



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

VÝVOJ PÍSKOVACÍCH JEDNOTEK PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA

DEVELOPEMENT OF RAILROAD SANDING EQUIPMENT

ÚPLNÁ VERZE

FULL VERSION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN MATEČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN OMASTA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Matečka

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

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

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

Vývoj pískovacích jednotek pro kolejová vozidla

v anglickém jazyce:

Development of railroad sanding equipment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je vývoj dávkovačů písku s proporčním dávkováním a konstrukce pískovacích zařízení a jejich zástavba do typového kolejového vozidla. Vývoj dávkovačů bude založen na koncepčním návrhu a experimentálním testování prototypů. S využitím vyvinutých dávkovačů budou na základě možností zástavby zkonstruovány dvě varianty pískovacího systému.

Cíle diplomové práce:

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

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Koncepční řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Výstup práce: funkční vzorek; Projekt: TAČR

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

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.z

Seznam odborné literatury:

- 1) SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; DVOŘÁČEK, J.; PROKEŠ, F.
Základy konstruování, pp.1-234, ISBN 978-80-7204-750-5, (2011), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno
- 2) SHIGLEY, J. E., Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí.
Překlad 7. Vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Omasta, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vývojem nových pískovacích jednotek pro daný typ kolejového vozidla. Pískování v kolejové dopravě je aplikace nejčastěji křemičitého písku do kontaktu kola a kolejniče. Díky své spolehlivosti se jedná o stále nejpoužívanější způsob odstraňování kontaminantů a zvyšování adheze ve zmíněném kontaktu. Pískovací zařízení byla vyvíjena ve spolupráci s firmou, která se zabývá výrobou zařízení pro kolejovou dopravu. Nejdůležitější částí pískovacího zařízení je dávkovač písku. Dávkovače byly vyvíjeny experimentálně na zkušební pískovacích zařízeních zadavatelské společnosti. Byly testovány jak pro podmínky využití na lokomotivě vlaku, tak pro podmínky tramvají a lehkých kolejových vozidel. Dále byly navrženy zásobníky písku pro konkrétní typ kolejového vozidla a nový typ výsypné trubice, která usměrňuje písek přesně do kontaktu kola a kolejniče.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pískovací zařízení, pískovač, písečník, pískování, kolejové vozidlo, tramvaj, kolejová doprava, dávkovač písku

ABSTRACT

This master's thesis is engaged in development of new sanding units for a specific type of rail vehicle. Sanding in rail transport is application of most commonly silica sand into wheel-rail contact. Thanks to its reliability it is still the most widely used method for removing contaminants and improving adhesion in that contact. Sanding devices were developed in cooperation with corporation, which deals with production of rail transport equipment, among other things. The most important part of sanding device is sand dispenser. Dispensers were experimentally developed at the test station in the cooperating corporation. Dispensers were tested for utilization conditions on the locomotive of the train and conditions for trams and light rail vehicles. Furthermore, sand boxes have been designed for specific type of rail vehicle and new type of sand discharge tube, which directs sand directly into wheel-rail contact was designed too.

KEYWORDS

Sanding device, sandblast, sander, sanding, rail vehicle, tram, rail transport, sand dispenser

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATEČKA, M. *Vývoj pískovacích jednotek pro kolejová vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Omasta, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Vývoj pískovacích jednotek pro kolejová vozidla* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Milana Omasty, Ph.D. s přihlédnutím k radám specialistů ze společnosti Tribotec a uvedl v seznamu zdrojů všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně 22. května 2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Milanu Omastovi, Ph.D. za vedení, cenné rady a připomínky, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Také bych rád poděkoval Ing. Michalu Vašíčkovi, MBA, a ostatním zaměstnancům společnosti Tribotec, za jejich trpělivost a ochotu při konzultacích v průběhu práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	14
1.1 Základní pojmy	14
1.1.1 Pískování	14
1.1.2 Adheze	14
1.2 Vliv pískování na součinitel adheze	15
1.3 Konstrukce pískovacích zařízení	16
1.3.1 Umístění pískovacích zařízení na kolejových vozidlech.....	17
1.4 Obecné zásady pro konstrukci a časté chyby konstrukcí pískovacích zařízení.....	19
1.5 Přehled komerčně dostupných pískovacích zařízení	24
1.5.1 TriboTec	24
1.5.2 Knorr - Bremse	25
1.5.3 DeltaRail.....	27
1.5.4 IBEG.....	28
1.5.5 MBM Industry & RailTech	30
1.5.6 ZIV	31
1.6 Tryskací zařízení.....	31
1.7 Zařízení pro dopravu sypkých hmot	32
1.8 Návrh experimentu – základní pojmy.....	33
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	34
2.1 Analýza problému a motivace k řešení	34
2.2 Primární cíl práce.....	34
2.3 Sekundární cíle práce.....	34
2.4 Hlavní etapy řešení	34
3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	36
3.1 Dávkovač - varianta 1	36
3.1.1 Popis varianty 1	36
3.1.2 Zhodnocení varianty 1	36
3.2 Dávkovač - varianta 2	37
3.2.1 Popis varianty 2	37
3.2.2 Zhodnocení varianty 2	38
3.3 Dávkovač - varianta 3	38
3.3.1 Popis varianty 3	38
3.3.2 Zhodnocení varianty 3	39
3.4 Návrhy zásobníků	39
3.4.1 Zásobník z nýtovaného plechu	40
3.4.2 Zásobník ze svařovaného plechu.....	40
3.4.3 Zásobník z kompozice plechu a polymerních desek	40
3.4.4 Zásobník ze svařovaných polymerních desek	40
3.4.5 Zásobník z kompozitních materiálů	41
3.5 Návrhy výsypné trubice	41
3.5.1 Výsypná trubice - varianta 1.....	41
3.5.2 Výsypná trubice - varianta 2.....	41
3.5.3 Výsypná trubice - varianta 3.....	42
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	43
4.1 Výběr vhodných variant.....	43

4.2	Návrhový výpočet dávkovače	43
4.3	Testovací prototypy.....	44
4.3.1	Popis konstrukce dávkovače PZ01	44
4.3.2	Popis konstrukce dávkovače PZ02	45
4.4	Podmínky měření	46
4.4.1	Zdroj tlakového vzduchu	47
4.5	Plán experimentů.....	50
4.6	Testování dávkovače PZ01	51
4.6.1	Zdroj tlakového vzduchu – centrální rozvod (PZ01).....	51
4.6.2	Zdroj tlakového vzduchu – dmychadlo Tribotec (PZ01).....	53
4.6.3	Zhodnocení měření na zařízení PZ01	56
4.6.4	Návrh a ověření funkčnosti konstrukčních úprav dávkovače PZ01	56
4.7	Testování dávkovače PZ02	60
4.7.1	Zdroj tlakového vzduchu – centrální rozvod (PZ02).....	61
4.7.2	Zdroj tlakového vzduchu – dmychadlo Tribotec (PZ02).....	62
4.7.3	Zhodnocení měření na zařízení PZ02	64
4.7.4	Návrh a ověření funkčnosti konstrukčních úprav dávkovače PZ02	65
4.8	Ověření schopnosti proporcionality dávkovačů.....	66
4.9	Úprava dávkovačů pro sériovou výrobu	67
4.10	Zásobníky	70
4.10.1	Zásobník PZ01	71
4.10.2	Zásobník PZ02	72
4.11	Testování výsypných trubíc.....	72
4.11.1	Testování výsypné trubice - varianta 1	73
4.11.2	Testování výsypné trubice – varianta 2	73
4.11.3	Testování výsypné trubice – varianta 3	74
4.12	Elektrické zapojení pískovacího zařízení	74
4.13	Kompletní pískovací zařízení	75
5	DISKUZE	77
5.1	Zhodnocení dávkovačů	77
5.2	Sekundární cíle práce	78
6	ZÁVĚR	80
7	BIBLIOGRAFIE.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Kolejová doprava je i v dnešní době neustále se rozvíjejícím odvětvím. Přestože její historie sahá až do počátku 19. století, patří mezi nejmodernější způsoby dopravy. Její výhody spočívají hlavně ve velké přepravní kapacitě a zároveň ve vysoké bezpečnosti a spolehlivosti. Kolejová doprava je využívána jednak k přepravě osob, jako hromadná doprava, ale také jako doprava nákladní. Můžeme hovořit o několika typech kolejové dopravy, jako je například železniční doprava nebo některé typy městské dráhy zastoupeny tramvajemi a podzemní dráhou. V naprosté většině případů je charakteristickým prvkem kolejové dopravy ocelové dvojkolí přenášející trakční sílu na dvojici kolejnic, po kterých se vozidlo pohybuje. A právě zde může docházet k potížím s přenosem trakčních sil, vlivem malé kontaktní oblasti a je nutné nějakým způsobem zvyšovat adhezi právě ve zmíněné kontaktní oblasti. Za tímto účelem se již od samotných počátků kolejové dopravy využívá aplikování písku mezi kolo a kolejnici neboli pískování (s výjimkou podzemní dráhy).

Pískování, již po celou historii železnice, plní nezastupitelnou roli při získávání vyššího součinitele adheze ve špatných okolních podmínkách. Tato metoda je velmi jednoduchá a spolehlivá. Dnešním trendem však je tento proces zefektivnit, využít různých přesně stanovených dávek písku postačujících pro danou situaci. Důsledkem toho pak je snížení spotřeby písku, snížení prašnosti ve městech a také eliminování opotřebení kol a kolejnic. Toto tzv. proporcionální pískování se dá aplikovat na téměř všechna vozidla, která jsou již opatřena pískovacím zařízením, např. za použití řídicí jednotky a dalšího příslušenství. Problém však může nastat u některých starších typů dávkovačů písku, u kterých nelze přesně řídit dávku písku. Proto je nutné vyvinout nové dávkovače, schopné plynule měnit dodávané množství písku.

1 PŘEDHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Základní pojmy

1.1.1 Pískování

Pískování je proces, při kterém je aplikován písek do kontaktu kolejnice a kola drážního vozidla za účelem zvýšení adheze v tomto kontaktu. Je používáno hlavně za nepříznivých klimatických podmínek, jako je vlhkost, déšť, znečištění povrchu kolejnic apod. U tramvajových vozidel je velký problém prach, který je všudypřítomný ve městské dopravě a také solení vozovek v zimním období. Naopak u souprav pohybujících se v uzavřených klimatických podmínkách (např. metro) není pískování potřeba, spíše by způsobovalo problémy s prašností v tunelech. Pískování se využívá zejména při akceleraci nebo při prudkém brzdění, aby nedošlo k prokluzu kol. Což by vedlo k nadměrnému opotřebení dotýkajících se součástí a ke ztrátě výkonu vozidla.

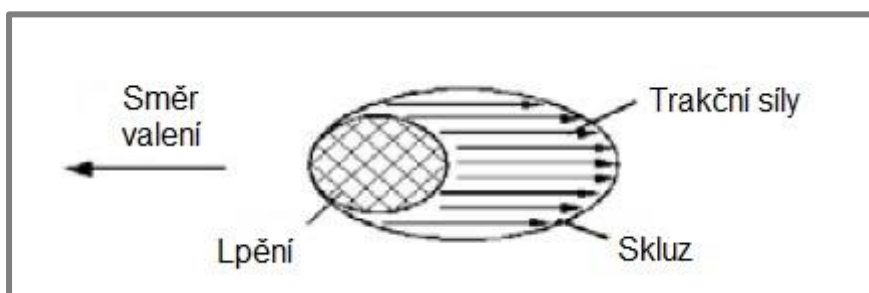
V Evropě se pro pískování obecně využívá křemičitý písek s obsahem SiO_2 více než 95%. Zrnitost písku se pohybuje mezi 0,3 a 1,6 mm, doporučená je však 1,2 až 1,6 mm, přičemž vlhkost písku by neměla přesáhnout 8%. U pískování je určující jednotkou *hmotnostní průtok písku*, který se udává v g/30 s (někdy též v g/min nebo kg/min). Jednotka hmotnostního průtoku písku plyne z normy, která říká, že měření průtoku musí trvat nejméně 30 s. Maximální dovolené množství písku, které může jedno zařízení dodávat pro rychlost nižší než 140 km/h je 400 g + 100 g za 30 sekund a pro rychlost nad 140 km/h je 650 g + 150 g za 30 s. Pískovací jednotka bývá připevněna k vozům jedoucím v čele železniční soupravy. Množství sypaného písku je v dnešní době většinou ovládáno pneumaticky, a to buď z centrálního vzduchového systému, nebo z vlastního zdroje tlakového vzduchu, který je součástí pískovací jednotky. Ovládání pískovacího zařízení musí být možné jak automaticky, tak ručně řidičem. Řidič musí mít možnost kdykoli spustit pískování, když vyhodnotí situaci jako kritickou. Na druhou stranu se musí pískování vyhnout kdykoli je to možné v prostoru výhybek, křížení nebo při brzdění v rychlosti nižší než 20 km/h. Výjimkou je však zkouška zařízení nebo vážná událost. [1], [2], [3]

1.1.2 Adheze

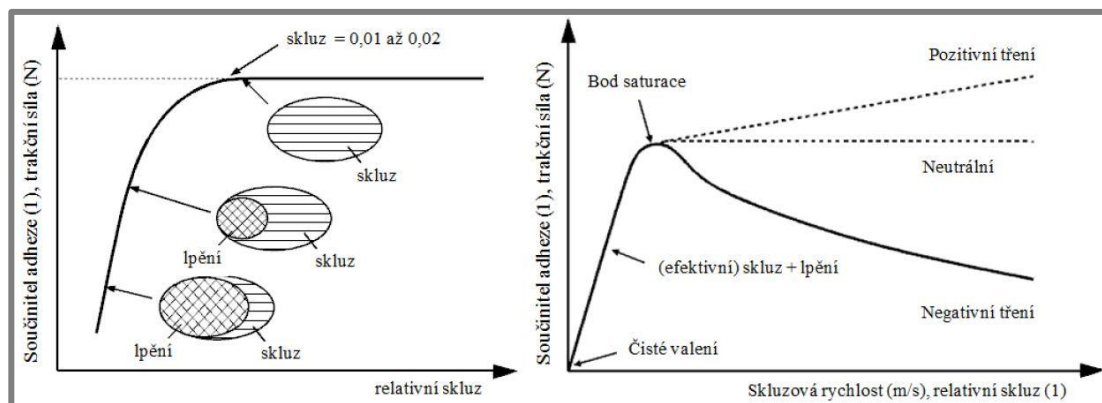
Adheze v kolejové dopravě bývá definována jako schopnost přenášet trakční sílu mezi kolem a kolejnicí. Velikost adheze je vyjadřována pomocí součinitele adheze (někdy též trakční koeficient), který je definován jako podíl tečné a normálové síly působících v kontaktu kola a kolejnice.

Kontaktní oblast hlavy kolejnice a běhounu kola je uvažována jako eliptická s hlavní poloosou ve směru jízdy vozidla. Velikost této oblasti se stanovuje, buď pomocí Hertzovi teorie, nebo pomocí numerických výpočtů. Bývá tvořena dvěma oblastmi, a to oblastí lpění a oblastí skluzu. V oblasti lpění se po sobě povrchy čistě jen odvalují, kdežto v oblasti skluzu se navíc vůči sobě i posouvají a přenáší se zde trakční síly.

Hodnota součinitele adheze je vysoce závislá na okolních podmínkách a provozních parametrech za suchých podmínek se běžně pohybuje okolo 0,3. Průběh adheze bývá popisován trakční křivkou, což je závislost součinitele adheze (trakční síly v N) na skluzu (skluzové rychlosti v m/s). Trakční křivka máv rostoucí průběh, kdy s narůstajícím skluzem roste součinitel adheze až do bodu saturace. Od tohoto bodu nastává tzv. neefektivní část trakční křivky a úplně zaniká oblast lpění na kontaktní plošce. Nastává tak pouze tření a prokluz kola. [4]



Obr. 1-1 Kontaktní oblast kola a kolejnice [4]



Obr. 1-2 Trakční křivka [4]

1.2 Vliv pískování na součinitel adheze

1.2

Testování a simulování různých podmínek působících na kontaktní oblast kola a kolejnice se většinou provádí na dvoudiskovém zařízení. Toto zařízení (v literatuře někdy nazývané Twin-disk) se skládá ze dvou rotujících disků, z nichž jeden představuje kolo vozidla a druhý kolejnici. Každý ze dvou disků má vlastní pohon a je tak možné simulovat různé hodnoty relativního skluzu. Za průběhu simulace různých podmínek se pak snímá trakční síla, z čehož lze určit součinitel adheze. [5]

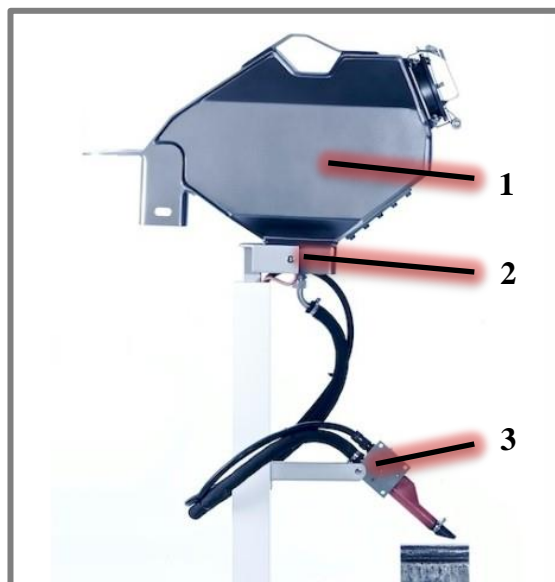
V experimentech provedených na tomto zařízení se ukázalo, že příliš velká zrnitost písku značně opotřebovává kola a kolejnice a naopak příliš nízká zrnitost nedostatečně odstraňuje kontaminanty z kontaktu kola a kolejnice. Ideální je tedy střední velikost částic písku, která nejrychleji odstraňuje vrstvu kontaminantů, dostatečně zvyšuje součinitel adheze a zároveň je šetrná k dotýkajícím se povrchům. Hodnota této zrnitosti se pohybuje mezi 0,8 a 1,6 mm. [6]

Bylo také dokázáno, že při použití pískování za sucha všechny velikosti písku výrazně snižují součinitel adheze. Je to způsobeno tím, že mezi tvrdými částicemi

písku je nízký součinitel tření a je-li částic v kontaktu nadměrné množství, pak to vede ke snížení adheze v celém kontaktu. Velký problém také nastává při elektrickém odizolování soupravy od kolejnic, kdy menší částice písku dodávané ve větším množství izolují více než větší částice. Což může způsobovat výrazné problémy při detekci soupravy na trati. V případě pískování za vlhka je však situace jiná a pískování zvyšuje součinitel adheze. [7]

1.3 Konstrukce pískovacích zařízení

Pískovací zařízení se skládá z několika hlavních částí, jako je zásobník písku (1 na Obr. 1-3), dávkovač (2 na Obr. 1-3), hadice a výsypná trubice (3 na Obr. 1-3) přivádějící písek do kontaktu kola a kolejnice. Zásobníky písku bývají svařené z plechu a umístěné v blízkosti podvozku vlaku, nesmí však přesahovat obrys vozidla. Zpravidla jsou opatřeny otvorem s uzávěrem v horní části pro doplňování a kontrolu písku. Konkrétně pro tramvaje norma předepisuje, že zásobník musí pojmut písek o objemu nejméně 17 dm³ a musí být vytápěn. Ze spodní strany zásobníku je většinou připevněno dávkovací zařízení, ke kterému je přiveden tlakový vzduch sloužící k unášení písku do požadované oblasti. Vzduch s pískem následně proudí hadicí až k výsypné trubici, která by měla písek navést co nejpřesněji do kontaktu kola a kolejnice. Častým problémem pískovacích zařízení je, že se písek vlivem jízdy a nesprávné vlhkosti ztuhne ve spodní oblasti zásobníku a není pak již nasáván. Proto musí být písek v zásobníku preventivně profukován proudem vzduchu. Také výsypná hubice může být zacpána nečistotami nebo v zimním období může zamrznat, proto bývá často také vytápěná. Vzdálenost mezi výsypnou trubicí a temenem kolejnice u tramvají nesmí být menší než 60 mm. [1], [8]



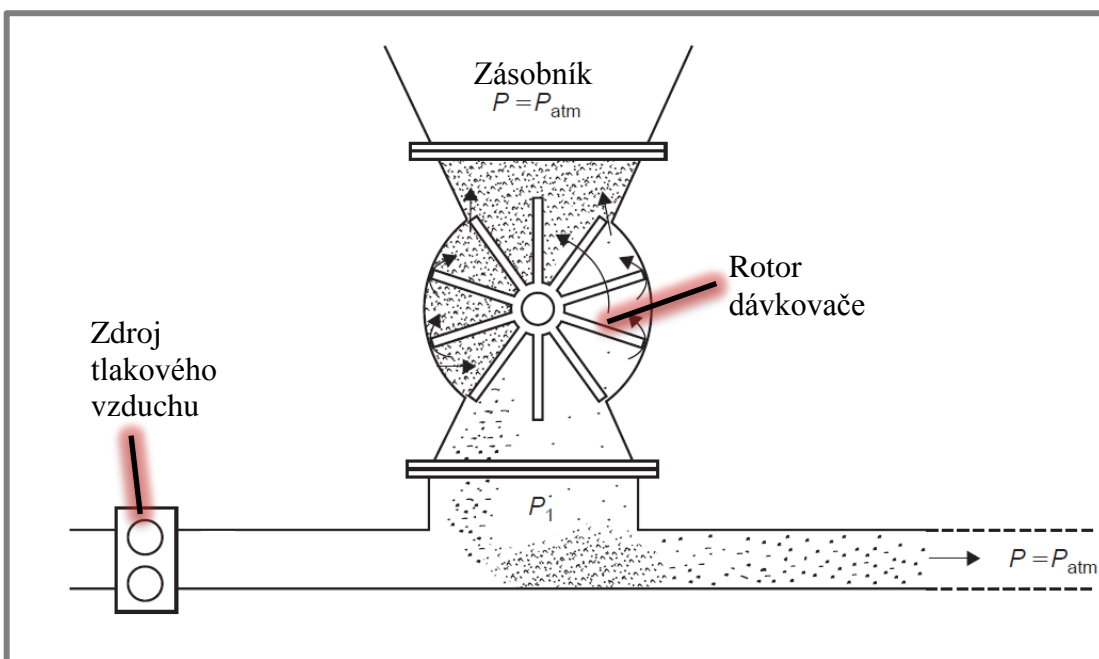
Obr. 1-3 Pískovací zařízení společnosti Knorr-Bremse [13]

V dnešní době se téměř výhradně využívá koncepce, kdy je dávkovací zařízení přímo pod zásobníkem písku a je sem přiváděn tlakový vzduch.

