


Obr. 5-7 Závislost hmotnosti dávky na čase otevření trysky

V tabulce 3 jsou uvedeny střední hodnoty hmotnosti dávek v závislosti na aplikačním tlaku. Měření probíhalo při konstantním čase otevření trysky 180 ms. Maximální odchylka byla v tomto případě do 2 %. Obrázek 5-8 zobrazuje závislost hmotnosti, která je lineární funkcí tlaku.

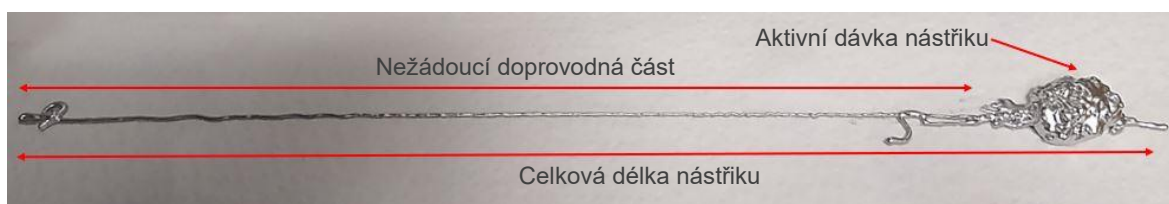
Tab. 3 Měření hmotnosti při době otevření trysky 180 ms.

Aplikační tlak (bar)	Hmotnost (g)	Odchylka (%)
5	0,52	±1,9
7	0,87	±1,1
10	1,38	±1,0



Obr. 5-8 Závislost hmotnosti dávky na velikosti aplikačního tlaku

Během dalšího experimentu byla vyhodnocena stopa nástřiku. Nástřík by měl být co nejpřesnější a v ideálním případě, by veškeré mazivo mělo být aplikováno na temeno hlavy kolejnice. Tohoto stavu je ovšem v reálných podmínkách velmi obtížné dosáhnout. Při uzavření trysky končí určitá část maziva vždy mimo zvolené místo. Na obrázku 5-9 jsou zobrazeny a popsány základní parametry, které byly při testu sledovány. Jedná se o celkovou délku nástřiku, která se skládá z nežádoucí doprovodné části a aktivní dávky. Celková délka nástřiku hraje roli pouze z toho pohledu, zda je zařízení schopno překonat vzdálenost definovanou normami průjezdového profilu [16, 17, 18]. Takle vzdálenost je závislá na podmínkách nástřiku, jako je aplikační tlak nebo samotná poloha trysky vůči temenu kolejnice. Měření ukázalo, že tento parametr není omezující. Aktivní část nástřiku je ta část, která se dostane na temeno hlavy kolejnice, a právě tento objem maziva se podílí na mazání. Vzhledem k tomu, že k uzavření trysky dochází v konečné rychlosti, vzniká malá prodleva uzavření, což vede ke vzniku nežádoucí doprovodné části. U aplikace nástřikem je snaha zajistit, aby právě tato nežádoucí stopa vymizela a většina hmotnosti tak končila v aktivní části.



Obr. 5-9 Popis stopy nástřiku

Při měření byla pevně nastavena poloha trysky vůči temenu hlavy – výška nad temenem 21 mm, úhel náklonu 4° a vodorovná vzdálenost od středu temene 117 mm. Provedly se tři nástřiky při tlaku 5, 7 a 8 bar, u kterých se měřila jak celková délka nástřiku, tak délka nežádoucí doprovodné části. Výsledky tohoto experimentu jsou uvedeny v tabulce 4. Vyšší hodnota tlaku způsobí prodloužení celkové délky nástřiku, a zároveň dochází ke zkrácení

nežádoucí doprovodné části. Lze tedy říct, že vyšší hodnota tlaku, má pozitivní vliv na samotný nástřik. Je však možné si všimnout, že s narůstajícím tlakem dochází k růstu odchylky mezi celkovou délkou nástřiku i doprovodnou stopou. Zároveň je dobré poznamenat, že se jedná o malý počet nástřiků, ze kterých nelze s jednoznačností říct, zda se nejedná pouze o anomálii. K tomuto jednoznačnému závěru je třeba provést větší množství experimentů, které musí být statisticky vyhodnoceny.

Tab. 4 Hodnoty měření stopy nástřiku.