Pískovací zařízení lze rozdělit dle typu energie pohánějící částice písku na:

- Mechanické
- Pneumo-mechanické
- Pneumatické
 - Přetlakové
 - Podtlakové

Dnes se mechanické pískovací systémy v kolejové dopravě prakticky nevyužívají. Kombinace pneumatických a mechanických (pneumo-mechanické systémy) se využívá v kolejové dopravě zřídka. Příklad pneumo-mechanického systému je na Obr. 1-4. Konceptně mají mechanické a pneumo-mechanické dávkovače určitý mechanický prvek, který dávkuje písek poměrně přesně a spolehlivě (šipky naznačené v rotoru na Obr. 1-4 znázorňují průchod vzduchu do zásobníku). Nevýhodou těchto systémů však je, že jsou složitější vlivem více součástí a také dochází k značnému opotřebením právě pohyblivých mechanických částí. Běžněji se využívají u dopravníkových systémů pro dopravu sypkých hmot. V současnosti jsou nejvíce využívanými čistě pneumatická pískovací zařízení, a to protože u nich odpadá potřeba mechanických, pohybujících se částí, které se mohou v kontaktu s pískem opotřebovat, zasekávat nebo jinak porouchat. Dnešním trendem pak jsou pneumatická podtlaková zařízení pracující na principu Venturiho trubice. Také se využívají mj. u dopravníků sypkých hmot. [1], [9]



Obr. 1-4 Příklad pneumo-mechanického systému [9]

1.3.1 Umístění pískovacích zařízení na kolejových vozidlech

1.3.1

Pískovací zařízení bývají umístěna nejčastěji v podvozkové části kolejového vozidla, v blízkosti kol. Je to z toho důvodu, aby se minimalizovala vzdálenost, po které se musí písek přepravovat. U lokomotiv a vozů železniční dopravy bývají nejčastěji zásobníky pískovacího zařízení umístěny vně vozu se snadným přístupem

k doplňovacímu otvoru (Obr. 1-5). Zásobníky u lokomotiv bývají robustnější než např. u tramvajových vozů, protože jsou více namáhány klimatickými podmínkami.



Obr. 1-5 Pískovací zařízení na lokomotivě [28]

U lehčích vozů kolejové dopravy, jako jsou tramvaje a městské vlaky bývají pískovací zařízení skryta pod krytovaním vozu. U těchto vozů se více dbá na vzhled a design proto je z celého pískovacího zařízení vidět pouze výsypná trubice a i ta bývá mnohdy designovým prvkem. Pískovací zařízení u tramvají bývají umístěna nejčastěji pod sedačkami cestujících (Obr. 1-6) nebo v bočních sloupcích vozidla. To znamená, že na ně působí klimatické podmínky stejné, jako jsou v interiéru vozu. Zařízení bývají plněna buď uvnitř anebo z vnějšku vozidla přes plnicí klapku. Avšak i u tohoto typu vozů mohou být zařízení umístěna v podvozkové části, ale jak bylo zmíněno výše, vše je pečlivě schováno pod krytovaním vozu. Zásobníky písku pod sedačkami cestujících bývají většinou dvoudílné, kdy jednu část tvoří samotný zásobník na písek a druhou část tvoří okolní plášť, který kryje celé zařízení a zároveň nese sedačku cestujícího. [10]



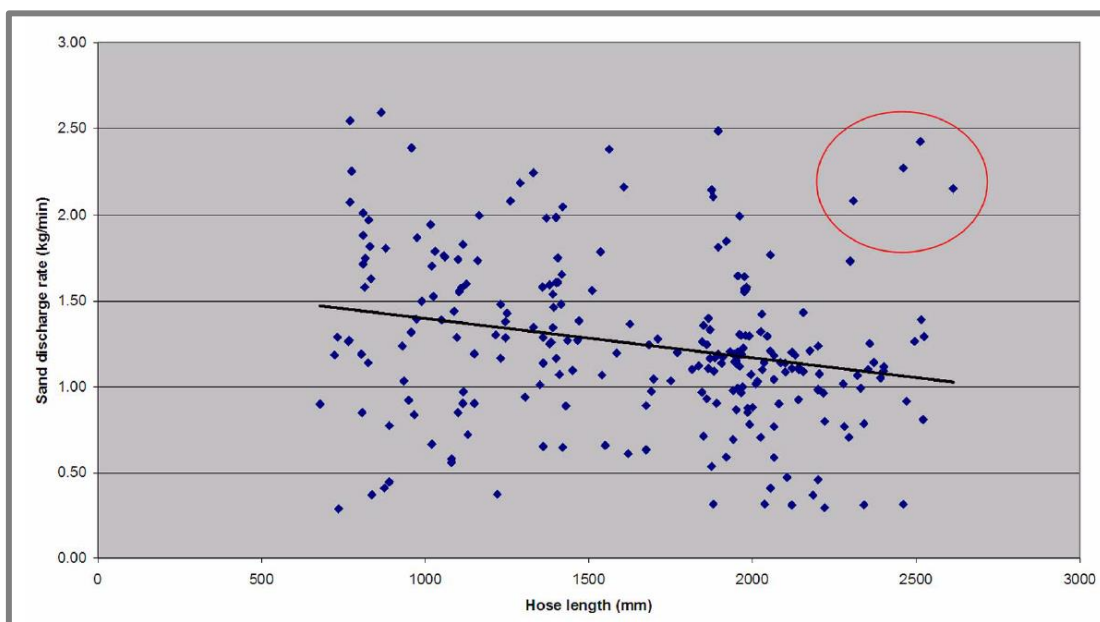
Obr. 1-6 Písečník umístěný pod sedačkou pro cestující [27]

1.4 Obecné zásady pro konstrukci a časté chyby konstrukcí pískovacích zařízení

Ze zprávy [11], která byla závěrem výzkumu různých pískovacích jednotek a různých vozidel ve Velké Británii a byla zaměřena mj. na parametry ovlivňující výkony pískovacích jednotek, byly stanoveny následující výsledky. Nutno podotknout, že vyšší hmotnostní průtok písku nemusí znamenat výhodu. Naopak právě není příliš žádoucí, aby tato hodnota příliš přesahovala $2000 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$.

Délka hadice

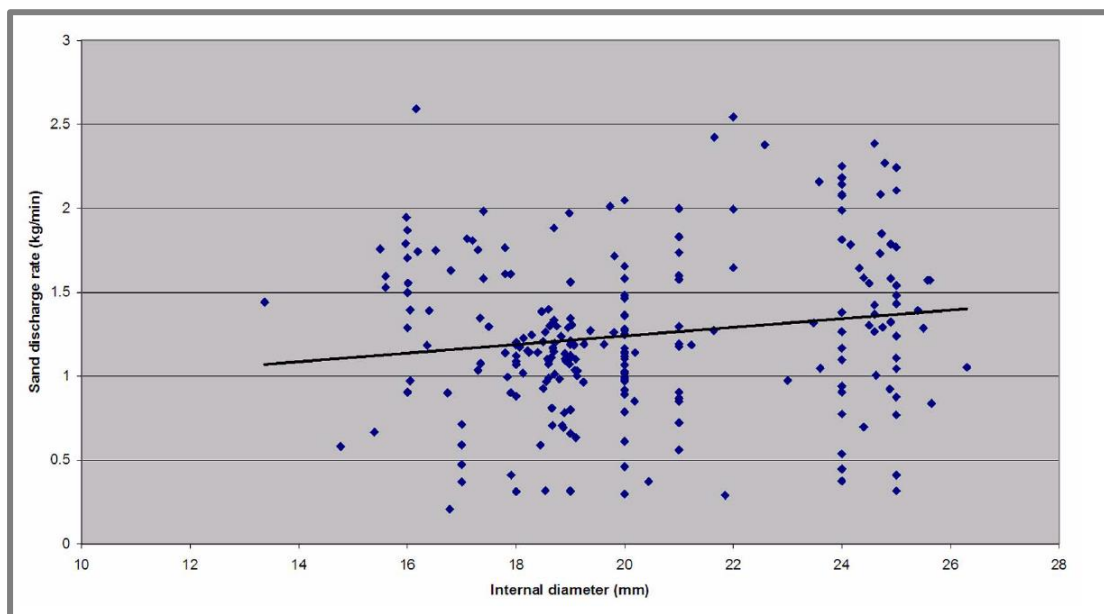
Byl testován hmotnostní průtok písku v závislosti na délce hadice od dávkovače k místu aplikace písku. Testované délky byly od 750 mm do 2500 mm. Bylo prokázáno, že čím kratší hadice, tím je hmotnostní průtok písku větší. Nedá se to však říci jednoznačně, protože některé pískovací jednotky dosahovaly vysokých hodnot průtoku písku i při velkých délkách hadice. Naopak tomu jiné pískovací jednotky prokazovaly značný progres průtoku písku při úplném odstranění hadice (až o 212%) [11]



Obr. 1-7 Vliv délky hadice na hmotnostní průtok písku [11]

Průměr hadice (výsypané trubice)

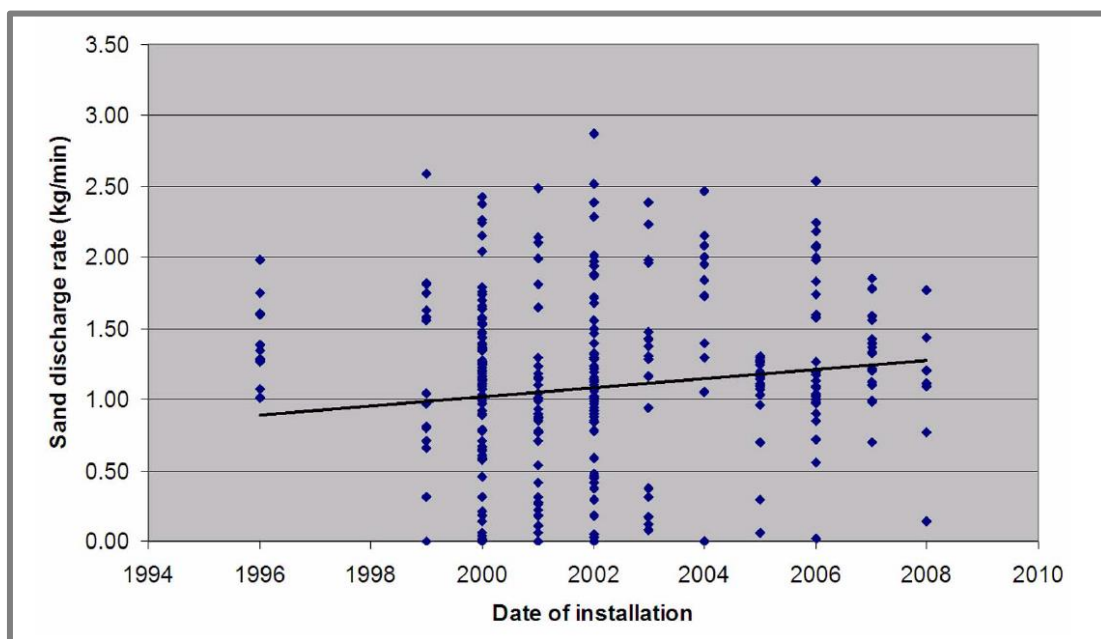
Dále byl testován vliv průměru hadice nebo výsypané trubice (ne všechna zařízení v testech byla vybavena výsypanou trubicí) na hmotnostní průtok písku. Vnitřní průměr ústí hadice se v testech pohyboval od 14 do 26 mm. Bylo prokázáno, že hmotnostní průtok písku roste s rostoucím průměrem hadice. Z Obr. 1-8 je patrné, že zařízení s průměrem hadice od 18 do 20 mm se pohybují s průtokem písku poměrně blízko hodnoty $1000 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$. [11]



Obr. 1-8 Vliv velikosti vnitřního průměru ústí hadice na hmotnostní průtok písku [11]

Stáří pískovacího zařízení

Nemalý vliv na proces pískování mělo také stáří jednotlivých pískovacích jednotek. Přičemž s přibývajícím věkem jednotek mírně klesala jejich výkonnost. Opět to však nelze tvrdit obecně, pokud je pískovací zařízení dobře zkonstruováno nemělo by s věkem příliš snižovat ze svých parametrů. Také je zde spíše rozhodující počet hodin, které bylo zařízení a souprava skutečně v provozu, než pouze stáří pískovací jednotky. Nemalý vliv také budou mít konkrétní klimatické podmínky, ve kterých vozidlo pravidelně jezdilo. Čili tato závislost není úplně relevantní a nelze s jistotou říct, že starší zařízení musí pískovat hůře než nová. [11]



Obr. 1-9 Vliv stáří pískovací jednotky na hmotnostní průtok písku [11]

Vliv ohybů a průvěsů hadic

Z výzkumu je patrné, že průvěs hadice mezi dávkovačem a výsypnou trubicí má větší vliv na hmotnostní průtok písku než ohyb hadice o 360° . Proto je nutné zabránit vzniku těchto průvěsů a snažit se hadici vést co nejvíce přímo do potřebného místa, ale s ohledem na to, aby se hadice nelámala vlivem ohybů pod příliš malými poloměry. [11]

Vliv stavu hadice

Byl zkoumán také vliv stavu hadice na hmotnostní průtok písku a také konstrukční chyby, které ovlivňují tyto stavy hadic. Jak je vidět na Obr. 1-10, některé typy pískovacích zařízení nemají pevnou výsypnou trubicí a jsou zakončeny pouze seříznutou hadicí. Takto zakončené hadice bývají často upevněny k podvozku hadicovými svorkami. To přináší několik nevýhod, jednak neschopnost jakkoli snadno směřovat vývod z hadice (není-li ještě mezi podvozkem a hadicí k tomu určená součást), ale hlavně hadicové svorky po dotažení zmenší vnitřní průměr hadice. A jak bylo popsáno výše, změna průměru hadice ovlivní hmotnostní průtok písku a zařízení může pak dávkovat jiné množství písku, než na jaké je navrženo. Dalším problémem je, že některé typy hadic mohou při vystavení povětrnostním vlivům poměrně snadno degradovat a mění se jejich vlastnosti (např. měknou). To může způsobovat vzniky průvěsů a s měknutím hadice je potřeba dotahovat hadicové svorky, které ji drží, což způsobuje opět zmenšení vnitřního průměru hadice. [11]



Obr. 1-10 Hadice utažená hadicovými svorkami [11]

Pískovací zařízení, která nejsou opatřena výsypnou trubicí, jsou náchylnější k zacpávání mazivem (např. od mazání okolků) a jinými nečistotami (Obr. 1-11).



Obr. 1-11 Hadice ucpaná mazivem [11]

Vliv zavzdušňovacího ventilu na zásobníku

Bylo prokázáno, že zásobník písku musí být vybaven zavzdušňovacím ventilem. Jelikož musí být zásobník poměrně dobře utěsněn proti vlivům okolního prostředí, je tento ventil důležitý a nelze ho nahradit např. otvorem v zásobníku. Pískovací jednotky s otevřeným víkem zásobníku podávali znatelně vyšší hodnoty průtoku písku, než s uzavřeným víkem a bez zavzdušňovacího ventilu. Avšak jednotky s dobrými zavzdušňovacími ventily podávali prakticky stejné výkony, ať už bylo víko otevřené nebo ne. [11]

Orientace ústí hadice (výsypané trubice)

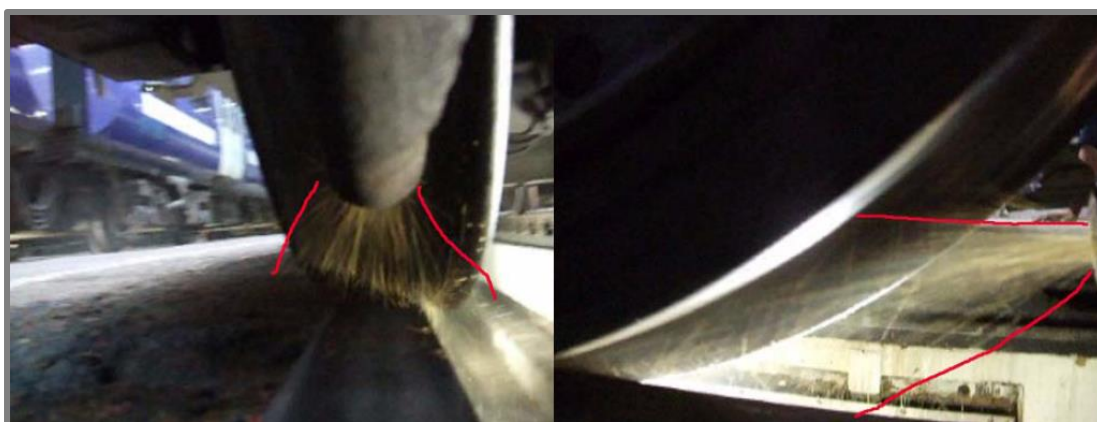
Nebyl zjištěn vliv orientace trysky na hmotnostní průtok písku. Je však nutné, aby byla tryska orientována co nejvíce do kontaktu kola a kolejnice. [11]

Vliv výsypané trubice

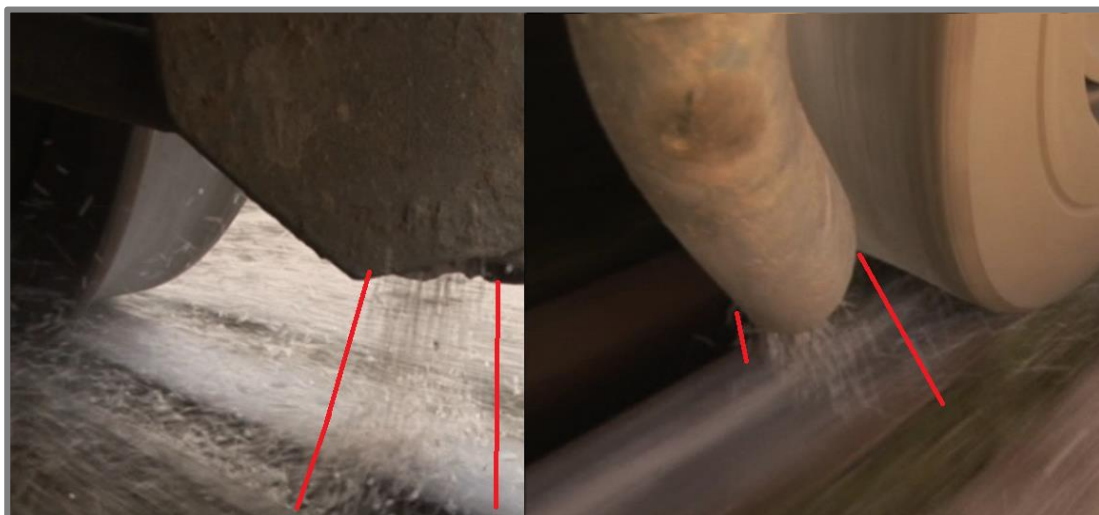
Vysypávaný písek z hadice má tvar kužele rozevřajícího se od hadice směrem k oblasti aplikace (kontakt kolo – kolejnice). Pokud hadice není vybavena výsypanou trubicí (někdy též „tryskou“) je kužel velmi široký (viz Obr. 1-13), do požadované oblasti se dostává méně písku, protože jeho značná část končí mimo kolejnici. Pokud je však hadice vybavena výsypanou trubicí, kužel bývá štíhlejší a přesněji orientován do požadovaného místa (viz Obr. 1-12). Avšak nejlepší výsledky dávala výsypaná trubice s takovým tvarem, aby tvořila z písku kužel široký na šířku kolejnice. Takový tvar dával nejlepší poměr mezi dobrou adhezí a nízkou spotřebou písku. Nutnost použití výsypané trubice je vidět na Obr. 1-14, kdy vlevo je zobrazeno zastaralé zařízení na jednom z vozů Dopravního podniku města Brna. Je vidět, že písku je sypáno příliš mnoho a do požadovaného kontaktu se dostává jen minimum z vysypaného písku. Naproti tomu na stejném obrázku vpravo je výsypaná trubice od společnosti Tribotec, která směřuje písek přesně pod kolo vozidla.



Obr. 1-12 Úzký kužel písku - hadice vybavena výsypanou trubicí [11]



Obr. 1-13 Široký kužel písku - absence výsypané trubice [11]



Obr. 1-14 Porovnání zastaralého pískovacího zařízení (vlevo) a systému Tribotec (vpravo) [10]

Celkové shrnutí všech zkoumaných parametrů a jejich vliv na pískování a zároveň obtížnost jejich implementování do pískovacího zařízení jsou popsány v tabulce PŘÍLOHA I.

1.5 Přehled komerčně dostupných pískovacích zařízení

1.5.1 TriboTec

Společnost se zabývá hlavně výrobou mazacích systémů, mazací techniky a hydrauliky. V sortimentu firmy je pískovací zařízení KOVA. Toto zařízení je vysoce spolehlivé a vylučuje výsyp písku nad stanovenou normu. Další výhody jsou: nezamrzání písku v zásobníku, vysoká spolehlivost i v extrémních klimatických podmínkách, krátký reakční čas, úspora nákladů. Zařízení však nedosahuje požadovaných přesných doporučených vlastností dávkování.

Zařízení se skládá ze zásobníku, který bývá různý pro různé typy vozidel. Další částí je dávkovač (Obr. 1-15), který má tvar dvojitého kolene a je do něj písek přiváděn samospádem ze zásobníku. Do kolene dávkovače je přiváděn tlakový vzduch, který tlačí písek před sebou a strhává ho dál do hadice ústící výsypnou trubicí. Zásobníky jsou vytápěny topným tělesem a mohou být profukovány vzduchem. U lokomotiv zařízení využívá vzduch centrálního pneumatického okruhu a je vybaven odlučovačem vody, filtry a ventily ovládajícími pískování. U tramvají je zařízení opatřeno dmychadlem, jelikož tramvaje nemají vlastní zdroj tlakového vzduchu. Vzduch přitom vede přímo z dmychadla do dávkovače a okruh je bez jakýchkoli ventilů, pískování se tedy ovládá pouze spínáním nebo vypínáním dmychadla. [1], [12], [10]



Obr. 1-15 Dávkač Triobotec

Výsypné trubice společnosti Tribotec (Obr. 1-16) jsou řešeny poměrně jednoduše. Tvoří je většinou seřiznutá trubka, která bývá mnohdy ohnutá do požadovaného tvaru. Trubice bývají dvojího typu, a to buď vyhříváné anebo nevyhříváné. V podstatě se liší jen v tom, že u vyhříváné trubice je kolem základní trubky ještě plášť z plechu, pod kterým je umístěn topný element. Trubice bývá připevněna k podvozku vozidla pomocí silentbloku (Obr. 1-17). [12], [10]



Obr. 1-17 Umístění výsypné trubice Tribotec na vozidle [12]



Obr. 1-16 Výsypné trubice Tribotec - vyhříváná (nahore), nevyhříváná (dole)

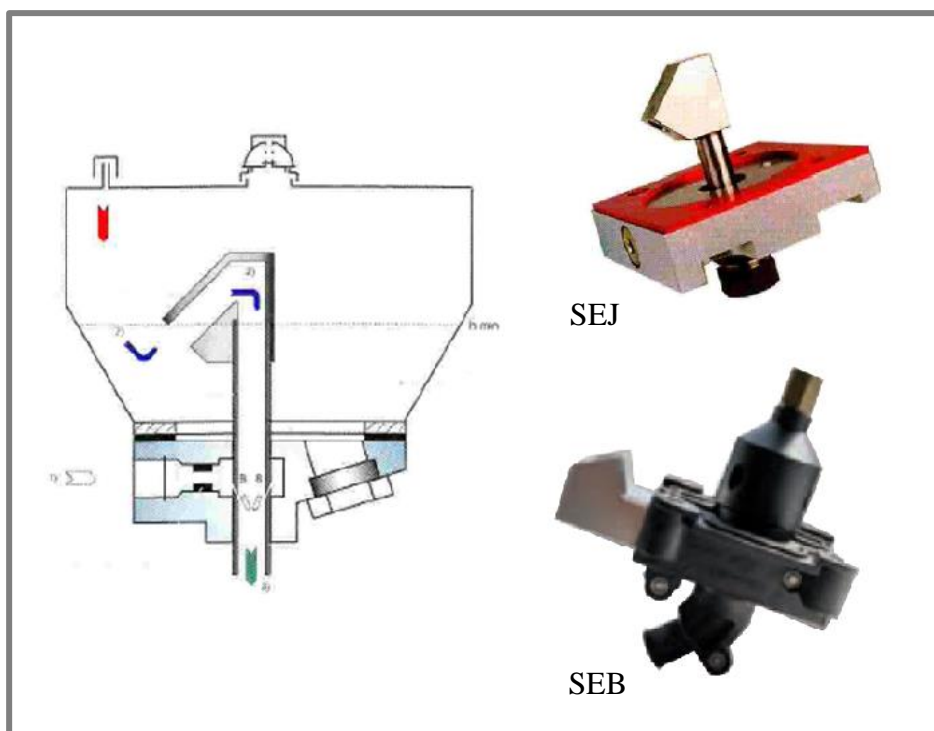
1.5.2 Knorr - Bremse

Tato německá společnost je jedním z největších světových výrobců v oblasti brzdných systémů kolejových vozidel. V sortimentu společnosti lze nalézt pět typů zařízení pro pískování, z nichž všechny jsou snadno modifikovatelné přímo pro požadavky zákazníka. [13]

Společnost nabízí dva typy pískovacích zařízení SEJ a SEB (Obr. 1-18), která jsou určena pro lehké vlaky a tramvaje bez centrálního rozvodu vzduchu. Zařízení využívají rotační dmychadla s tlakem do 1 baru, jako zdroje tlakového vzduchu. Zařízení jsou principiálně velmi podobná a pracují na podtlakovém nasávání písku. Výrobce uvádí následující technické parametry:

Typ SEJ a SEB [14]

- Hmotnostní průtok písku od 150 do 700 g/30s.
- Vysoušení a vyhřívání písku v zásobníku.
- Více-směrové pískování (vpřed/vzad).
- Proporcionální dávkování písku – v závislosti na rychlosti, poloze vozidla a na prokluzu kol vyhodnocuje řídicí jednotka jaké množství písku a jakou intenzitou bude dodáno do kontaktu kola a kolejnice.
- Funkce profouknutí hadice – po skončení pískování je hadice profouknuta vzduchem, aby v ní nezůstával starý písek.



Obr. 1-18 Dávkovače SEJ (nahore), SEB (dole) a schéma funkce (vlevo) [14], [31]

Dále společnost nabízí tři typy pískovacích zařízení SD (vlevo na Obr. 1-19), SDN14 (vpravo na Obr. 1-19) a SDP-1, která jsou naopak určena pro vlakové soupravy, kdy je možno využít vzduchu z centrálního rozvodu. Dávkovače těchto

zařízení potřebují ke správné funkci tlak alespoň 5 bar (v ideálním případě 7 až 10 bar). Výrobce udává následující technické parametry:

Typ SD [14]

- Hmotnostní průtok písku od 300 do 1000 g/30s.
- Více-směrové pískování (vpřed/vzad).
- Nemá vyhřívání písku.

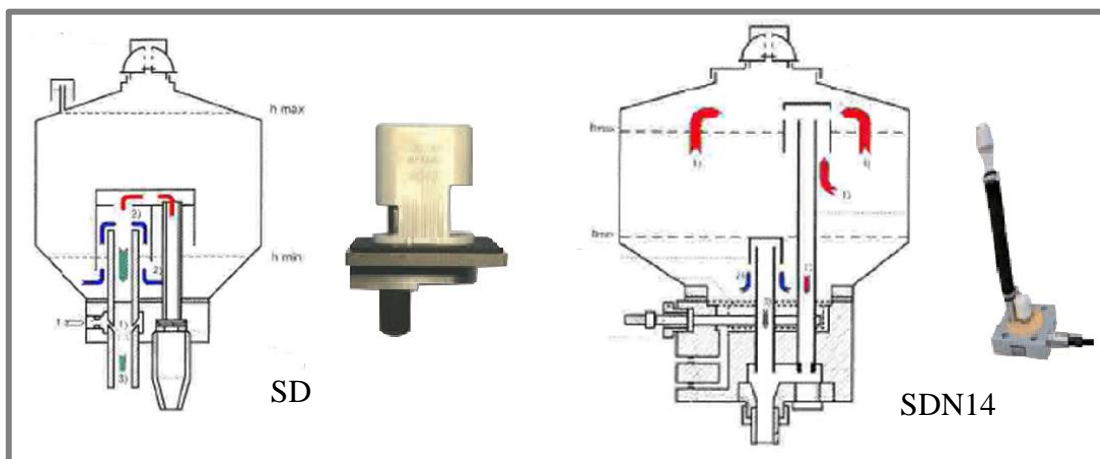
Typ SDN14/15 [14]

Jedná se o nejúspěšnější typ dávkovače od společnosti Knorr-Bremse. Dávkovač pracuje na jedinečném přetlakovém systému, kdy je vháněn vzduch do dávkovače, kde je umístěna topná patrona. Vzduch prochází přes síto do spodní části zásobníku a prochází vzhůru celým objemem písku a nahoře vstupuje do trubice, která vede vzduch zpátky dolů do dávkovače, kde je přiveden jako dávkovací vzduch a unáší písek ke kolům vozidla. Písek profukován vzduchem je přetlakem vtláčován do sací trubice, kde již pomáhá nasávat písek dávkovací vzduch.

- Hmotnostní průtok písku od 200 do 1600 g/30s.
- Vyhřívání a vysoušení písku.
- Zařízení vyžaduje velmi dobře utěsněný zásobník písku.
- Proporcionální dávkování písku – stejně jako u typů SEJ a SEB i zde je zařízení schopno dodávat různé dávky písku v závislosti na vstupních podmínkách.

Typ SDP-1 [14]

- Vysoká přesnost dávky písku
- Hmotnostní průtok od 200 do 2400 g/30s
- Dva vstupy vzduchu (dávkovací, posilovací)
- Vyhřívání a vysoušení písku v zásobníku
- Funkce profouknutí hadice



Obr. 1-19 Dávkovače a schémata funkce zařízení SD (vlevo) a SDN14 (vpravo) [14], [30]

1.5.3 DeltaRail

Britská společnost DeltaRail se zabývá vývojem v oblasti softwaru, technologií a výrobky a službami pro železniční dopravu.

Firma nabízí pískovací zařízení SmartSander (Obr. 1-20), což je automatizovaný systém pro vlakové soupravy. Systém využívá kombinaci několika hledisek pro vyhodnocení množství písku přisypávaného do kontaktu kola a kolejnice. Mezi ně patří požadavky strojvedoucího na brždění vlaku, dále pak rychlost vlaku a činnost kola (poměrný skluz).

Výsledkem je lepší a spolehlivé zastavení vlaku při nízkých adhezních podmínkách. Snížení spotřeby vzduchu během zastavení. Dále pak snížení provozních nákladů vlivem snížení opotřebení kol způsobených prokluzem a s tím souvisí zvýšení životnosti některých komponent podvozku. Snížení zpoždění vlaku a snížení spotřeby písku.

Toto zařízení pracuje nepřetržitě, kdykoli je zjištěn prokluz systémem ochrany proti prokluzu (WSP – wheel slide protection). V případě detekování prokluzu zařízení začne přisypávat úměrné množství písku a strojvedoucí je o prokluzu informován rozsvícením kontrolky v kabině. Proces pískování se ukončí 1,5 s po zhasnutí kontrolky, čili po vrácení hodnot skluzu do normálu. Tlak vzduchu pro dopravu písku ke kolu je 7 barů. Množství písku aplikované do kontaktu kola a kolejnice se řídí následujícími vstupními údaji. [15]

Tab. 1-1 Podmínky a množství písku na nich závislé pro zařízení SmartSander

Podmínky	Množství písku (g·min ⁻¹)
Smýkání kola + intenzita brždění 30 %	1000
Smýkání kola + intenzita brždění 60 % nebo, když operátor vlaku stiskne tlačítko pískování	2000
Nouzové brždění	3000

Zařízení SmartSander je důkazem, že proporcionální dávkování písku skutečně umožňuje výrazné snížení ekonomických nákladů a zvýšení bezpečnosti vůči běžným pískovacím zařízením, která sypou stále stejné množství písku bez ohledu na okolní podmínky. Po nainstalování tohoto zařízení na několik souprav ve Velké Británii, byly tyto soupravy monitorovány a bylo zjištěno, že se snížil prokluz kol až o 73 %, snížilo se zpoždění vlaků v průměru o 30 %, také se snížilo nedobrzdnění a přejezdy stanic až o 70 %. [15]



Obr. 1-20 Dávkovač zařízení SmartSander [15]

1.5.4 IBEG

Německá firma IBEG, která má pobočky po celém světě, má jako prioritu vývoj a výrobu komponent pro kolejová vozidla. V první řadě pískovací zařízení, jichž je jedním z největších výrobců.

V nabídce má několik modelů pískovacích zařízení. Jedním z nich je zařízení Sand Step, vyvinuté v roce 1984, byl to jejich první pískovací systém, který byl vhodný jak pro tramvaje, tak pro vlakové soupravy. Zařízení se vyznačovalo vysokým výstupním průtokem písku až 4000g/min, nízkou spotřebou vzduchu a levnou konstrukcí.

Dalšími zařízeními nabízenými firmou jsou H-stream a V-stream (Obr. 1-21), která využívají míchání vzduchu a písku pomocí speciálních trysek a také využívají aerodynamické výsypné trubice, které umocňují přesnost dopadajících částic písku na kolejnice. Mezi další výhody také patří malá citlivost na různé kvality písku a možnost použití poměrně dlouhého přívodního potrubí (2 až 3 m). Kromě drobných výkonnostních parametrů se H-stream a V-stream liší v principu jen v tom, že H-stream využívá horizontální směr proudícího písku, kdežto V-stream vertikální.



Obr. 1-21 Pískovací zařízení V-stream [16]

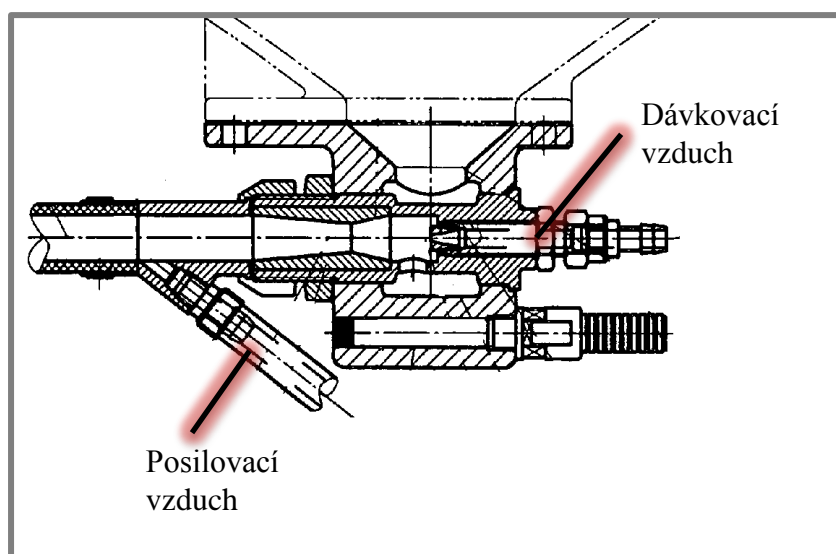
[16]

Společnost má v sortimentu také revoluční způsob doplňování písku, který je součástí komplexního pískovacího zařízení SandMaid, kdy zásobníky (Obr. 1-22) nejsou pevně přimontovány ke kolejovému vozidlu, nýbrž se skládají z nádob, které lze snadno vyjmout ručně a vyměnit za plné. Tím odpadá nutnost drahých doplňovacích systémů písku nebo doplňovacích vozidel. Systém je využíván hlavně u lehčích kolejových vozidel, jako jsou tramvaje a malé vlakové soupravy.



Obr. 1-22 Zásobník zařízení SandMaid [16]

Systém SandMaid je vybaven dávkovačem (Obr. 1-23) pracujícím na Venturiho principu, který je poměrně netradičně celý orientovaný v horizontální ose. Na rozdíl od většiny zařízení pracujících na Venturiho principu, která jsou většinou svisle orientována.



Obr. 1-23 Dávkovač zařízení SandMaid [26]

Společnost IBEG také jako jedna z mála společností nabízí poměrně netradičně řešené výsypné trubice. Tyto trubice jsou designově zajímavější než nabízené konkurencí a výrobce tvrdí, že jejich aerodynamický tvar rovněž přispívá k přesnějšímu pískování. Výsypné trubice řady Sand Jet a Sand Nozzle (Obr. 1-24) jsou vyhřívané, velmi účinné a vzhledově velmi zajímavě řešeny. [16]

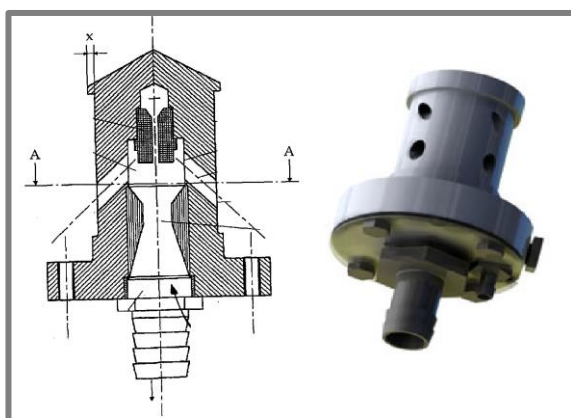


Obr. 1-24 Výsypné trubice společnosti IBEG - Sand Jet (vlevo), Sand Nozzle (vpravo) [16]

1.5.5 MBM Industry & RailTech

Německá společnost zabývající se širokým spektrem oborů, má v sortimentu pouze jeden typ pískovacího zařízení, a to Sandmaus V4 (Obr. 1-25). Tento inovativní pískovací systém je navrhován na míru dle požadavků zákazníka. Jedná se o systém používaný především pro těžké nákladní lokomotivy, který využívá vzduch z centrálního pneumatického okruhu, ale může být i vybaven vlastním kompresorem, pro použití na menších vozech.

Pískování této společnosti je jedinečné v tom, že mnohdy využívá zrnitý oxid hlinitý místo konvenčního křemičitého písku. Společnost udává pouze 10% spotřebu oxidu hlinitého při zachování 100% trakčních vlastností jako při využívání křemičitého písku. [17], [18]



Obr. 1-25 Dávkoč zařízení SandMaus [17], [18]

Parametry zařízení jsou následující:

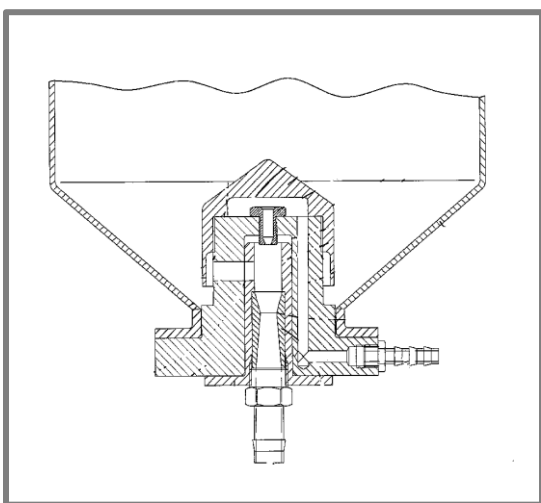
- Ovládací tlak - průtok vzduchu: 1 bar - 70 l/min
- Průtok písku: 50-3500 g·min⁻¹
- Rozsah pracovních teplot: od -40 do +60 °C

1.5.6 ZIV

1.5.6

Zeppenfeld Industrie-Verwaltungs je německá společnost zabývající se mimo jiné také výrobou pískovacích zařízení pro kolejová vozidla. Společnost má v sortimentu jen jeden typ pískovacího zařízení, resp. jeden typ dávkovače (Obr. 1-27), který rovněž pracuje na Venturiho principu obdobně, jako zařízení MBM SandMaus. Výrobce však veřejně neuvádí žádná technická data, týkající se dávkovače.