Tlak 5 bar		Tlak 7 bar		Tlak 8 bar	
Celková délka (mm)	Doprovodná stopa (mm)	Celková délka (mm)	Doprovodná stopa (mm)	Celková délka (mm)	Doprovodná stopa (mm)
170	120	230	146	242	118
175	130	231	133	239	132
173	128	221	128	278	135

Jak je možné vidět na obrázku 5-10, samotná délka doprovodné stopy nehraje tak významnou roli, je-li objem maziva, který ji tvoří, zanedbatelný vůči aktivní části. Čím byly hodnoty aplikačního tlaku vyšší, tím menší objem maziva se nacházel v nežádoucí doprovodné části.

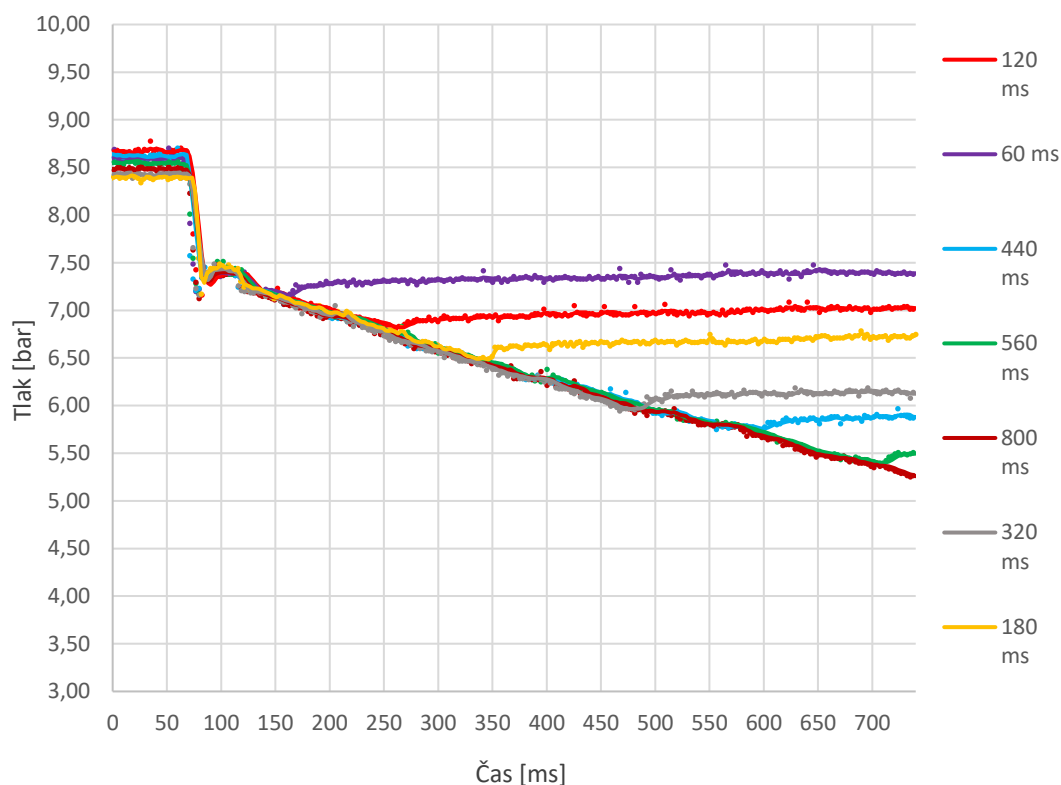


Obr. 5-10 Nástřik maziva

Při měření byl za určitých podmínek zpozorován jev, kdy docházelo k odrazu maziva od povrchu. Velikost tlaku byla 10 bar, úhel náklonu 8° a výška trysky nad temenem hlavy kolejnice 12 mm. Ačkoliv se jev projevil pouze při nástřiku na desku pokrytou papírem, nikoliv při aplikaci na reálnou kolejnici, je nutné vnímat toto riziko.