Tato společnost nabízí, obdobně jako IBEG, také zajímavě řešené výsypané trubice, které mají podobný tvar (Obr. 1-26). [19], [20]



Obr. 1-27 Dávkovač ZIV [20]



Obr. 1-26 Výsypané trubice ZIV [19]

1.6 Tryskací zařízení

1.6

Principem funkce je pískovací zařízení podobné jako zařízení určené k tryskání. V tomto případě jsou však částice urychlovány na vysokou ústřovou rychlost, aby mohli působit abrazivně na povrch otryskávaného materiálu. Existují dva způsoby jak částice urychlovat (Obr. 1-29) jedním z nich je unášení částic proudem stlačeného vzduchu, které se nazývá tlakovzdušné tryskání. Druhý způsob je založen na mechanickém metání částic lopatkami metacích kol.

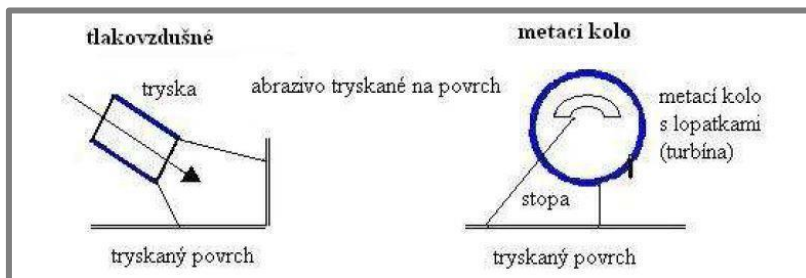
Tlakovzdušné tryskání je založeno na principu unášení abrazivních částic proudem tlakového vzduchu a lze jej rozdělit na způsob injektorový a tlakový.

Injektorový systém (nahore na Obr. 1-28) funguje na principu přisávání částic ve vzduchové komoře. V tryskací pistoli je vzduchová tryska, která strhává vzduch v hadici a následně také částice ze zásobníku materiálu. Volbou velikosti trysky nebo změnou tlaku vzduchu lze ovlivňovat množství unášeného materiálu.

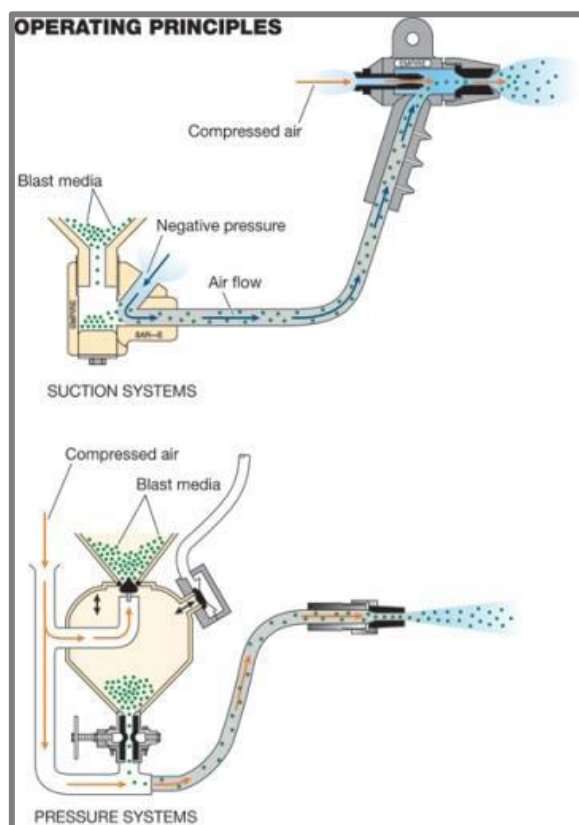
Tlakový systém (dole na Obr. 1-28) pracuje na principu uzavřené tlakové nádoby, která slouží jako zásobník materiálu. Částice jsou pod tlakem vyháněny ze zásobníku přes regulační ventil a následně do hadice a trysky, která je ještě urychluje. [21], [22]

Pro pískování v kolejové dopravě se výhradně používá princip velice podobný injektorovému systému tryskacích strojů. Přičemž tryska stlačeného vzduchu bývá ve

většinou umístěna pod zásobníkem písku (dávkovač). Tlakový systém není příliš vhodný, protože není příliš žádoucí udržovat zásobník písku natlakovaný vzduchem.



Obr. 1-29 Principy tryskacích zařízení [29]



Obr. 1-28 Injektorový systém (nahore) a tlakový systém (dole) [22]

1.7 Zařízení pro dopravu sypkých hmot

Pneumatická doprava sypkých hmot se uplatňuje v mnoha odvětvích průmyslu, hlavně pak pro dopravu materiálů suchých, nelepivých, nespékavých, práškovitých a zrnitých. Pneumatická doprava je vhodná pro dopravu v různých vzdálenostech (desítky až stovky metrů) a v libovolném směru.

Systemy pneumatické dopravy lze rozdělit dle různých hledisek, např.: podle funkčního hlediska (doprava potrubím, pneumatickými žlaby, na vyprazdňování zásobníku, atd.), podle uspořádání (otevřené, uzavřené), podle tlaku v systému vzhledem k atmosférickému (přetlakové, podtlakové).

Jako zdroje dopravního plynu se u přetlakových systémů nízkotlakých (do přetlaku 20 kPa) využívají ventilátory. U středotlakých (přetlak od 20 do 100 kPa) se používají dmýchadla s rotačními písty, pro větší průtoky pak turbodmýchadla nebo vodokružné kompresory. U vysokotlakých systémů se používají nejrůznější druhy kompresorů. U podtlakové dopravy pro malé podtlaky (do 15 kPa) se používají ventilátory, pro střední podtlaky (od 15 do 50 kPa) se používají dmýchadla a pro vysoké podtlaky (od 50 do 90 kPa) nejrůznější druhy vývěv. [23]

Na dopravované množství sypké hmoty má velký vliv rychlost dopravního plynu, která se pro materiály granulového charakteru pohybuje od 13 do 16 m·s⁻¹, může se však pohybovat až do hodnot přes 20 m·s⁻¹. Je také důležité dbát na to, že dopravní délka má výrazný vliv na tlakový pokles v potrubí, tedy čím delší potrubí je, tím vyšší by měla být rychlost dopravního plynu. U pískovacích zařízení je však dopravní délka velice malá, zpravidla do 5 m, na rozdíl od pneumatických dopravních systémů, kde může délka dosahovat až stovek metrů.

Nutno podotknout, že zařízení pro dopravu sypkých hmot mívají zpravidla větší rozměry než typické dávkovače pro pískování v kolejové dopravě, jelikož množství dopravované látky bývá také menší. [9]

1.8 Návrh experimentu – základní pojmy

1.8

Experimentem se rozumí soustava pokusů, ve kterých se mění obvyklé podmínky za účelem nalezení nejlepších pracovních postupů a získání poznatků o vlastnostech výrobku a výrobního procesu.

Experimentální postupy lze rozdělit na dva typy:

- a) Experimenty neplánované
- b) Experimenty plánované

Plán experimentu určuje počet pokusů, podmínky experimentu a pořadí uskutečnění pokusů.

Pokus je zjištění hodnoty určitého ukazatele kvality v závislosti na určitých podmínkách, které jsou předem stanoveny.

Experiment je pak systémem všech pokusů. Cílem experimentu je tedy rozhodnout, které z určitých vstupních proměnných (faktorů) významným způsobem ovlivňují hodnotu ukazatele kvality a určit jejich optimální úroveň.

Faktory jsou vstupní proměnné pokusu ovlivňující hodnoty sledované veličiny. Pro každý faktor je stanoveno několik úrovní vedoucích k dosažení optimální sledované veličiny.

Sledovaná veličina určuje výsledek experimentu. Výsledky jsou získávány změnou úrovní faktorů a jejich interakcí. [24]

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Diplomová práce probíhá ve spolupráci se společností Tribotec, zabývající se mj. výrobou pískovacích, mazacích a dalších systémů pro kolejovou dopravu.

2.1 Analýza problému a motivace k řešení

Proces pískování s sebou nese řadu negativních vlivů, jako je např. prašnost ve městech, zbytečná spotřeba písku, opotřebením kolejnic, zanášení výhybek apod. Řešením těchto problémů může být proporcionální pískování, jinými slovy řídicí jednotka kolejového vozidla vyhodnotí vstupní údaje (prokluz kol, rychlost vozidla, intenzitu brždění atd.) a aplikuje přesně tolik písku, kolik je v danou chvíli potřeba. Tímto trendem se již vydali někteří zahraniční výrobci pískovacích zařízení. V České Republice se však proporcionální pískování nepoužívá, využívají se maximálně dvoustupňové pískovací systémy, které dokážou spolehlivě přepínat mezi dvěma přesně stanovenými dávkami písku. Řídicí jednotky pískování ve vozidlech přitom jsou na nový způsob pískování připraveny, chybí však dávkovač, který by byl schopný plynule a nejlépe lineárně (v závislosti na vstupní veličině) měnit hmotnostní průtok písku. Proto je nutné vyvinout takový typ dávkovačů, který by toho byl schopný.

2.2 Primární cíl práce

Primárním cílem práce je navrhnout dva typy dávkovačů písku pro pískovací zařízení. Na základě rešerše navrhnout způsob dávkování písku a ověřit funkčnost těchto dávkovačů. Provést experimentální vývoj dávkovačů na zkušebně společnosti Tribotec a zjistit tak jejich vnitřní tvary a rozměry. Je důležité, aby dávkovače byly schopné dosáhnout tzv. proporcionálního dávkování písku. A to tak, že v závislosti na určité vstupní veličině bude přesně možné získat požadovaný hmotnostní průtok písku. V ideálním případě tak, aby hmotnostní průtok písku v závislosti na proměnné vstupní veličině vykazoval lineární charakteristiku. To může být problém u některých typů dávkovačů, že je tato charakteristika nelineární, proto bylo přistoupeno k návrhu nových dávkovačů, které toho budou schopny dosáhnout.

2.3 Sekundární cíle práce

K navrženým dávkovačům je třeba navrhnout konstrukci zásobníků pískovacího zařízení, pro určité typové kolejové vozidlo. Návrhy zásobníků budou následně posouzeny, zda jimi bude osazena konkrétní zadaná tramvaj.

Druhým sekundárním cílem práce je návrh nové vyhřívané výsypné trubice, která přivádí písek do kontaktu kolo-kolejnice.

2.4 Hlavní etapy řešení

V první fázi diplomové práce proběhla rešerše na téma pískovacích jednotek. V jejíž části byly kriticky zhodnoceny současně produkované pískovací systémy nejvýznamnějších výrobců.

Na základě rešerše je zpracováno několik koncepčních návrhů dávkovačů. Se souhlasem zástupců společnosti Tribotec je nutné vybrat dva typy dávkovačů písku, u kterých budou následně vytvořeny testovací prototypy.

Pro experimentální vývoj je třeba určit proměnné parametry, které mohou mít vliv na hmotnostní průtok písku. Postupnou změnou těchto parametrů podle plánu experimentu je nutné optimalizovat hmotnostní průtok písku na hodnoty udávané normou. Pokud vybrané varianty nedosáhnou požadovaných hodnot sledované veličiny pouze změnou faktorů, je nutné provést změny v konstrukci dávkovačů takové, aby bylo možno dosáhnout potřebného hmotnostního průtoku písku. Po provedení konstrukčních změn jsou dávkovače opět testovány, pokud nedosáhnou žádaných hodnot, celý proces se změnami konstrukce bude opakován. Po úspěšném dosažení dané hodnoty sledované veličiny bude přistoupeno k ověřování proporcionálních vlastností dávkovačů. V případě, že dávkovače nebudou splňovat požadavky na proporční ovládání, bude opět přistoupeno k provedení změn v konstrukci, takových, aby bylo možné ovládat dávky pískování. V případě, že dávkovače budou dosahovat požadovaných vlastností, bude proveden návrh konstrukce pro sériovou výrobu.

Dále je třeba provést konstrukci zásobníků a zbytku pískovacího zařízení pro zástavbu do konkrétního typu kolejového vozidla. Při návrhu je třeba dbát na minimalizování hmotnosti při zachování potřebné funkce a zároveň udržení minimální ceny na výrobu zařízení s ohledem na dostupné technologie v zadavatelské společnosti.

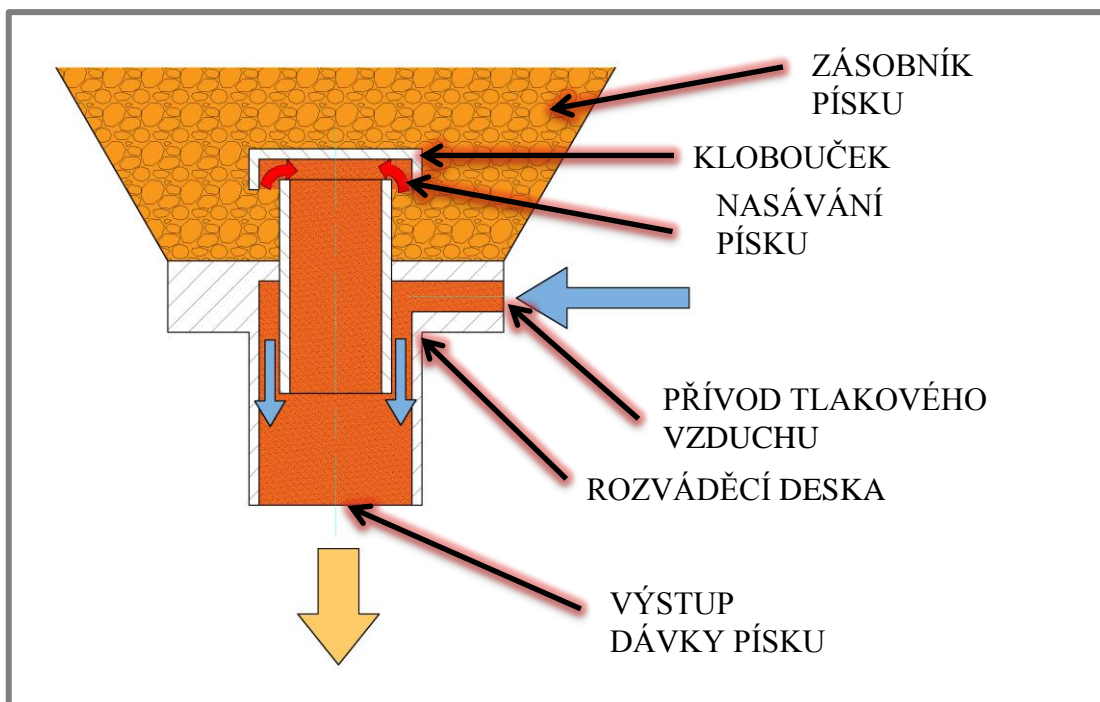
Posledním krokem je návrh výsypané trubice, zhotovení prototypů. Následně pak ověření schopnosti aplikovat písek a zhodnocení tvaru výsypaného kužele.

3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

3.1 Dávkovač - varianta 1

3.1.1 Popis varianty 1

První varianta (viz Obr. 3-1) je navržena jako vertikálně orientovaná trubka, která částečně zasahuje do zásobníku a částečně pod zásobník. Trubka je umístěna v tělese rozvádějícím vzduch, jehož součástí je trubice o vnitřním průměru větším, než je vnější průměr výše zmíněné trubky. Na horní straně trubky zasahující do zásobníku je umístěn krycí klobouček, který zabraňuje samovolnému sypání písku. Klobouček přesahuje přes okraj trubky a to tak, aby vznikla přepadová hrana pro písek a nedocházelo tak k již zmíněnému samovolnému vysypávání. Přiváděním vzduchu do rozváděcí desky je vzduch v trubce urychlován, čímž vzniká podtlak a písek je nasáván přes přepadovou hranu a dále hnán do hadice směrem ke kolům vozidla.



Obr. 3-1 Schéma dávkovače varianty 1

3.1.2 Zhodnocení varianty 1

Tato varianta se vyznačuje jednoduchou konstrukcí a lze u ní zachovat malé rozměry. Menší nevýhodou by mohlo být, že sání písku zasahuje částečně nad dno zásobníku, což může způsobit, že zásobník nebude zcela vyprázdněn. To však není rozhodující, protože nevysypané množství písku co zbyde v zásobníku je minimální a písečníky se prakticky nikdy zcela nevyprazdňují. Omezením této varianty je spíše fakt, že je konstrukčně uzpůsobena k upevnění na spodní straně zásobníku a vývod dávek písku směřuje kolmo dolů. Když se na vývod nasadí ještě hadice, tak je pod

zásobníkem potřeba značné množství místa (cca 200 mm), protože hadici není možné ostře zlomit a je výhodnější ji ohýbat co největšími poloměry. Koncepce vodorovný vstup – svislý výstup je stejná jako u současného dávkovače společnosti Tribotec, kde se vodorovný výstup řeší kolenem s úhlem 90° přimontovaným těsně za dávkovač. To však vyžaduje posilovací vzduch aplikovaný do kolene, protože písek v kolenu ztrácí rychlost. Svislý výstup dávek písku by mohl být výhodou v případě, že dávkovač bude bezprostředně nad místem, kam je potřeba aplikovat písek.

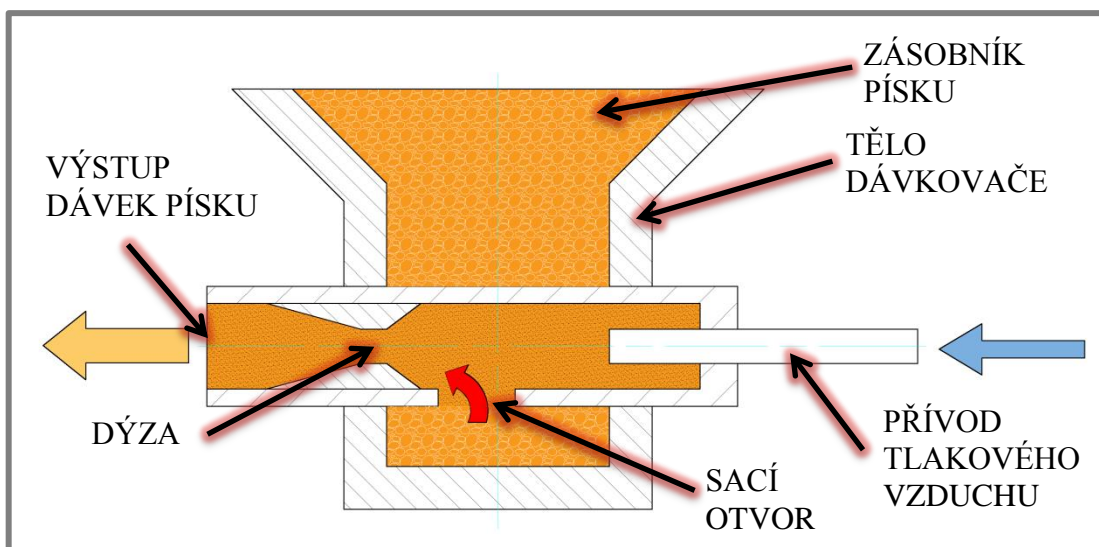
3.2 Dávkovač - varianta 2

3.2

3.2.1 Popis varianty 2

3.2.1

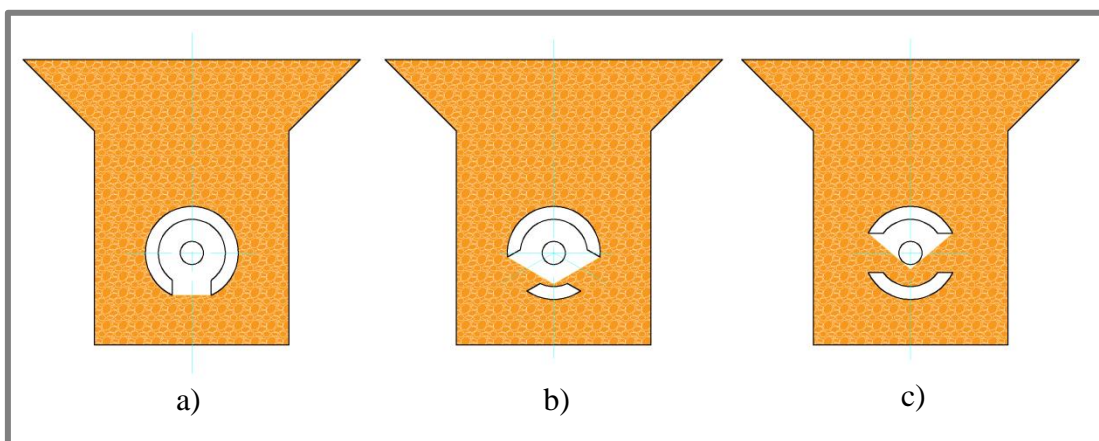
Varianta dávkovače č. 2 (viz Obr. 3-2) je konstruována pro umístění pod zásobníkem písku. Na rozdíl od první varianty však má horizontálně orientovaný vstup tlakového vzduchu a také výstup dávek písku. Navíc žádná část dávkovače nezasahuje do zásobníku pískovacího zařízení, ale dávkovač je koncipován tak, aby se písek do něj sypal samovolně. Konstrukce dávkovače se skládá ze dvou hlavních částí. První částí je samotné tělo dávkovače válcového tvaru s válcovou dutinou uvnitř a se svisle orientovanou osou rotace. Tělo dávkovače tvoří „násypku“ do které se písek sype samospádem. Do těla je vsunuta trubka tak, že je obsypána pískem. Na jednom konci trubky je výstup dávek písku a na druhém konci je přívod tlakového vzduchu. Trubka má zhruba v místech středu těla otvor na spodní straně, který slouží k nasávání písku. Otvor umístěn ze spodní strany zabraňuje písku v samovolném sypání dále do směšovacího prostoru dávkovače. Trubka je ještě před výstupem opatřena dýzou pro zvýšení rychlosti vzduchu a snížení tlaku. Celý dávkovač se dá svou funkcí připodobnit k ejektoru.