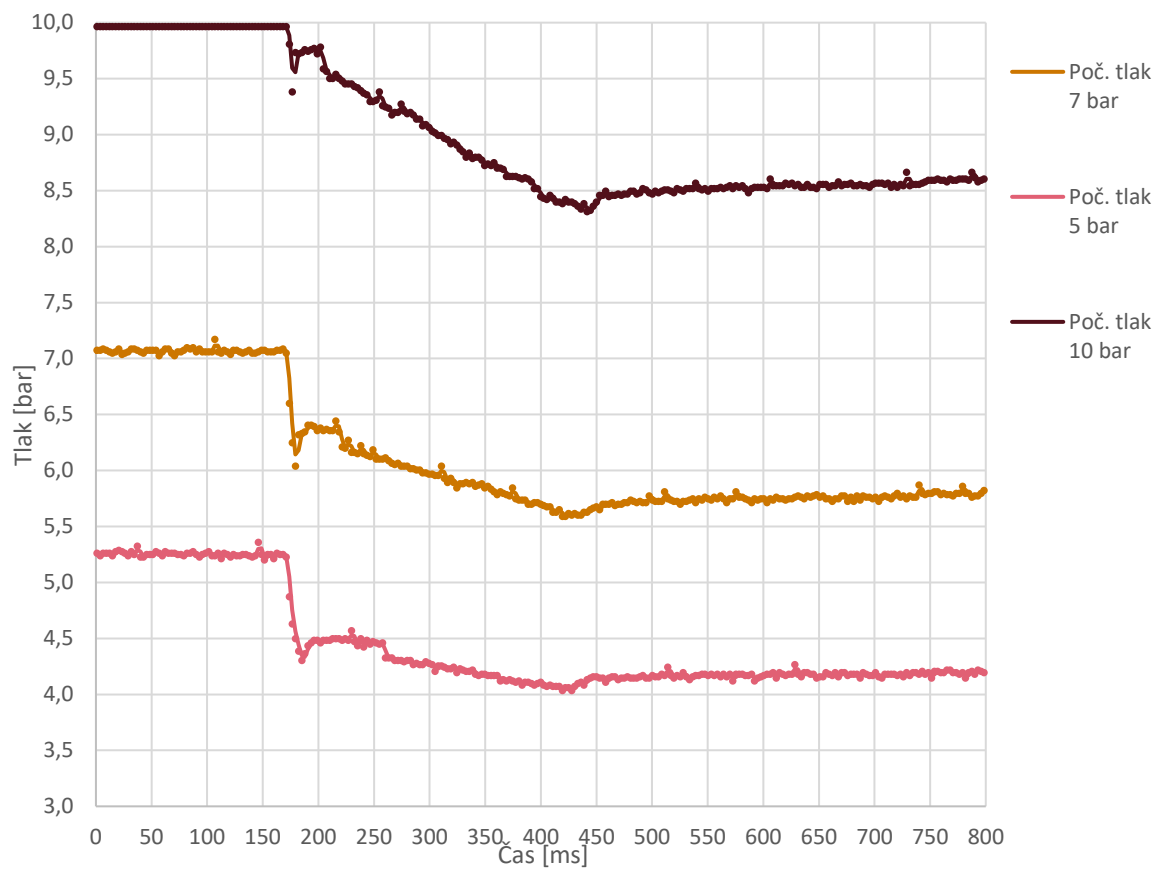
Součástí výše uvedených experimentů jsou záznamy tlaku uvnitř jednotky při jednotlivých aplikacích. Graf na obrázku 5-11 popisuje průběh tlaku při počáteční hodnotě 8 bar. Jednotlivé průběhy se liší dobou otevření trysky. Tlak začíná na hodnotě okolo 8,5 bar. Tato odchylka od 8 bar je z části způsobena nepřesností čidla (PSE570 [22]) a z části nepřesným nastavením tlaku pomocí stavěcího šroubu. Pro ověření funkčnosti to ovšem nemá vliv. Vzhledem k tomu, že pro všechny průběhy dochází k lineárnímu poklesu tlaku při stejné hodnotě (7,25 bar), není počáteční rozdíl tlaků z hlediska průběhů důležitý.

Samotná aplikace začíná v čase okolo 75 ms. Následně dochází k velmi rychlé skokové změně. Tato změna tlaku je nejspíše způsobena nedokonalým pohybem pístu a jeho skokovým posunem, případně zde může hrát roli také manžeta, která okolí pístu těsní. Poté je pokles tlaku lineární, což odpovídá lineární charakteristice pružiny. Jak moc hodnota tlaku poklesne závisí na době otevření trysky. Po uzavření trysky se tlak ustálí na konstantní hodnotě.



Obr. 5-11 Průběh tlaku při počáteční hodnotě 8 bar

Na obr. 5-12 jsou zobrazeny průběhy pro 5, 7 a 10 bar při době otevření trysky 180 ms. Podle předpokladů je možno pozorovat, že se průběhy s předchozím grafem téměř neliší. U všech průběhů dochází k lineárnímu poklesu tlaku pod jinou směrnicí, což se na první pohled může jevit jako proměnná tuhost vnitřní pružiny. Při vyšších hodnotách tlaku dochází k aplikaci větší dávky maziva, protože roste celkový průtok koncovkou. Píst se posune za stejný čas o větší vzdálenost, a proto je strmost nejvyšší při 10 barech, a naopak nejmenší při 5 barech. Kdyby se vykreslila závislost tlaku na poloze, a nikoliv tlaku na čase, směrnice klesání by byla pro všechny případy totožná. Při průběhu 10 bar můžeme také vidět rozdíl v tom, že se výrazně zmenšil skokový pokles tlaku.



Obr. 5-12 Průběh tlaku při době otevření trysky 180 ms.

6 DISKUZE

Výsledkem bakalářské práce je zařízení, které pomocí nástřiku aplikuje TOR mazivo na temeno hlavy kolejnice. V porovnání s mazací lištou [13, 14, 15] se jednotka může zdát složitější, avšak umožňuje přesnou kontrolu maziva. Zařízení lze použít u tramvajové i vlakové dopravy, na rozdíl od aplikace skrze vyvrtané otvory [9]. V případě nástřiku na kolo [8] je třeba snížit maximální rychlost na trati, zatímco navrhovaná jednotka rychlost nijak neomezuje. Zákazník má možnost libovolně měnit velikost dávek, což je u zařízení SLID [9, 10, 11] možné pouze opakovaným nástřikem. Zákazníci vyhledávají zařízení, která pracují na nejjednodušším možném principu a jejich údržba je nenáročná. Důvodem těchto požadavků je vyšší spolehlivost a obava z přemazání kolejnice. Při porovnání s aplikační jednotkou vytvořenou v rámci jedné z diplomových prací [19] lze vyzdvihnout značné zjednodušení, protože se odstranil celý pneumatický okruh.

Při výběru koncepční varianty, byl proveden velmi jednoduchý test, který měl za úkol objasnit, zda je možno použít variantu s tryskou a hydraulickým ventilem. Měření ukázalo, že i poměrně malý rozdíl objemu maziva mezi uzavíracím prvkem a výstupem z trysky, může výrazně ovlivnit charakter nástřiku. Od zmíněného konceptu bylo upuštěno, neboť tento objem maziva, by byl daleko větší než objem testovaný.

Stacionární aplikační jednotka řeší většinu problémů spojených s aplikací TOR maziv o vysoké viskozitě. Velikost dávky je možno regulovat na rozsahu od 0,3-3 gramů, což potvrdili provedené experimenty. Zařízení je navíc z tohoto hlediska velmi přesné, neboť maximální odchylka od střední hodnoty hmotnosti během jednotlivých nástřiků byla 4,3 %. Ve většině případů se však odchylka pohybovala mezi 1-2 %. Testy dále prokázaly, že nástřik je schopný překonat vzdálenost danou průjezdovým profilem, a to i při nejnižším měřeném tlaku (5 bar). Velikost dostřiku je tím větší, čím větší je aplikační tlak uvnitř jednotky. Spolu se zvyšující se hodnotou tlaku dochází také k redukci nežádoucí doprovodné stopy, a to nejen pokud jde o rozměry, ale také celkový objem. Součástí naměřených dat jsou průběhy tlaku uvnitř jednotky během aplikace, což dává lepší představu o tom, jak se tlak uvnitř jednotky mění.

Je nutné připomenout, že k samotným experimentům nebylo využito kompletní navrhované zařízení, ale jeho modifikovaná verze. Tato verze využívá pneumaticky ovládanou trysku, jejíž rychlost uzavírání se neshoduje s rychlostí elektrické trysky. Tato skutečnost nám neumožňuje otestovat, zda rychlejší uzavírání skutečně pozitivně ovlivní samotnou stopu nástřiku. Množství maziva, které nekončí na temenu hlavy kolejnice, je sice velmi malé, přesto jej nelze opomenout a je třeba toto množství snížit na minimum.