Obr. 3-2 Schéma dávkovače varianty 2

3.2.2 Zhodnocení varianty 2

Výhodou varianty 2 je její velmi nízká zástavbová výška. Proto může být tato varianta využita pro aplikaci na pískovacích zařízeních v omezených prostorových podmínkách. Například v podmínkách, kdy je zásobník písku s dávkovačem umístěn těsně nad jiným zařízením v kolejovém vozidle nebo velmi nízko na podvozku v nízkopodlažních tramvajích tak, že není možné vést hadici kolmo dolů, ale je třeba ji vést horizontálně. Navíc lze trubku v tomto dávkovači opatřit více než jedním sacím otvorem a tyto otvory mohou být různě orientovány vzhledem ke svislé ose (viz Obr. 3-3) nebo může být otvor nahrazen drážkou.

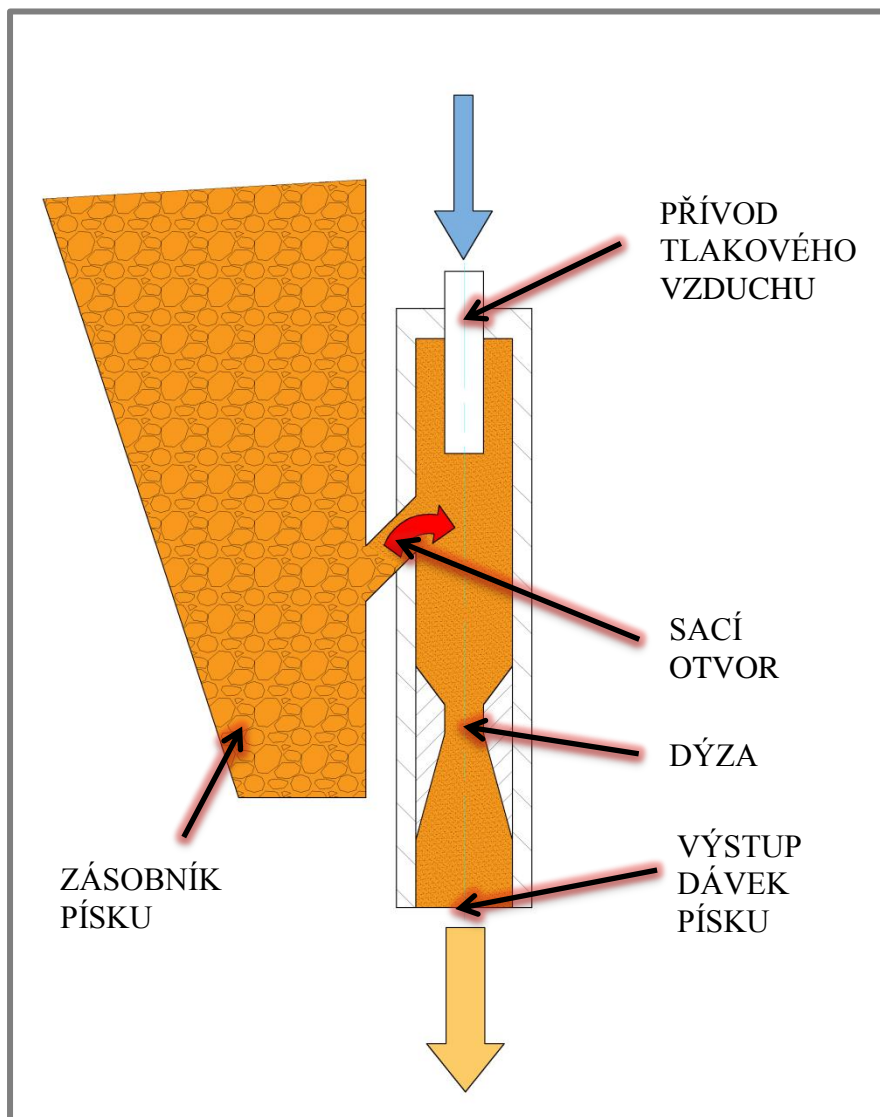


Obr. 3-3 Možnosti využití více sacích otvorů písku (příčný řez): a) jeden sací otvor z dolní strany, b) dva sací otvory po 120°, c) dva sací otvory po 180°

3.3 Dávkovač - varianta 3

3.3.1 Popis varianty 3

Třetí variantou dávkovače (viz Obr. 3-4) je celá svislá koncepce, kdy tlakový vzduch je přiváděn do dávkovače z horní strany a výstup písku je ze strany spodní. Přičemž celý dávkovač je připevněn z boku zásobníku. Vnitřní proporce tohoto dávkovače jsou obdobné jako u varianty 2, ale ve vertikální orientaci. Místo otvoru ze spodní strany trubky je tedy otvor vyvrtaný do stěny dávkovače pod úhlem 45° proto, aby zde vznikla přepadová hrana, která zabraňuje samovolnému vysypávání písku. Před ústím dávkovače do hadice je umístěna dýza pro zrychlení proudu vzduchu a snížení tlaku ve směšovacím prostoru.



Obr. 3-4 Schéma dávkovače varianty 3

3.3.2 Zhodnocení varianty 3

3.3.2

Rozdílností této varianty oproti předchozím je, že je uzpůsobena k montáži na bok zásobníku písku. To může být výhodou v případě, kdy to zástavbové rozměry ve vozidle nedovolují jinak a zároveň je-li dávkovač umístěn nad místem aplikace písku do kontaktu kola a kolejnice, což znamená značné zkrácení dopravní trasy písku. Také vstup tlakového vzduchu a výstup písku jsou v jedné ose, proto mohou být celkové rozměry dávkovače poměrně malé. Nevýhodou může být, stejně jako u varianty 1, že v zásobníku může zůstat zanedbatelné množství písku.

3.4 Návrhy zásobníků

3.4

Zásobníky jsou vždy pro každé vozidlo unikátní. Dokonce je možné, že v jednom vozidle je více typů zásobníků (platí u tramvají). Stejně tak jsou kladené různé požadavky na jejich konstrukci. Například u lokomotiv je třeba dbát na to, že jsou zásobníky vystaveny mnohdy extrémním klimatickým podmínkám. Kdežto

u tramvají bývají zásobníky často umístěny uvnitř vozidla a do podvozkového prostoru vystupuje pouze vývod z dávkovače. Obecně lze říci, že zásobníky pro využití u tramvají je nutno konstruovat co nejlehčí. Dále je důležité zmínit, že zásobník by měl být dobře utěsněn před okolními vlivy, ale měl by být snadno doplnitelný. V mnoha případech se zásobníky vybavují senzorem určujícím množství písku. Zásobníky v tramvajích také často slouží pro upevnění mnoha menších součástí, čili by měli mít dostatečnou pevnost jednak pro udržení hmoty písku, ale navíc se nesmí oslabit při připevnění např. elektrické rozváděcí svorkovnice nebo samotného dmyhadla.

3.4.1 Zásobník z nýtovaného plechu

V tramvajových vozech bývá kladen důraz na celkově velmi nízkou hmotnost pískovacího zařízení. Nabízí se tedy konstrukce zásobníku z plechu z hliníkových slitin, přičemž plechy jsou vzájemně spojeny trhacími nýty. Tato koncepce zásobníku je velmi jednoduchá na výrobu, protože plechy jsou vyrobeny vypalováním laserovým paprskem a spojovány jsou až při montáži nýtovacími kleštěmi. Můžou však nastat problémy s těsností zásobníku nebo popřípadě s korozí nýtů.

3.4.2 Zásobník ze svařovaného plechu

Další variantou jsou zásobníky ze svařovaného plechu. Většinou se používají u vlaků, kdy jsou svařeny z ocelových plechů a jsou značně robustnější a lépe utěsněny než v tramvajích. Výhodou je právě jejich dobrá těsnost a také velmi nízká hmotnost v porovnání se zásobníky spojovanými např. rozebíratelnými spoji. Nevýhodou může být náročnost technologie svařování hliníkových slitin.

3.4.3 Zásobník z kompozice plechu a polymerních desek

Je zde také možnost konstrukce zásobníků s kovovou kostrou, na kterou jsou pomocí nýtů připevněny desky z polymerního materiálu (např. polykarbonát). Tato varianta má velmi nízkou hmotnost oproti celokovové konstrukci, ale cena polykarbonátových desek je velmi vysoká a to činí tuto variantu značně nevýhodnou. Dále také můžou vznikat netěsnosti vlivem nýtových spojů.

3.4.4 Zásobník ze svařovaných polymerních desek

Problém netěsností u výše zmíněné varianty může vyřešit konstrukce zásobníků ze svařovaného polymerního materiálu. Tato varianta je hmotnostně ještě výhodnější než předchozí. Problémem však může být nižší pevnost celé konstrukce zásobníku. Vlivem dynamických účinků jízdy kolejového vozidla a poměrně velkou hmotností písku (až 50 kg) by mohli vznikat síly, které by způsobily utržení zásobníku od kotvícího prvku nebo dokonce celou destrukci zařízení. K tomu by také mohlo přispívat (stejně jako u předchozí varianty), že vozy zaparkované na vozovně v zimě mohou promrznout, což může mít negativní účinky na mechanické vlastnosti daného polymerního materiálu.

3.4.5 Zásobník z kompozitních materiálů

3.4.5

Poslední navrhovanou variantou je zásobník z kompozitního materiálu, jako je např. laminát ze skelných nebo uhlíkových vláken. Tato varianta by přinesla poměrně pevnou, ale současně velmi lehkou konstrukci. V případě uhlíkových vláken by měla konstrukce extrémní pevnost, ale značnou nevýhodou je velmi vysoká cena tkaniny z uhlíkového vlákna. Také technologie na zpracování těchto materiálů je poměrně náročná a drahá. Když se vezme v úvahu, že zásobníky jsou vyráběny v malých sériích (desítky kusů) a musí se pro každý nový vytvořit forma na jejich vytvarování, stává se tato metoda velmi nevýhodnou.

3.5 Návrhy výsypané trubice

3.5

Byly navrženy tři varianty trubice, přičemž každá s jiným výstupním úhlem.

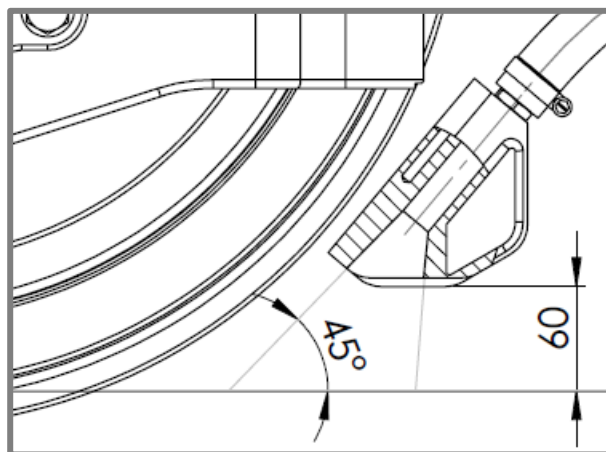
3.5.1 Výsypaná trubice - varianta 1

3.5.1

První varianta výsypané trubice (Obr. 3-6) byla navržena v klínovém tvaru tak, aby zapadala do prostoru mezi kolem a kolejnicí. Trubice je navržena jako odlitek z hliníkové slitiny. Dutina trubice je navržena válcová a postupně pak přechází do obdélníkového ústí. Výsypaný kužel svírá s kolejnicí úhel 45° až 85° , směřuje tedy poměrně strmě dolů (Obr. 3-5). Trubice je v přední části charakteristická velkým odlehčením, díky čemuž vznikne z přední části poměrně výhodná upínací plocha. Nad dutinou pro proud písku je pak díra pro vložení topné patrony.



Obr. 3-6 Výsypaná trubice varianta 1

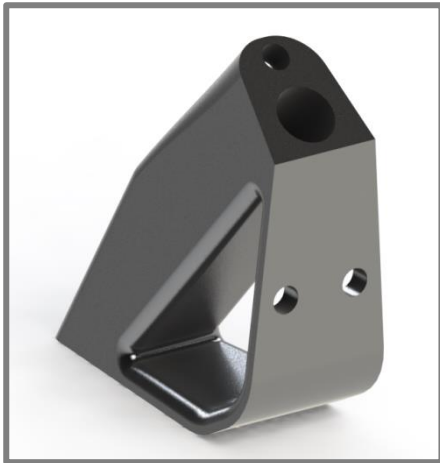


Obr. 3-5 Výsypaná trubice varianta 1 v sestavě kolo-kolejnice

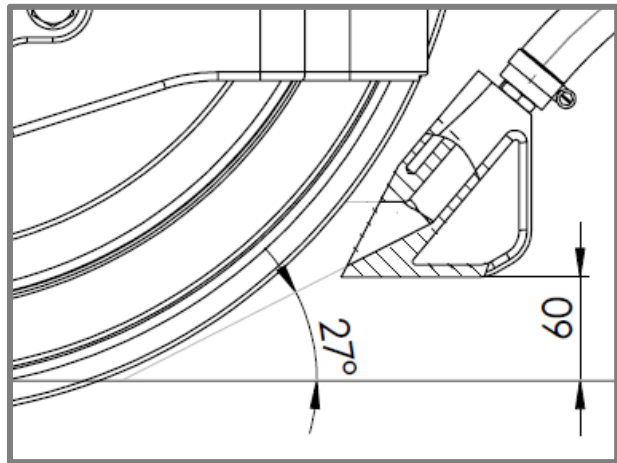
3.5.2 Výsypaná trubice - varianta 2

3.5.2

Druhá varianta výsypané trubice (Obr. 3-8) má obdobný tvar jako první s tím rozdílem, že výstupní otvor je orientován více v horizontálním směru. Výsypaný kužel tedy svírá s kolejnicí úhel 0° až 27° (Obr. 3-7). Trubice varianty 2 je rovněž koncipovaná jako odlitek s velkým charakteristickým odlehčením v přední části. V horní části je opět opatřena dírou pro topnou patronu.



Obr. 3-8 Výsypná trubice varianta 2



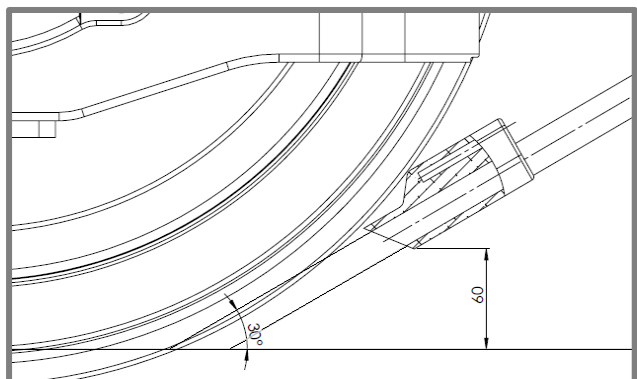
Obr. 3-7 Výsypná trubice varianta 2 v sestavě kolo-kolejnice

3.5.3 Výsypná trubice - varianta 3

Třetí varianta výsypné trubice (Obr. 3-9) je navržena v odlišné koncepci. Je navržena jako pouze vyhřívaný konec, který je našroubován na trubku, jakou používá běžně společnost Tribotec pro výsypné trubice. Vnitřní dutina má po celé délce kruhový tvar a na konci je tato trubice zkosená pod úhlem 38° . Trubice je navržena jako odlitek z hliníkové slitiny a má válcový tvar s výstupkem na horní straně pro díru na topnou patronu. Celá výsypná trubice je upnuta právě za válcovou část tvořenou trubkou přes silentblok, který se k tomuto účelu společností používá, díky tomu lze snadno nastavit potřebný úhel sypaní (na Obr. 3-10 nastaven 30°).



Obr. 3-9 Výsypná trubice varianta 3



Obr. 3-10 Výsypná trubice varianta 3 - v sestavě kolo-kolejnice

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

4

4.1 Výběr vhodných variant

4.1

Jako vhodné varianty pro dávkovače byly vybrány varianty 2 a 3. Varianta 2 byla vybrána po konzultaci se zástupci zadavatelské společnosti. Byla vybrána hlavně z toho důvodu, že má velice nízkou zástavbovou výšku a je tedy vhodná pro použití pod zásobníky písku v tramvajích, kde není příliš prostoru a je výhodné vyvádět hadici s pískem v horizontálním směru. Varianta číslo 3 byla vybrána díky unikátnímu způsobu upevnění z boku zásobníku. Což je také výhodné v případě omezení zástavbovými prostory kolejového vozidla. Písek je pak vyváděn svisle dolů, což může být výhodou v případě umístění dávkovače nad hnací kolo vozidla. Zařazením těchto dvou variant do sortimentu zadavatelské firmy, by firma získala tři odlišné koncepce dávkovačů, kterých by mohla využívat dle požadavků zákazníka. U variant zásobníku bylo vzhledem k možnostem firmy rozhodnuto pro výběr zásobníků ze svařovaného plechu.

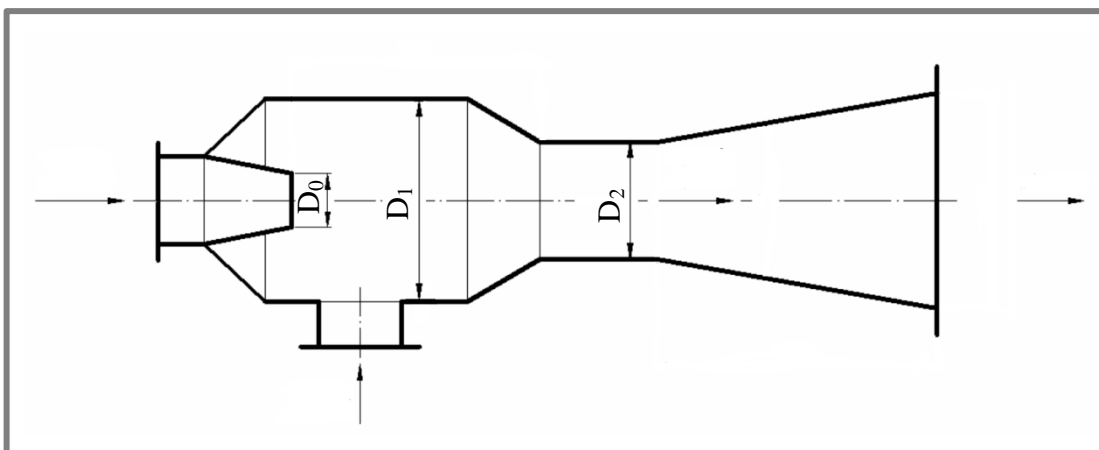
4.2 Návrhový výpočet dávkovače

4.2

Podtlakové dávkovače písku pracují na principu Venturiho trubice a jsou obdobou ejektorů. Zvolené konstrukční varianty pracují na obdobném principu a je tedy nutné provést předběžný návrhový výpočet některých vnitřních rozměrů. [25]

Pro výpočet ejektorů existuje mnoho výpočtových metod, které vychází zpravidla ze zákona zachování hmotnosti, energie a hybnosti, odlišnosti v metodách lze však nalézt v odhadech ztrát vzniklých prouděním. Pro účely diplomové práce byl proveden zjednodušený návrhový výpočet, jelikož je práce hlavně experimentální a požadované rozměry budou testovány na reálných modelech.