Pro další vývoj aplikační jednotky se nabízí dokoupení elektricky ovládané trysky, výroba potřebných dílů a sestavení kompletního navrhovaného zařízení. V návaznosti na sestavení zařízení by bylo vhodné opakovat výše zmíněné experimenty a realizovat je za reálných

podmínek – teplota a vlhkost. Tato měření umožní zjistit, zda elektrická tryska zvýší přesnost a efektivitu nástřiku. Experimenty za nízkých teplot pomohou objasnit vliv zvýšené viskozity na nástřik. Je možné uvažovat o zabudování vyhřívání, které v případě nižších teplot okolního prostředí ohřívá médium na předem danou teplotu, která je vyšší než v okolí. Tím dojde ke snížení viskozity a usnadnění nástřiku. Nabízí se také možnost vývoje vlastní elektrické trysky. Z pohledu zákazníka je nevhodné umístit nejdražší část jednotky do blízkosti projíždějící soupravy. Její nemalá pořizovací cena je dána vysokou provozní frekvencí, tedy počtem cyklů otevřeno/zavřeno za minutu. To ovšem není pro toto zařízení třeba. Možnou variantou je vytvořit tělo trysky s uzavírací jehlou a elektromagnetem. Také by to mohlo přinést výhodu ve zmenšení zástavbového prostoru a zvýšení konkurenceschopnosti na trhu

7 ZÁVĚR

Úvodní kapitoly této práce jsou věnovány rešeršní části. Je zde uveden základní princip interakce mezi kolem a kolejnicí. Část obsahuje popis procesům a jevům, jako je tření či hluková emise. Existují metody, jak tyto jevy potlačit, nebo úplně odstranit. Jednou z možností je využití TOR maziv ze skupiny modifikátoru tření. Použití těchto produktů sebou nese jistá omezení. Jeden z problémů TOR maziv, je nutnost kontrolovat množství produktu na kolejnici, aby nedošlo k přemazání. V současnosti existuje několik typů zařízení, které se liší konstrukčně i technologicky. Zbylá část rešerše se věnuje popisu konstrukce těchto jednotek. Shrnuje jejich výhody, nevýhody a oblast použití.

Následující část práce se zabývá koncepčními návrhy. V rámci jednoho z návrhu byl proveden jednoduchý experiment, který ověřil jeho nerealizovatelnost. Po shrnutí výhod a nevýhod se použila varianta s elektricky ovládanou tryskou. Další kapitoly se věnují konstrukčnímu řešení zvoleného návrhu. Z výzkumných důvodů je možno uvnitř jednotky regulovat tlak mezi jednotlivými aplikacemi, což znamenalo vypočítat parametry pružiny a pístu tak, aby byl dosažen rozsah tlaku 4-10 bar. Z komerčně dostupných elektricky ovládaných trysek se zvolila taková, která umožňuje aplikovat malé dávky maziva. Pro uchycení jednotky ke kolejnici došlo k nezbytným úpravám již existujícího stojanu a držáku. Z ekonomických důvodů se nakonec přistoupilo k levnějšímu testovacímu prototypu, který využívá pneumaticky ovládanou trysku. Jednotka je uchycena ke kolejnici pomocí držáku a stojanu, jenž byli vyrobeny v rámci diplomové práce [19]. Součástí je výkresová dokumentace navrhovaného zařízení i upraveného funkčního vzorku. V návaznosti se zajistila výroba testovací jednotky a pomocí experimentů, došlo k ověření funkčnosti zařízení. Při měření se sledovala přesnost nástřiku a opakovatelnost hmotnosti dávky. Tyto experimenty ukázaly, že jednotka umožňuje dávkovat mazivo v rozsahu 0,3-3 gramů. Součástí jsou také průběhy tlaku uvnitř jednotky během aplikace. Výstupem je tedy funkční prototyp, který splňuje všechny předem stanovené požadavky a cíle. Jednotka bude dále použita ve výzkumu, k testování možností nástřiku maziva.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] 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.
- [2] LEWIS, Roger a Ulf OLOFSSON. *Wheel-rail interface handbook. 1st pub.* Cambridge: Boca Raton: Woodhead ; CRC Press, 2009. ISBN 978-1-84569-412-8.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] KONSTRUKCE MEDIA, S.R.O. Uspořádání systému Top of Rail na bázi off-board jednotky. In: *Old.silnice-zeleznice.cz* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: http://old.silnice-zeleznice.cz/PublicFiles/UserFiles/image/SZ/2017/SZ217/122x122_tribo03.jpg
- [7] PIEPER, Robert G. a Justin J. DAILEY. Rail road track lubrication apparatus and method. US20200017130. 2020.
- [8] KUMAR, Sudhir. Wayside wheel lubricator. US6585085. 2003.
- [9] LINCOLN. *Managing friction successfully with SKF and Lincoln automatic wayside and on-board lubrication systems* [online]. 2014, ,20 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680338519-14824-N_tcm_12-160324.pdf#cid-160324
- [10] LINCOLN. *SLID system* [online]. 2. Dostupné z: https://s3.amazonaws.com/LincolnIndustrial/AmazonImages/Website+PDFs/products/SLID_systems.pdf