Bylo tedy přistoupeno k výpočtům rychlosti vzduchu v dávkovači, za účelem odhadnutí vnitřních průměrů trysky a nejmenšího průměru dýzy. Při výpočtu je pro jednoduchost uvažováno s nestlačitelným plynem a je vycházeno z rovnice kontinuity. Byly navrženy průměry D_0 , D_1 a D_2 a v nich byla spočítána rychlost. Požadavkem bylo, aby rychlost dosahovala hodnoty nejméně $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, která je požadována pro unášení látky s charakterem písku.



Obr. 4-1 Schéma ejektoru [25]

Znamé hodnoty:

$$Q_a = 95 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 1,583 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; D_0 = 5 \text{ mm}; D_1 = 18 \text{ mm}; D_2 = 10 \text{ mm}$$

Plocha průřezu:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 19,63 \text{ mm}^2 = 1,963 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Rychlost vzduchu v daném místě

$$v_0 = \frac{Q_a}{S_0} = \frac{1,583 \cdot 10^{-3}}{1,963 \cdot 10^{-5}} = 80,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Obdobně pak:

$$v_1 = 6,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_2 = 20,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:

Q_a	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	- Objemový průtok dodávaný dmychadlem
D_0	mm	- Průměr na výstupu trysky
D_1	mm	- Průměr směšovací komory
D_2	mm	- Průměr dýzy
S_0	m^2	- Plocha průřezu na výstupu z trysky
v_0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost vzduchu na výstupu z trysky
v_1	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost ve směšovací komoře
v_2	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost vzduchu v dýze

Z výpočtu je patrné, že rychlost ve směšovací komoře je nedostatečná pro unášení písku, ale lze předpokládat, že vzduch vystupující z trysky bude mít určitou setrvačnost a nezpomalí hned na hodnotu v_1 . Rychlost bude tedy částečně přecházet od v_0 do v_2 , tyto hodnoty už jsou dostatečné. Nutno podotknout, že výpočet má pouze informativní charakter a zanedbává spoustu jevů, jako např. stlačitelnost vzduchu, ztráty v dávkovači a další vlivy.

4.3 Testovací prototypy

Pro obě dvě varianty dávkovačů byly vyrobeny testovací prototypy tak, aby bylo možné snadno upravovat jejich vnitřní rozměry. Prototypy byly navrženy s ohledem na snadnou a nenákladnou výrobu a zároveň, aby byly zachovány přípojovací rozměry stejné jako má již vyráběný dávkovač společnosti Tribotec a to z důvodu připojení dávkovačů na testovací aparaturu na zkušebně pískování v Tribotecu. Jak již bylo zmíněno, dávkovače jsou navrženy tak, aby bylo snadné měnit některé, k tomu určené, vnitřní rozměry a další parametry, které by mohly ovlivňovat hmotnostní průtok písku.

4.3.1 Popis konstrukce dávkovače PZ01

Varianta dávkovače č. 2 byla nazvána PZ01. Její testovací prototyp se skládá z hlavního těla dávkovače (1 na Obr. 4-2) tvaru válce o průměru 80 mm a výšce 50 mm. Z jednoho čela je do válce vyvrtaná díra o průměru 35 a hloubce 40 mm. Kolmo na osu je na jedné straně válec ještě opatřen dírou o průměru 24 mm pro vsunutí

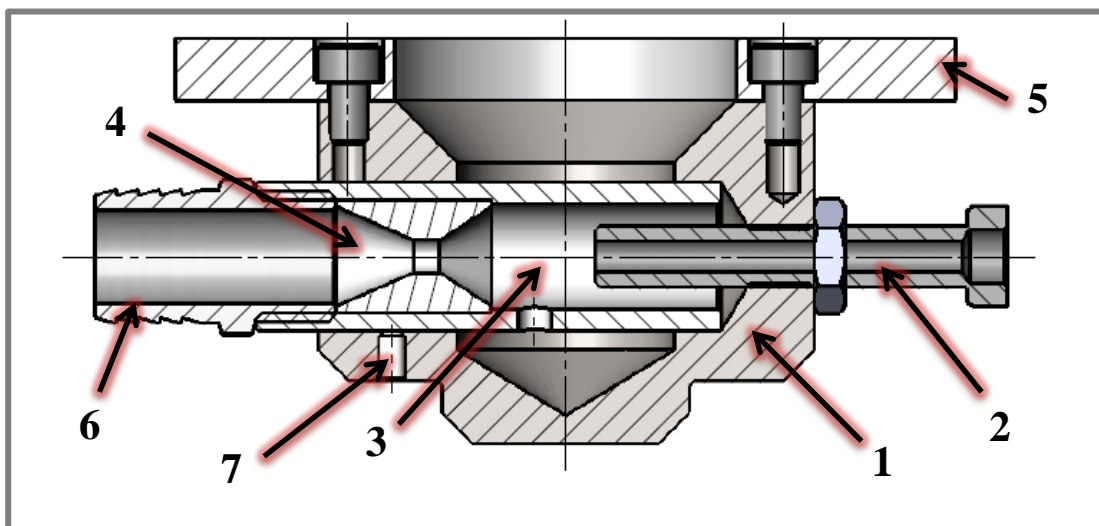
trubice, které tvoří směšovací prostor. Na druhé straně je opatřen závitovou dírou se závitem M10x1 pro připevnění trysky vzduchu.

Tryska přiváděného vzduchu (2 na Obr. 4-2) je vytvořena ze šroubu s šestihrannou hlavou, do kterého je koaxiálně vyvrtán průchozí otvor o průměru 5 mm. Na straně hlavy šroubu je navíc vyřezán vnitřní závit G1/8 pro připojení šroubení tlakového vzduchu. Tryska je vytvořena ze šroubu, protože je tak snadné regulovat její polohu v dávkovači.

Souose s tryskou je do dávkovače umístěna trubice tvořící směšovací prostor (3 na Obr. 4-2). Trubice má vnější průměr 24 mm a vnitřní 18 mm. Do vnitřního průměru se vkládá součást sloužící k urychlení vzduchu, proto je trubice uvnitř opatřena osazením tak, aby dýza dosedla na přesně určené místo. Navíc je na jedné straně do trubice vyřezán vnitřní závit G1/2 pro připojení vývodního šroubení ústícího do hadice (6 na Obr. 4-2). Tato trubice musí být opatřena sacím otvorem, proto bylo vyrobeno několik typů trubec s jedním nebo více otvory pro sání písku. Konkrétně byly testovány trubice s jedním otvorem směřujícím svisle dolů, se dvěma otvory se vzájemným úhlem 120° a se dvěma otvory se vzájemným úhlem 180° (obdobně jak je uvedeno na Obr. 3-3). Trubice je proti posouvání a otáčení zajištěna stavěcím šroubem M4 (7 na Obr. 4-2).

Do trubice je vsunuta dýza (4 na Obr. 4-2), která slouží pro zvýšení rychlosti vzduchu. Tvoří ji dutý válec o průměru 18 mm a délce 25 mm. Z vnitřní strany tvořen dvěma kuželovými plochami tak, aby v místě svého průniku vznikla díra s průměrem 3 mm.

K celému dávkovači je z horní strany připevněna redukční příruba (5 na Obr. 4-2) sloužící pro připojení k zásobníkům písku na zkušebně.



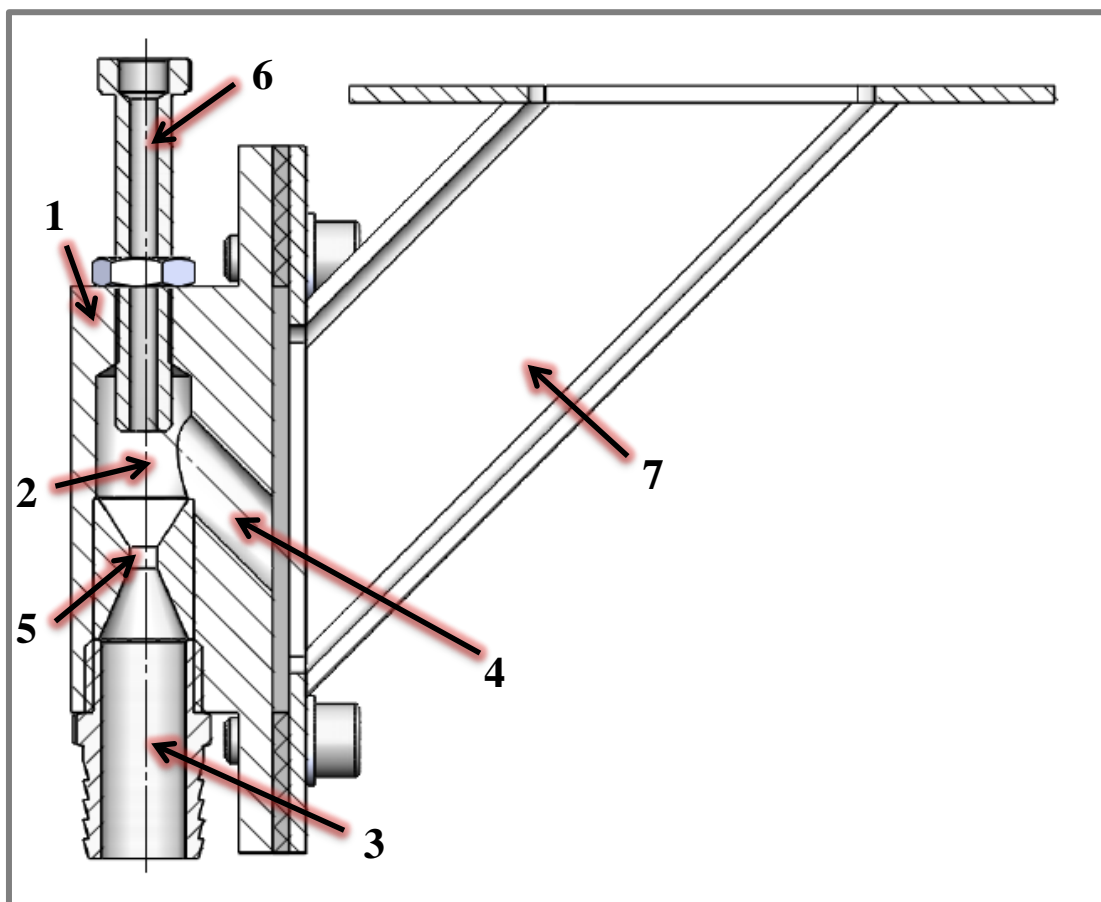
Obr. 4-2 Řez zkušebním prototypem dávkovače PZ01

4.3.2 Popis konstrukce dávkovače PZ02

4.3.2

Varianta dávkovače č. 3 byla nazvána PZ02. Pro testování byl navržen prototyp respektující princip funkce znázorněný na Obr. 3-4. Hlavní tělo dávkovače (1 na Obr. 4-3) je tvořeno hranolem o rozměrech 90x36-126 mm. Tímto hranolem

vede svisle otvor o průměru 18 mm sloužící jako směšovací prostor (2 na Obr. 4-3). Na jednom konci je otvor zakončen závitem M10x1 pro připojení vstupu tlakového vzduchu, na konci druhém je zakončen závitem G1/2 pro připojení výstupního šroubení (3 na Obr. 4-3). Otvor je opatřen osazením pro ustavení dýzy a zároveň je zhruba do středu směšovacího prostoru přiveden sací otvor (4 na Obr. 4-3), který je vrtán pod úhlem 45° směrem vzhůru, aby tvořil přepadovou hranu a nedocházelo k samovolnému vysypávání písku. Dýza je shodná jako u PZ01 pro snadnou výměnu a testování (5 na Obr. 4-3). Stejně jako u PZ01 je i zde tryska vzduchu tvořena stejným šroubem pro libovolné nastavení její polohy (6 na Obr. 4-3). Pro testování je dávkovač opatřen násypkou, která umožňuje jeho připevnění k zásobníkům písku na zkušebně ve svislé poloze (7 na Obr. 4-3).



Obr. 4-3 Řez zkušebním prototypem dávkovače PZ02

4.4 Podmínky měření

Měření probíhalo ve zkušebně pískování společnosti Tribotec (Obr. 4-4). Všechny typy měření probíhaly tak, že byl prototyp připevněn k zásobníku písku a připojen ke zdroji tlakového vzduchu (centrální rozvod vzduchu nebo dmýchadlo). K dávkovačům pak byla připojena hadice SEMPERIT FMO 20/28, která je použita i v reálných podmínkách. Hadice je zakončena reálnou vyhřívanou výsypnou trubicí

ze zařízení KOVA-03D ze sortimentu společnosti Tribotec. Experimenty vždy probíhaly tak, že bylo spuštěno pískování a po dobu třiceti sekund byl písek za výsypnou trubicí zachytáván do nádoby, která byla následně zvážena i s pískem pomocí laboratorní váhy NAGATA CTR. V každém pokusu pak byly zapsány podmínky měření a naměřené hodnoty.



Obr. 4-4 Zapojení prototypu při první zkoušce

4.4.1 Zdroj tlakového vzduchu

4.4.1

Dávkače byly testovány se zdrojem vzduchu z dmyhadla vyráběného společností Tribotec, které se využívá v tramvajových vozech. Dále byly testovány také se zdrojem vzduchu z centrálního rozvodu ve zkušebně.

Dmyhadlo Tribotec DM-1

Dmyhadlo (Obr. 4-5) je lamelového typu se třemi lamelami po 120°. Jako pohon slouží stejnosměrný motor napájený jmenovitým napětím 24V, které je poskytováno laboratorním zdrojem MANSION SPS-9602 na zkušebně. Výhoda při získávání tlakového vzduchu z dmyhadla je, že pneumatický okruh je značně jednoduchý a kromě filtru na vstupu, dmyhadla a dávkače písku neobsahuje žádné komponenty. Průtok vzduchu lze snadno ovládat otáčkami motoru respektive napětím na laboratorním zdroji. Nevýhodou dmyhadla však jsou jeho značně omezené parametry, co se týče průtoku a tlaku vzduchu.

Parametry dmyhadla:

Průtok vzduchu při nominálních otáčkách $Q_a - 95 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Tlak vzduchu
Nominální otáčky motoru
Nominální napětí zdroje
Nominální proud

$p_d - 0,2-1 \text{ bar}$
 $n_d - 4000 \text{ min}^{-1}$
 $U_{dn} - 24 \text{ V}$
 $A_{dn} - 10 \text{ A}$

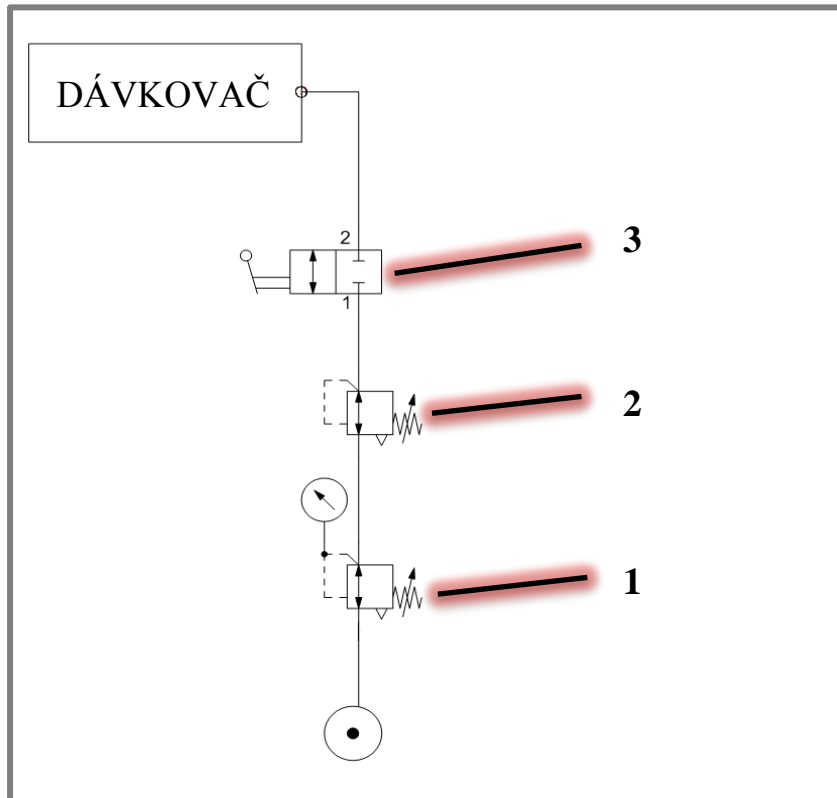


Obr. 4-5 Dmychadlo Tribotec DM-1

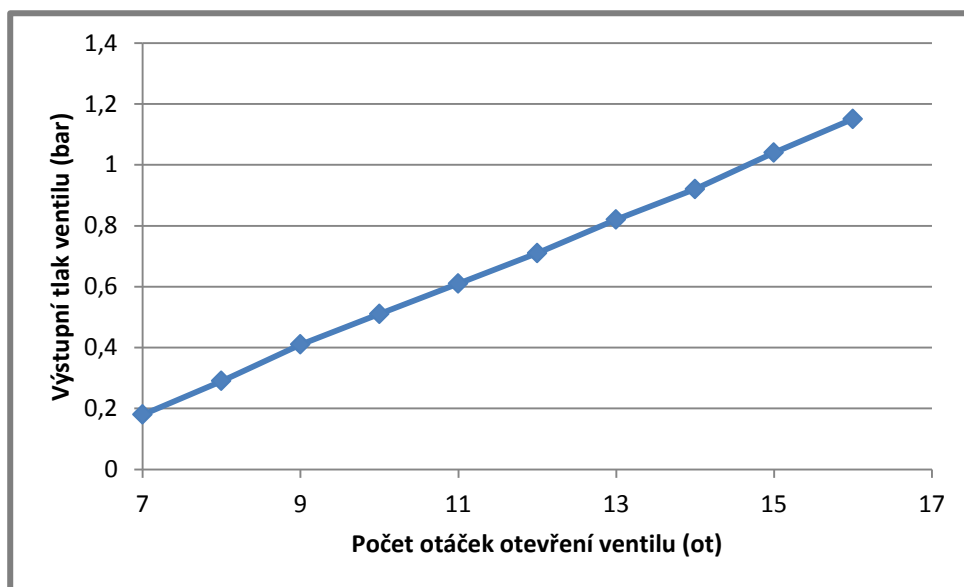
Centrální rozvod vzduchu

V případě provádění experimentů se zdrojem vzduchu z centrálního rozvodu jsou simulovány podmínky pro umístění zařízení na lokomotivě. Čili jsou k dispozici vysoké hodnoty tlaku a průtoku vzduchu. Pneumatický okruh se skládá z regulačního tlakového ventilu 0-10 bar (1 na Obr. 4-6), kterým je nastaven tlak cca 4 bar (pro simulování tlaku v systému rozvodu vzduchu lokomotivy), následuje citlivější regulační ventil tlaku 0-1 bar (2 na Obr. 4-6) pro nastavení požadovaného tlaku (průtoku) vzduchu. Za tímto ventilem je umístěn uzavírací kohout, kterým je ovládán přísun vzduchu do dávkovače (3 na Obr. 4-6).

Protože v okruhu není zapojen žádný přesný manometr, který by ukazoval jaký tlak je vpouštěn do dávkovače a jelikož výrobce regulačního ventilu (2 na Obr. 4-6) udává pouze regulovatelný rozsah od 0 do 1 bar, ale neudává, jak vysoký tlak ventil dodává při určitém otevření, bylo nutné zjistit tyto vlastnosti experimentálně. Bylo měřeno pět ventilů stejného typu, u kterých byla zjišťována závislost výstupního tlaku na otevření ventilu. Tuto charakteristiku ventilu bylo také nutné určit, protože v případě umístění na lokomotivě ventilová skříň neobsahuje manometr a požadovaný tlak se nastavuje počtem otáček otevření ventilu. Zprůměrované hodnoty z měření všech ventilů jsou v grafu na Obr. 4-7. Tato charakteristika byla dále používána k určování vstupního tlaku do dávkovače. Z měření bylo také zjištěno, že ventil začal propouštět vzduch až při sedmi otáčkách otevření ventilu.