- [11] LINCOLN. SLID. In: *Skf.com* [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/industries/railways/solutions/slid#cid-482168>
- [12] KUMAR, Sudhir. Gage side or field side top-of-rail plus gage corner lubrication system. US20060163004. 2006.
- [13] HARSENT, Sean M., Ricardo X. BALE DE MATOS, Michael J. KELLY a Steven G. CLEAVER. Apparatus for applying a lubricant to the flange of a railroad wheel. PCT/US2018/013475. 2018.
- [14] APPLEBY, Glen, Matthew REDFIELD, Charles SCHNORR a Charles A. PETRIE. Top of rail resilient bar. US20180201282. 2018.
- [15] URMSON, Jr. W. Thomas, John W. MOSPAN a Frank T. LENCO. Top of rail applicator. US20080083584. 2007.
- [16] ČSN736320. *Prostorová průchodnost na dráze celostátní, dráhách regionálních a místních a vlečkách normálního rozchodu – Národní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [17] ČSN280312. *Obrysy pro kolejová vozidla s rozchodem 1435 a 1520 mm. Technické předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1977.
- [18] ČSN280318. *Průjezdne průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2015.
- [19] VALENA, Martin. *Konstrukce stacionární jednotky pro mazání hlavy kolejnice*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2019.
- [20] SICK SENSOR INTELLIGENCE. Indukční snímač IME08-1B5NSZW2S. In: *Sick.com* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-1b5nsw2s/p/p228341>
- [21] BETE FOG NOZZLE, INC. Automated systems for precision spray applications. In: *Bete.com* [online]. Greenfield, 2019 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.bete.com/PDFs/BETE-FlexFlow-Precision-Spray-Control-Systems.pdf>
- [22] SMC-CORPORATION. Installation & Maintenance Manual Pressure Sensor for General Fluids PSE570/PSE573/PSE574. Vitoria (Alava): SMC Corporation. 2017

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Seznam zkratk

TOR	Top of Rail
LCF	Low Coefficient of Friction
HPF	High Positive Friction
VHPF	Very High Positive Friction
TOR-MT	Top of Rail – Modifikátor Tření
SLID	Single Line Injection Device

9.2 Seznam symbolů a veličin

Veličina	Jednotka	Název veličiny
c	$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$	Tuhost pružiny
d_p	mm	Průměr pístu stlačující mazivo
f	-	Koeficient tření
F_{pmax}	N	Maximální síla pružiny
F_{pmin}	N	Minimální síla pružiny
F_T	N	Trakční síla
h_1	mm	Posun pístu při velikosti dávky 1 g
m_{03}	g	Hmotnost 3 gramové dávky maziva
m_1	g	Hmotnost 1 gramové dávky maziva
N	N	Normálová síla
p_{max}	bar	Maximální tlak v jednotce
p_{min}	bar	Minimální tlak v jednotce
Q_t	$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$	Průtok koncovkou trysky
S	mm^2	Plocha pístu stlačující mazivo
t_{03}	ms	Minimální čas otevření trysky při aplikaci 3 gramové dávky

V_{03}	l	Objem maziva 3 gramové dávky
Δp	bar·mm ⁻¹	Změna tlaku při posunutí pístu o 1 mm
Δp_1	bar	Změna tlaku při aplikaci 1 gramové dávky
μ	-	Součinitel adheze
ρ_m	g·mm ⁻³	Hustota maziva

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1	Trakční křivka [3]	16
Obr. 2-2	Trakční křivka s negativní a pozitivní charakteristikou [4]	17
Obr. 2-3	Základní schéma stacionárního zařízení k aplikaci modifikátorů [6]	20
Obr. 2-4	Blokové schéma aplikátoru maziva na pojížděnou hranu pomocí trysky [7]	21
Obr. 2-5	Schéma aplikační části jednotky aplikující mazivo na pojížděnou hranu pomocí trysky [7]	21
Obr. 2-6	Schéma aplikátoru na okolek a běhoun kola pomocí trysky [8]	22
Obr. 2-7	SLID od firmy SKF Group [11]	23
Obr. 2-8	Aplikační člen pro nástřik na temeno i pojížděnou hranu pomocí trysky [12]	24
Obr. 2-9	Schéma aplikační lišty k mazání okolku kola [13]	25
Obr. 2-10	Detail mazací lišty [13]	25
Obr. 2-11	Poddajná mazací lišta [14]	26
Obr. 2-12	Aplikační lišta k mazání temene hlavy kolejnice [15]	27
Obr. 2-13	Kolejnice tramvajové trati s navrtanými otvory [9]	28
Obr. 2-14	Průjezdový průřez dle ČSN 73 6320 [16]	28
Obr. 2-15	Vztažný obrys statického obrysu pro hnací vozidla dle ČSN 28 0312 [17]	29
Obr. 2-16	Obrys vozidla DPMB [18]	29
Obr. 2-17	Schéma pozic nástřiku [19]	30
Obr. 4-1	Koncepční schéma s elektricky ovládanou tryskou	34
Obr. 4-2	Koncepční schéma s tryskou a hydraulickým ventilem	35
Obr. 4-3	Stopa nástřiku a) velký vnitřní objem b) malý vnitřní objem	36
Obr. 4-4	Okap na koncovce s větším vnitřním objemem	36
Obr. 5-1	Aplikační jednotka	37
Obr. 5-2	Popis jádra aplikační jednotky	38
Obr. 5-3	Ustanovení tlaku a počáteční polohy pístu v jádru aplikační jednotky	41
Obr. 5-4	Konstrukce stojanu s držákem k upevnění zařízení ke kolejnici	43
Obr. 5-5	Model testovacího prototypu aplikační jednotky	44
Obr. 5-6	Skutečný testovací prototyp aplikační jednotky	44
Obr. 5-7	Závislost hmotnosti dávky na čase otevření trysky	46

Obr. 5-8	Závislost hmotnosti dávky na velikosti aplikačního tlaku	47
Obr. 5-9	Popis stopy nástřiku	47
Obr. 5-10	Nástřik maziva	48
Obr. 5-11	Průběh tlaku při počátečním hodnotě 8 bar	49
Obr. 5-12	Průběh tlaku při otevření trysky 180 ms	50

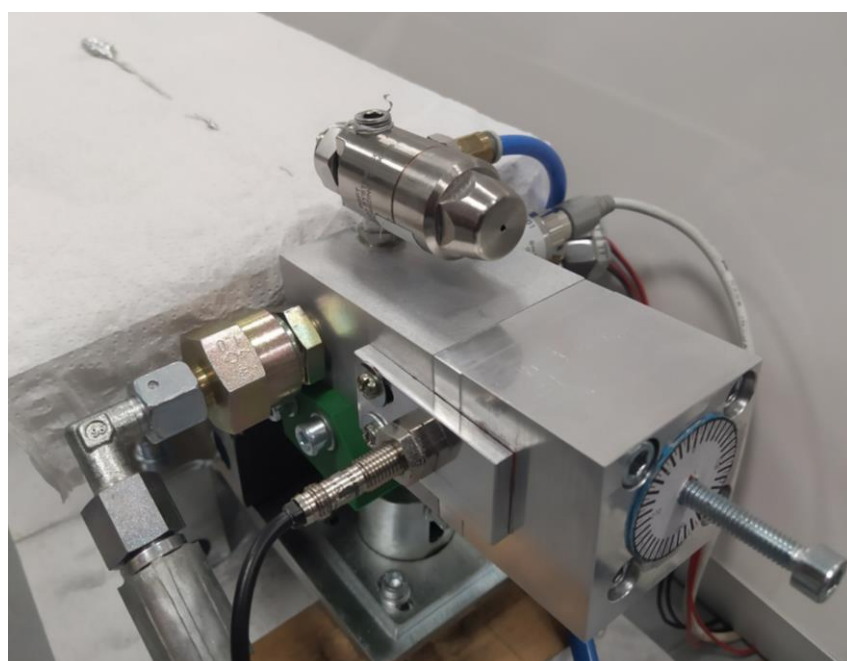
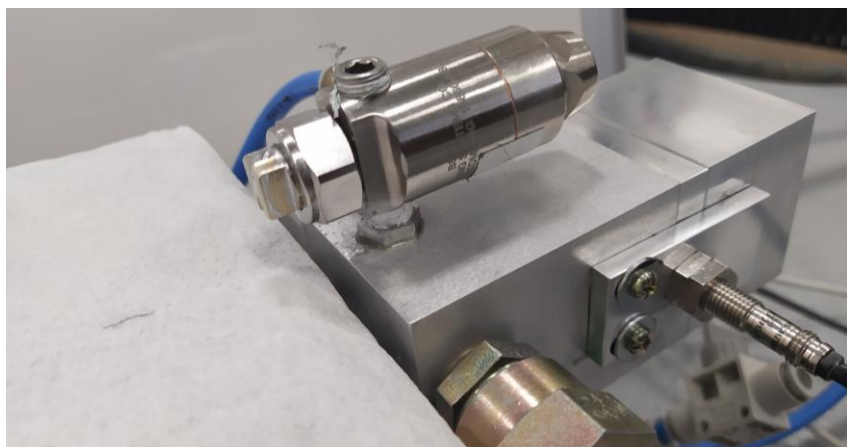
11 SEZNAM TABULEK