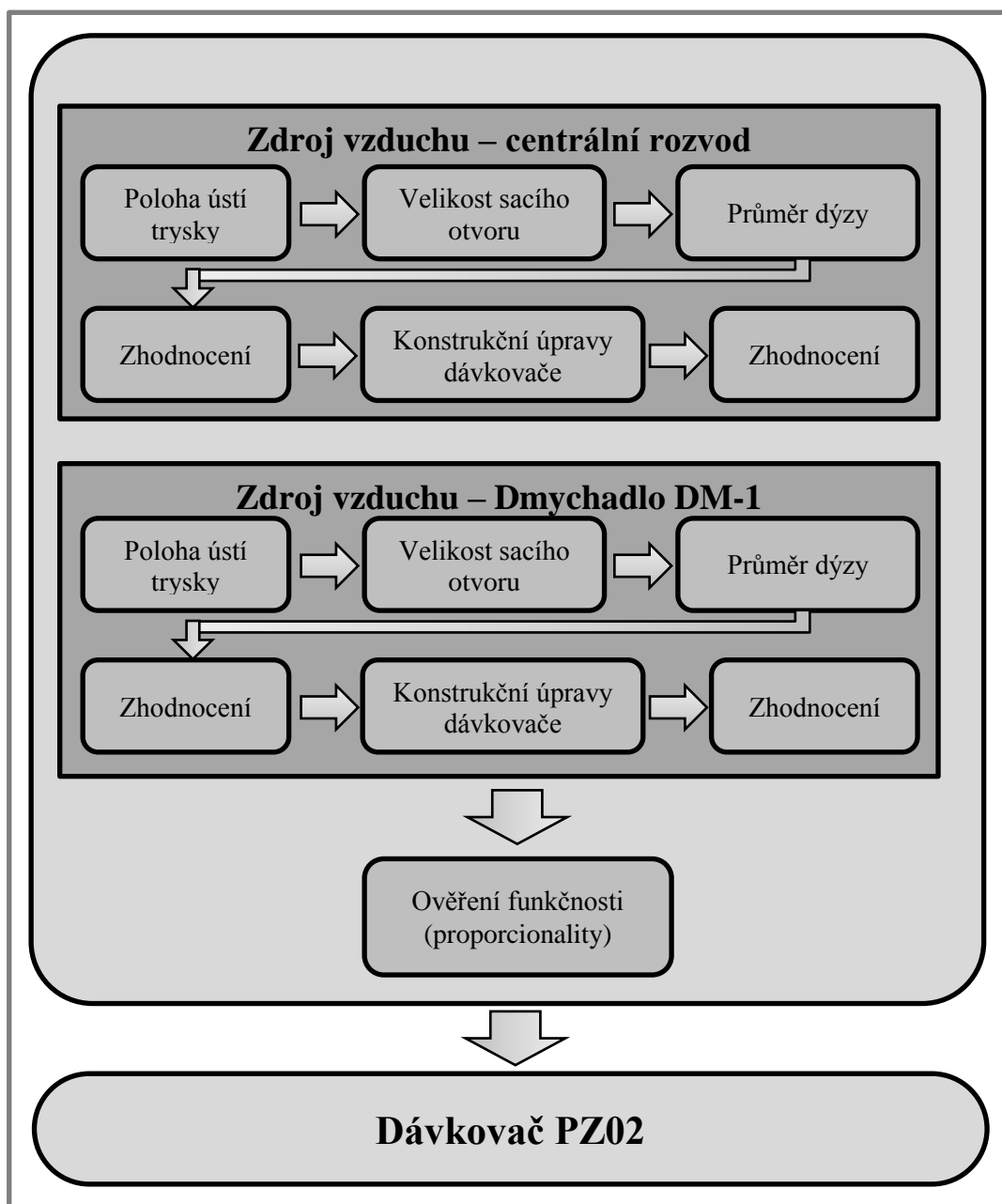
Obr. 4-6 Pneumatické schéma zapojení při testování se zdrojem vzduchu z centrálního rozvodu



Obr. 4-7 Charakteristika regulačního tlakového ventilu

4.5 Plán experimentů

Zpočátku bylo při experimentech postupováno podle statistického návrhu experimentu, to se však vzhledem k mnohým konstrukčním úpravám a předem neznámému počtu faktorů experimentu, ukázalo jako nevhodné. Proto bylo přistoupeno k návrhu vlastního plánu experimentu, který měl co nejlépe pokrýt možná měření. Diagram na Obr. 4-8 znázorňuje postup při experimentování. Nejprve byly zkoumány vlivy faktorů u dávkovače PZ01 s napojením na centrální rozvod vzduchu, poté byl stejný postup zopakován u stejného dávkovače napojeného na dmychadlo DM-1. Stejný postup následoval pro testování dávkovače PZ02 s tím, že už byly převzaty některé poznatky z testování dávkovače PZ01 pro vymezení některých krajních hodnot faktorů. Podrobněji je postup při měřeních pak popsán v kapitolách, které se věnují zjišťování vlivů konkrétních faktorů.



Obr. 4-8 Schéma plánu experimentů

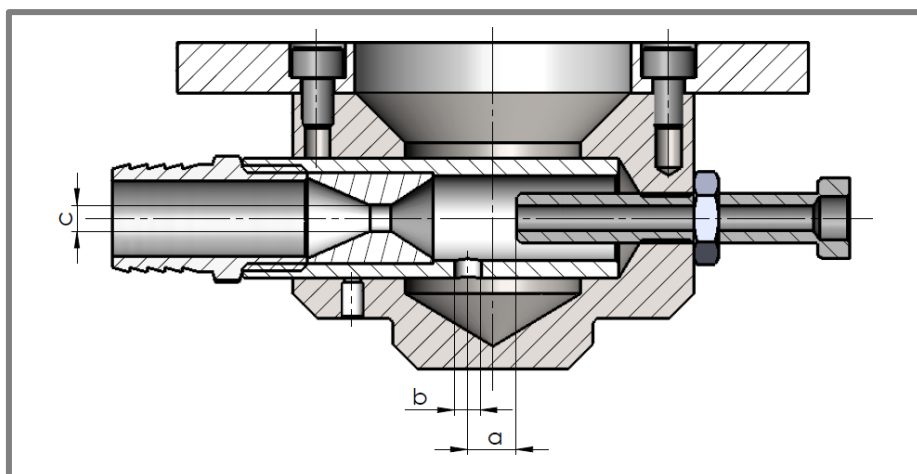
4.6 Testování dávkovače PZ01

Pro zkoumání ideálních vnitřních rozměrů dávkovače bylo zkoumáno několik faktorů a jejich vliv na hmotnostní průtok písku. Pro první experimenty byly zvoleny jako proměnné faktory tři rozměry dávkovače, a to:

- Vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru (rozměr a na Obr. 4-9)
- Průměr sacího otvoru (rozměr b na Obr. 4-9)
- Průměr zúžení dýzy (rozměr c na Obr. 4-9)

Také byl pro počáteční experimenty zvolen jemný písek (zrnitost 0,3 až 0,6 mm), protože se chová více jako tekutina než písek s vyšší zrnitostí a je citlivější na změnu proměnných faktorů a je tedy snazší rozhodovat o vlivu daných parametrů.

Nutno poznamenat, že bylo původně plánováno (rozměry b , c) postupovat od nejmenších rozměrů a postupně je převrtávat na větší, až do optimálních rozměrů. Původní návrh rozměru b byl 2 mm a pro rozměr c 3 mm. To se však ukázalo jako silné poddymenzování těchto rozměrů a bylo zjištěno, že je potřeba v obou případech alespoň průměr 5 mm, aby nedocházelo k jejich zacpání.



Obr. 4-9 Testované parametry u prototypu dávkovače PZ01

4.6.1 Zdroj tlakového vzduchu – centrální rozvod (PZ01)

Vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru

Jako první byl zkoumán vliv polohy ústí trysky vůči sacímu otvoru (rozměr a na Obr. 4-9)

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Průměr sacího otvoru b	5 mm
Průměr otvoru dýzy c	18 mm (testováno bez dýzy)
Zdroj tlakového vzduchu	Centrální rozvod vzduchu
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,7 bar

Vzdálenost ústí trysky a -10 až 15 mm

Zpočátku byla tryska 10 mm předsunuta před osu sacího otvoru (s ohledem na kótování Obr. 4-9 je tedy zapisována tato hodnota jako záporná) a následně byla posouvána směrem dozadu (proti proudu vstupujícího vzduchu) po 5 mm, až do hodnoty 15 mm za osou sacího otvoru.

Pro každou polohu trysky bylo provedeno pět měření, z nichž byl následně spočítán aritmetický průměr. Takto získané aritmetické průměry hmotnostního průtoku písku byly následně znázorněny v grafu (Obr. 4-10). Z měření bylo zjištěno, že ideální poloha ústí trysky je přímo nad osou sacího otvoru dávkovače. Vyšší hodnoty posunutí za osu sacího otvoru byly testovány, ale hodnoty měřené veličiny se značně snižovaly a nebyl z nich tedy počítán průměr, také nebyly zahrnuty do grafu. Poslední měření bylo provedeno úplně bez trysky, přičemž byl tlakový vzduch přiveden do míst, kde byla tryska zašroubována v dávkovači. Hodnota hmotnostního průtoku písku bez trysky byla 200 g/30 s

Průměr sacího otvoru

Dále byl zkoumán vliv průměru sacího otvoru (b na Obr. 4-9), přičemž poloha ústí trysky již byla nastavena dle předchozích měření do polohy, která umožňovala největší dávky hmotnostního průtoku písku.

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr otvoru dýzy c	18 mm (testováno bez dýzy)
Zdroj tlakového vzduchu	Centrální rozvod vzduchu
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,7 bar
Průměr sacího otvoru b	5 až 10 mm

Jak již bylo zmíněno výše, původní průměr sacího otvoru byl 2 mm. To však bylo nedostatečné, proto měření začínalo na průměru 5 mm a postupně byl otvor převrtáván na 6; 7,8 a 10 mm.

Původně byl otvor pouze jeden s osou orientovanou vertikálně. Později byly prováděny pokusy s více různě orientovanými sacími otvory, tyto pokusy jsou více popsány v kapitole 4.6.4.

Pro každou velikost sacího otvoru bylo provedeno 5 měření, z nichž byl následně vypočten aritmetický průměr. Zprůměrované hodnoty hmotnostního průtoku písku byly zaneseny do grafu (Obr. 4-11). Z grafu je patrné, že množství písku roste úměrně se zvětšováním sacího otvoru. Tento výsledek byl předpokládán, jelikož průměr tohoto otvoru teoreticky nemá vliv na podtlak vytvořený proudem vzduchu a je tedy žádoucí, aby byl otvor spíše větší a nekladl tak příliš vysoký odpor proudícímu písku (popř. by mohlo docházet k zacpávání).

Průměr zúžení dýzy

Jako poslední z prvních experimentů byl testován vliv malého průměru dýzy (c na Obr. 4-9) na hmotnostní průtok písku. Dávkovač byl nastaven dle předchozích

měření tak, aby ústí trysky vzduchu bylo zarovnáno s osou sacího otvoru, jehož průměr byl 10 mm.

Podmínky pokusů:

Dávkoč	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr sacího otvoru b	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Centrální rozvod vzduchu
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,7 bar
Průměr otvoru dýzy c	5 až 18 mm (průměr 18 mm je testování bez dýzy)

Měření ukázalo, že průměr 5 mm je málo na to, aby jím mohl proudit dostatečný průtok vzduchu a písku zároveň. Při použití tohoto průměru zařízení vůbec nepískovalo. Průměr byl tedy postupně převrtáván až na hodnotu 7,8 mm, která již byla dostatečná pro funkci dávkoče. Byly tedy testovány pouze tři hodnoty a to 7,8 mm, 10 mm a dávkoč bez dýzy (čili průměr 18 mm).

Ukázalo se, že se zvětšujícím se průměrem dýzy se zvětšoval i hmotnostní průtok písku. Mohlo by se tedy zdát, že je dýza v dávkoči zbytečná. To se však v pozdějších testech ukázalo jako mylná domněnka. Bylo prokázáno, že dýza je velmi důležitá při nižších průtocích vzduchu, což odpovídá situaci s dmychadlem jako zdrojem vzduchu.

Pro každou hodnotu průměru otvoru bylo naměřeno 5 hodnot průtoku písku, ze kterých byl vypočten aritmetický průměr. Průměrové hodnoty byly následně vyneseny do grafu (Obr. 4-12).

4.6.2 Zdroj tlakového vzduchu – dmychadlo Tribotec (PZ01)

4.6.2

Tyto tři experimenty byly zopakovány ve stejném smyslu, ale s použitím dmychadla vyráběného společností Tribotec, jako zdrojem tlakového vzduchu.

Vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru

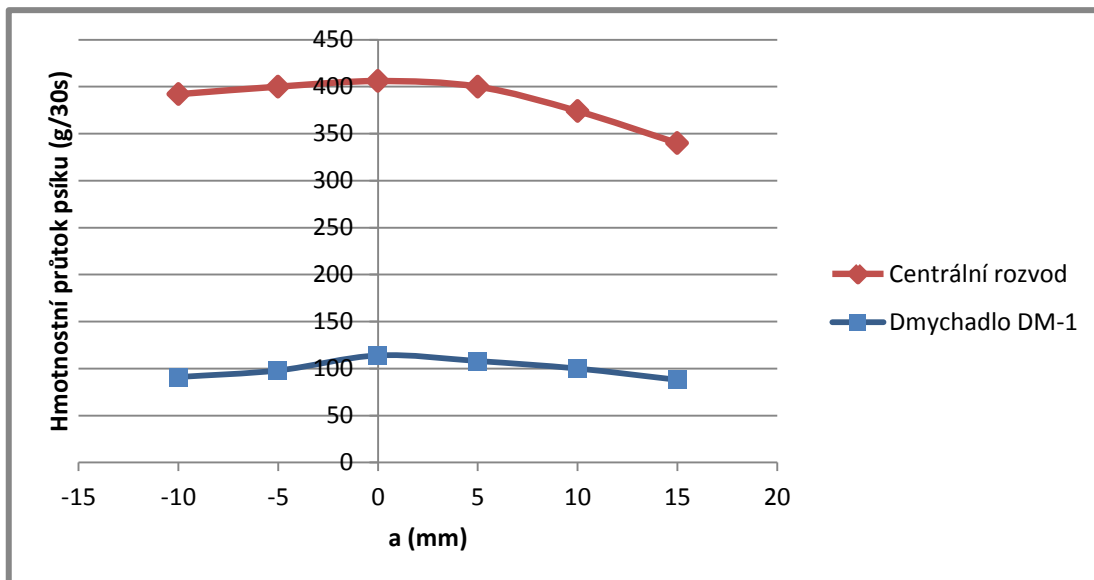
Podmínky pokusů:

Dávkoč	PZ01
Průměr sacího otvoru b	7,8 mm
Průměr otvoru dýzy c	7,8 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Vzdálenost ústí trysky a	-10 až 15 mm

Pro tento experiment byly zvoleny střední hodnoty průměru sacího otvoru a průměru zúžení dýzy (v obou případech 7,8 mm).

Experiment probíhal stejně jako se zdrojem tlaku z centrálního systému tak, že ústí trysky bylo zpočátku předsunuto před osu sacího otvoru o 10 mm a každé následující měření byla posunuta tryska o 5 mm proti proudu vzduchu, až do hodnoty 15 mm. Bylo provedeno pět měření pro každou polohu, z nichž byly následně vypočítány aritmetické průměry a vyneseny do grafu (Obr. 4-10).

Měření se potvrdily předpoklady, že největší hodnoty průtoku písku budou v případě umístění ústí trysky přímo v ose sacího otvoru. Hodnoty průtoku písku však byly velmi malé (cca 25% požadované hodnoty).



Obr. 4-10 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na vzdálenosti ústí trysky od sacího otvoru (PZ01)

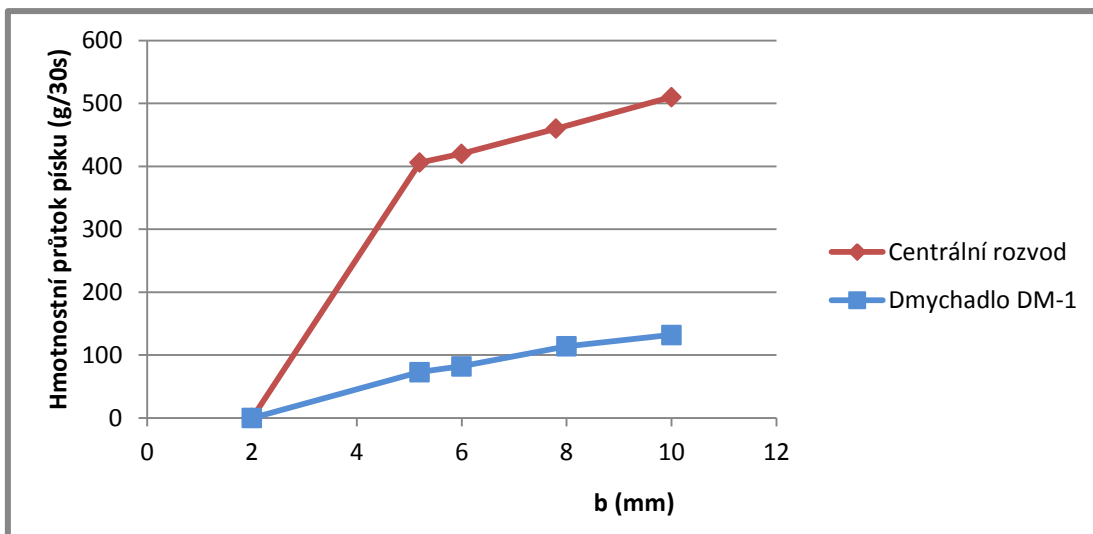
Průměr sacího otvoru

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr otvoru dýzy c	7,8 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Průměr sacího otvoru b	5 až 10 mm

V tomto případě experiment probíhal také stejně jako se zdrojem tlaku z centrálního rozvodu vzduchu. Ústí trysky již bylo nastaveno do ideální polohy dle předchozího měření. Zprůměrované hodnoty z každého měření byly vyneseny do grafu (Obr. 4-11).

Výsledky byly obdobné jako u použití centrálního rozvodu vzduchu, čili se zvětšováním průměru sacího otvoru úměrně rostl hmotnostní průtok písku, avšak hodnoty dosahovaly pouze cca 25% požadovaných hodnot, stejně jako v předchozím případě.



Obr. 4-11 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na velikosti sacího otvoru (PZ01)

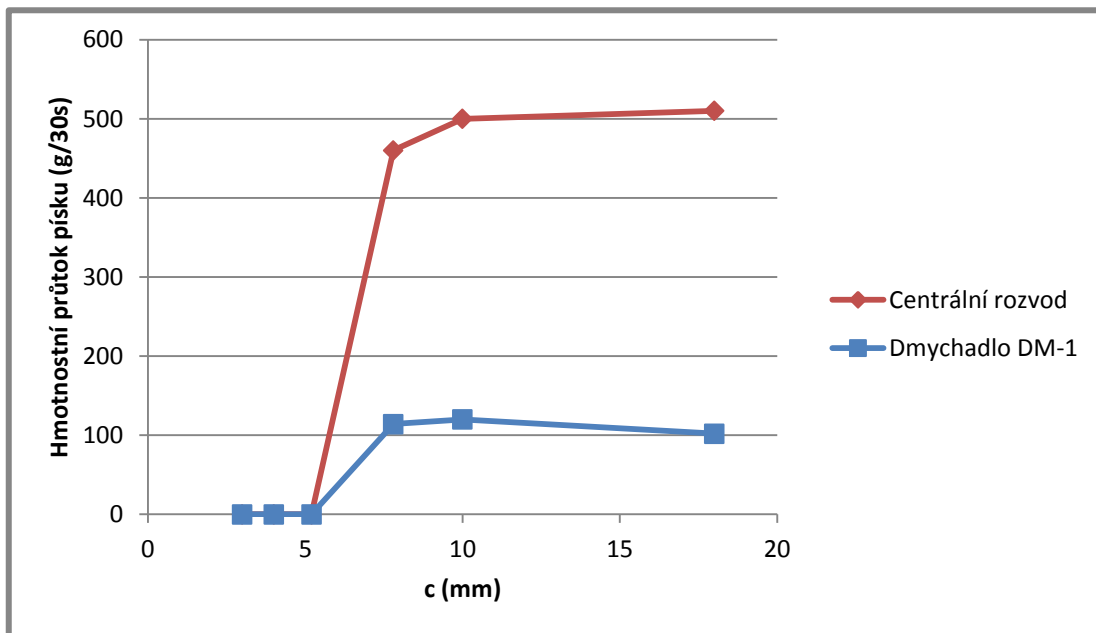
Průměr zúžení dýzy

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr sacího otvoru b	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Průměr otvoru dýzy c	5 až 18 mm (průměr 18 mm je testování bez dýzy)

Experiment vlivu nejmenšího průměru dýzy měl stejný průběh jako v případě zdroje tlaku z centrálního rozvodu vzduchu. I v tomto případě se ukázalo, že průměr 5 mm je málo a dochází k jeho zacpávání a zařízení tedy nepískuje. Proto bylo měření provedeno pouze pro tři hodnoty průměru dýzy (respektive dvě, protože hodnota 18 mm reprezentuje pokus s vyjmutou dýzou). Z naměřených hodnot pak byly vypočítány aritmetické průměry pro každý průměr otvoru dýzy a následně vyneseny do grafu (Obr. 4-12).