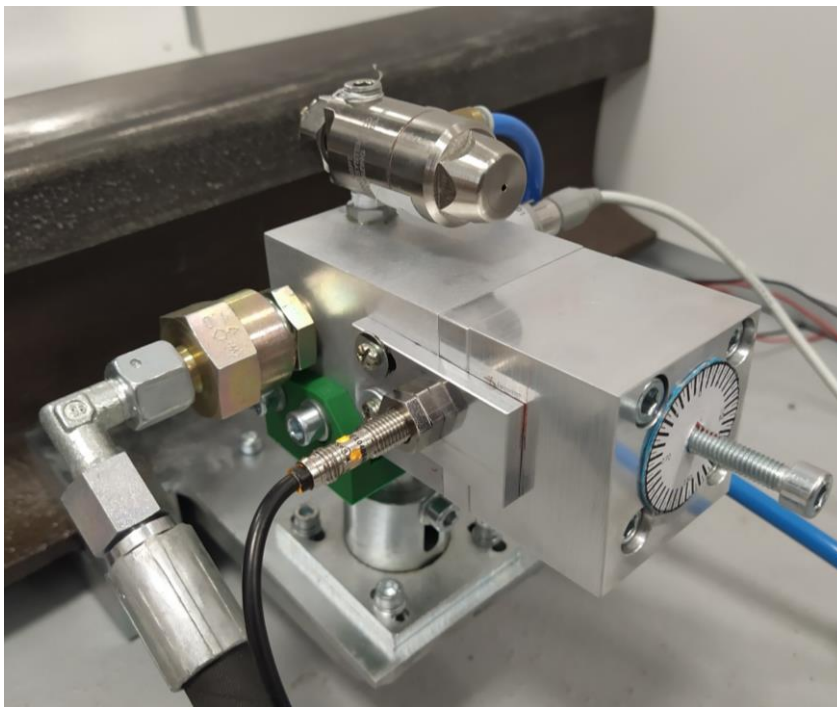
Tab. 1	Základní parametry trysky [21]	42
Tab. 2	Měření hmotnosti při tlaku 8 bar	46
Tab. 3	Měření hmotnosti při době otevření trysky 180 ms	46
Tab. 4	Hodnoty měření stopy nástřiku	48

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Fotografie prototypu
Příloha 2	Seznam výkresové dokumentace
Příloha 3	Funkční prototyp

Příloha 1 – fotografie prototypu





Příloha 2 – seznam výkresové dokumentace

Číslo výkresu	Název součásti
4-BP-01-01	Pístnice k reg. tlaku
4-BP-01-02	Pístnice k reg. tlaku
4-BP-01-03	Pístnice střed
2-BP-01-04	Pístnice přední část
4-BP-01-05	Píst stlač. mazivo
4-BP-01-06	Posuvník čidla
4-BP-01-07	Píst stlač. mazivo plný
4-BP-01-08	Prvek ustanov. čidlo
3-BP-02-01	Držák vidlice pneu.
3-BP-02-02	Držák vidlice
4-BP-03-01	Příčka
4-BP-03-02	Základna dolní
4-BP-03-03	Základna horní
4-DP-A-02-01	Stojna - vnitřek
4-DP-A-00-01	Úpinka 49E1
4-DP-A-00-02	J-hák M14
4-DP-A-03-01	Stojna - trubka
4-DP-A-03-02	Stojna - deska
4-DP-A-04-01	Držák - horní deska
4-DP-A-04-02	Držák – příčka

Číslo výkresu	Název sestavy
3-BP-01-00	Jádro AP
3-BP-03-00	Držák
2-BP-00-02	AP
2-BP-00-04	AP pneu.
3-BP-00-01	Celková AP
3-BP-00-03	Celková AP pneu.
3-DP-A-03-00	Stojna - venek
3-DP-A-04-00	Držák