Při experimentu se ukázalo, že dýza má skutečně svůj význam, protože při měření s dýzou o průměru 10 mm zařízení dávalo vyšší hodnoty průtoku písku než v případě s vyjmutou dýzou. To se v pozdějších experimentech ještě několikrát potvrdilo. I v tomto případě experimentu s dmychadlem byly hodnoty sledované veličiny několika násobně nižší, než je požadováno.



Obr. 4-12 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na průměru otvoru dýzy (PZ01)

4.6.3 Zhodnocení měření na zařízení PZ01

Z experimentů prováděných na prototypu pískovacího zařízení PZ01 lze vyvodit několik závěrů.

- 1) Ideální poloha ústí trysky tlakového vzduchu je v ose sacího otvoru.
- 2) Hmotnostní průtok písku se zvyšuje úměrně s velikostí sacího otvoru
- 3) Nejlepší hodnoty hmotnostního průtoku písku byly naměřeny při použití dýzy o průměru 10 mm
- 4) Jelikož současně používané dmychadlo společnosti Tribotec, je schopno dodat hodnotu průtoku vzduchu pouze 90 l·min⁻¹, tak není v současném zapojení příliš vhodné pro použití u podtlakového dávkovače na Venturiho principu.

Z výsledků lze tedy říci, že navržený dávkovač by mohl pracovat na vlakových soupravách, kde by byl zdrojem tlakového vzduchu centrální rozvod. Hodnoty hmotnostního průtoku písku jsou uspokojující pro vlakové soupravy do rychlostí 140 km/h a to v případě je-li:

- Ústí trysky v ose sacího otvoru
- Průměr sacího otvoru 10 mm
- Průměr dýzy 10 mm

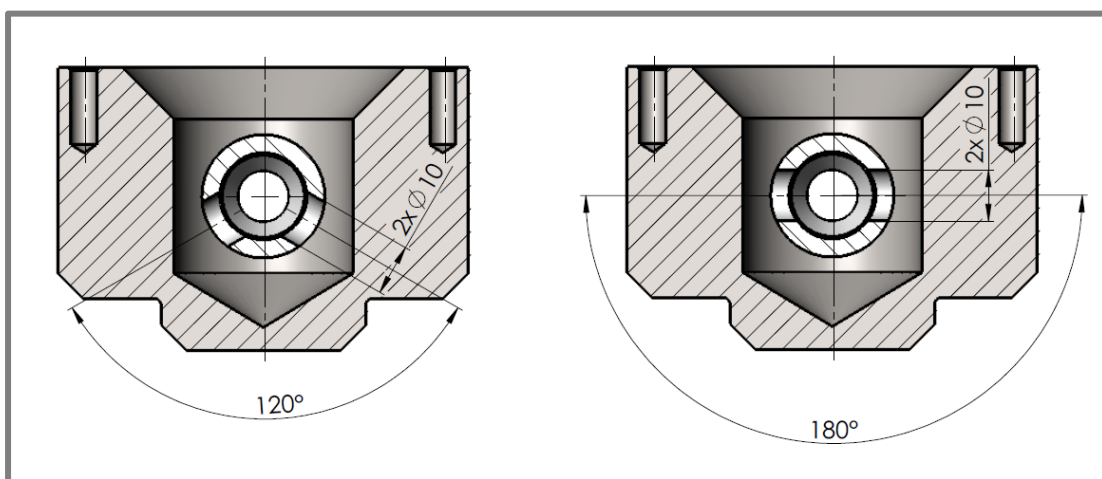
Avšak pro použití na tramvajových vozech je nutno provést konstrukční úpravy dávkovače protože hodnoty hmotnostního průtoku písku jsou značně nedostatečné.

4.6.4 Návrh a ověření funkčnosti konstrukčních úprav dávkovače PZ01

Pro zvýšení hodnoty průtoku písku bylo postupně navrženo a vyzkoušeno několik konstrukčních úprav dávkovače

Více sacích otvorů

Jako první byly provedeny testy s více sacími otvory písku. Konkrétně byly využity dva otvory o průměru 10 mm, které byly vzájemně umístěny po 120° nebo 180° (viz Obr. 4-13). To mělo zapříčinit zvýšení průtoku písku díky snazšímu nasávání. Nevýhodou této úpravy však může být, že písek by se vlivem vibrací během jízdy mohl do dávkovače sypat samovolně a následně by mohlo docházet k nežádoucím únikům písku z pískovacího zařízení.



Obr. 4-13 Úpravy v podobě dvou sacích otvorů

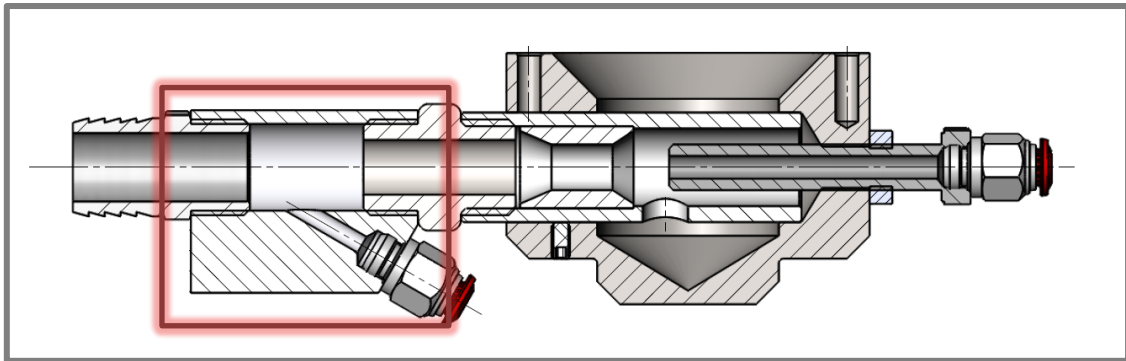
Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr otvoru dýzy c	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Průměr sacího otvoru b	2x10 mm po 120° (resp. 180°)

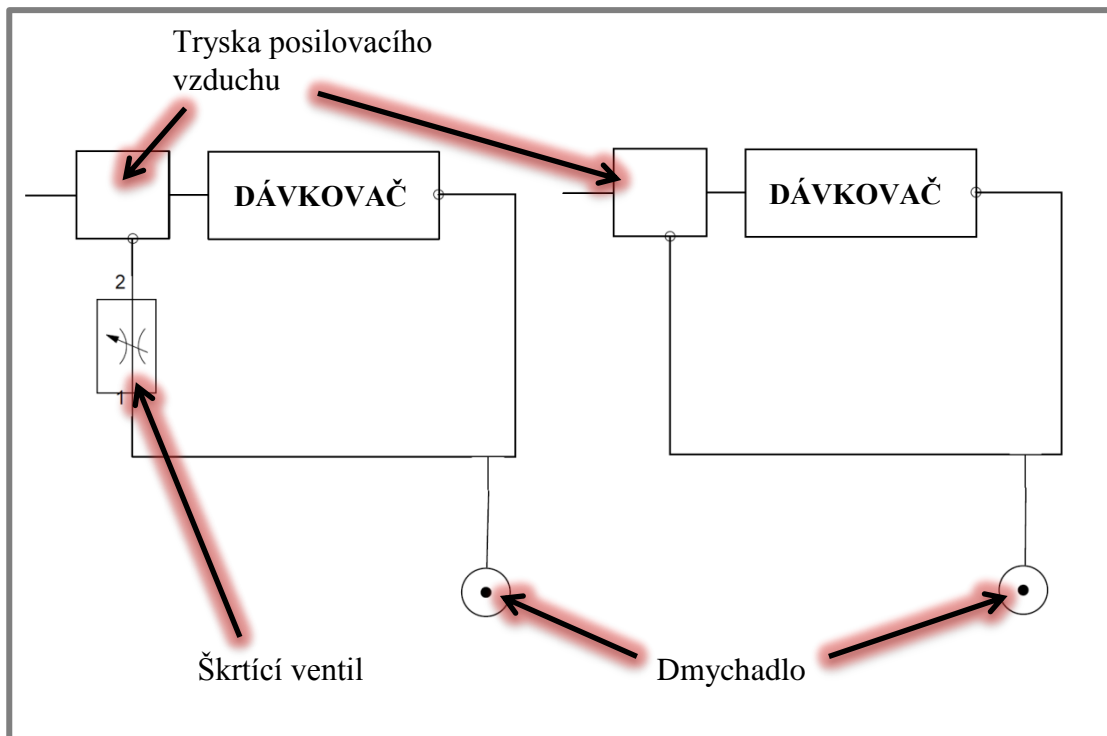
Hodnoty hmotnostního průtoku písku pro variantu se dvěma otvory po 120° byly 181 g/30s, pro variantu se dvěma otvory po 180° pak 223 g/30s. Tyto hodnoty jsou ovšem také nedostatečné pro splnění požadavků udávaných normou.

Posilovací tryska

Vzhledem k tomu, že několik výrobců využívá posilovací vzduch umístěný za dávkovačem písku, bylo přistoupeno k návrhu tohoto konceptu. Byla vyrobena tryska umožňující připojení za dávkovač písku (Obr. 4-14). Vzduch vedoucí z dmyhadla byl rozdělen na dvě části, hlavní větev vedla vzduch do dávkovací trysky a druhá vedla vzduch do posilovací trysky umístěné za dávkovačem (Obr. 4-15). Tato větev byla zkoušena se škrťicím ventilem, ale i bez něj, kdy poměr vzduchu dávkovací/posilovací byl 1/1. V případě škrťicího ventilu dávkovací vzduch tvořil 80 až 90 % celkového dodávaného průtoku vzduchu, zbytek tvořil profukovací vzduch (dle nastavení škrťicího ventilu).



Obr. 4-14 Umístění posilovací trysky na dávkovači PZ01

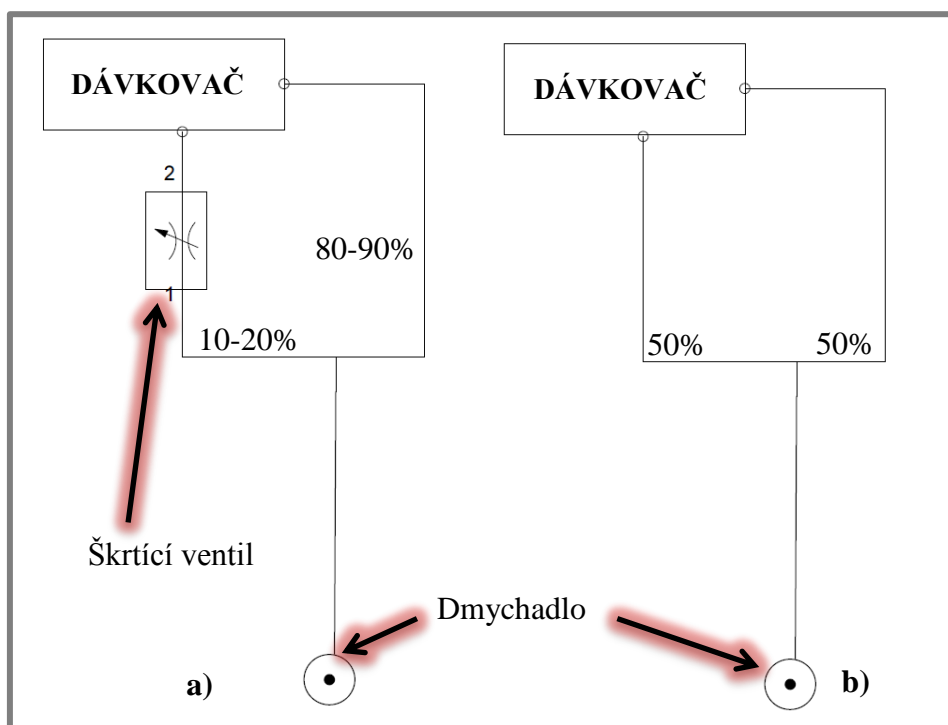


Obr. 4-15 Pneumatické schéma dávkovače s posilovacím vzduchem se škrťicím ventilem (vlevo), bez škrťicího ventilu (vpravo)

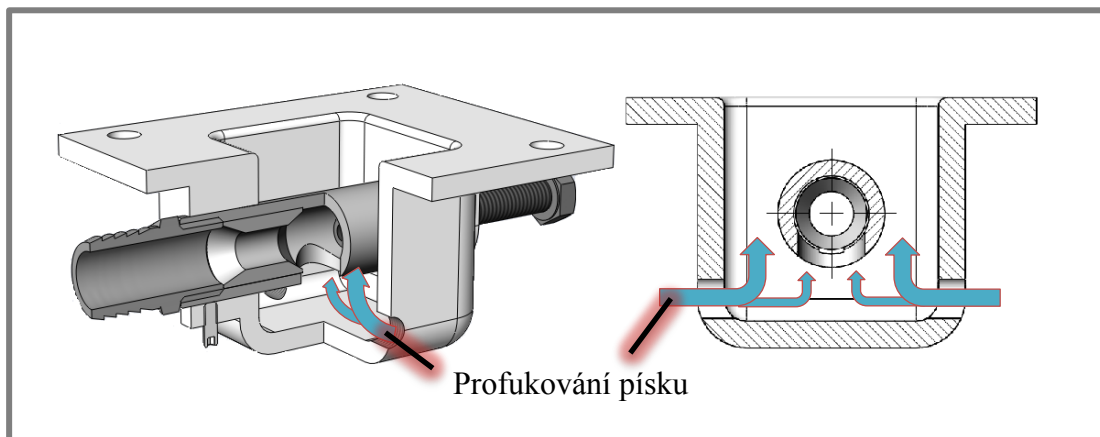
V obou případech zapojení posilovací tryska velmi razantně snižovala hmotnostní průtok písku. Zprůměrované naměřené hodnoty průtoky písku činily 20,8 g/30s, čili zhruba 10% průtoku bez posilovací trysky a asi 4% požadované hodnoty. Proto byla tato úprava zamítnuta.

Profukování písku

Jako další konstrukční úprava pro zvýšení hmotnostního průtoky písku při dodávání tlakového vzduchu z dmyhadla byl návrh profukování písku v dávkovači. Profukování písku slouží primárně k vysoušení písku v dávkovači, avšak během testů bylo zjištěno, že správně situované profukování písku dokáže značně zlepšit schopnost dávkovače nasávat písek. Je to zapříčiněno tím, že dobře provzdušněný písek se stává více „tekutým“ a zároveň je zabráněno udusávání písku v dávkovači vlivem vibrační jízdy. V dávkovači byly vytvořeny kanály pro vedení profukovacího vzduchu do potřebného místa. Větev posilovacího vzduchu byla při testování v jednom případě opatřena škrťacím ventilem, kterým bylo možné regulovat dávky profukovacího vzduchu (*a* na Obr. 4-16). Ale byly provedeny i měření bez škrťacího ventilu na větví posilovacího vzduchu (*b* na Obr. 4-16). Pro toto testování bylo použito nové tělo dávkovače, které bylo pro urychlení výroby vytvořeno metodou rapid prototyping. V novém těle byl zvětšen prostor pro sypání písku okolo trubice a samotná trubice pak byla opatřena sacím otvorem o průměru 16 mm.



Obr. 4-16 Pneumatické schéma při měření s profukovacím vzduchem se škrťacím ventilem (vlevo) a bez škrťacího ventilu (vpravo)



Obr. 4-17 Znáznornění profukování na prototypu dávkovače PZ01

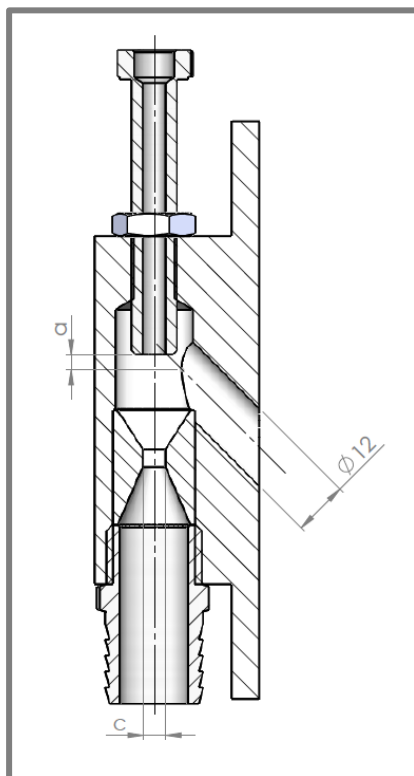
Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ01
Vzdálenost ústí trysky a	0 mm
Průměr otvoru dýzy c	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Průměr sacího otvoru b	16 mm

Při měření bylo prokázáno, že profukování písku ve správném přesně daném místě výrazně zvyšuje schopnost dávkovače nasávat písek do směšovacího prostoru. Hodnoty hmotnostního průtoku písku dosahovaly 467 g/30s, což je optimální pro tramvajová kolejová vozidla a vlaky pro rychlosti do 140 km/h. Tato konstrukční úprava byla uznána jako vyhovující a jednoznačně zlepšující schopnost dávkovače dodávat větší hmotnostní průtok písku.

4.7 Testování dávkovače PZ02

Při provádění měření u dávkovače PZ02 bylo již přihlédnuto k výsledkům z experimentů prováděných na dávkovači PZ01. Je to z důvodu urychlení experimentů, a to např. na změnu technologicky nejnáročnější faktor průměr sacího otvoru byl zvolen od počátku 12 mm. Tento otvor je totiž pod úhlem 45° a musel by být převrtáván na stojanové vrtačce se speciálním svěrákem umožňujícím vrtat díry pod úhlem. Navíc bylo z předchozích experimentů prokázáno, že s růstem průměru sacího otvoru úměrně roste hmotnostní průtok písku. Dále tedy testovanými faktory byly pouze vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru (a na Obr. 4-18) a velikost otvoru dýzy (c na Obr. 4-18).



Obr. 4-18 Testované parametry prototypu dávkovače PZ02

4.7.1 Zdroj tlakového vzduchu – centrální rozvod (PZ02)

4.7.1

Vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru

Jako první byl u dávkovače PZ02 zkoumán vliv polohy ústí trysky vůči sacímu otvoru (rozměr a na Obr. 4-18)

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ02
Průměr sacího otvoru b	12 mm
Průměr otvoru dýzy c	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Centrální rozvod vzduchu
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,6 bar
Vzdálenost ústí trysky a	-5 až 15 mm

Zpočátku byla tryska 5 mm předsunuta před osu sacího otvoru (s ohledem na kótování Obr. 4-18 je tedy zapisována tato hodnota jako záporná) a následně byla posouvána směrem dozadu (proti proudu vstupujícího vzduchu) po 5 mm, až do hodnoty 15 mm za osu sacího otvoru.

Pro jednotlivé polohy trysky bylo provedeno pět měření, ze kterých byl následně spočítán aritmetický průměr a tyto hodnoty byly zaneseny do grafu (Obr. 4-19) Z měření vyplývá, že optimální poloha ústí trysky je 5 mm za středem sacího

otvoru. Přibližně to vychází do místa, kde pomyslná osa sacího otvoru protíná osu trysky dávkovacího vzduchu.

Průměr zúžení dýzy

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ02
Vzdálenost ústí trysky a	5 mm
Průměr sacího otvoru b	12 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Centrální rozvod vzduchu
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,6 bar
Průměr otvoru dýzy c	10 mm

Experiment probíhal obdobně jako u dávkovače PZ01, a to tak, že byly postupně měněny dýzy s různými průměry otvoru od 4 do 10 mm. Poslední měřená hodnota 18 mm znamená měření s vyjmutou dýzou. S každou hodnotou průměru dýzy bylo provedeno pět měření, která byla následně zprůměrována a zanesena do grafu (Obr. 4-20). Stejně jako u zařízení PZ01 bylo prokázáno, že hodnoty průměru 4 a 5 mm jsou příliš malé, dýza se zacpávala a hmotnostní průtok písku byl tedy nulový. Nejmenší průměr, při kterém zařízení bylo schopno pracovat, byl 7,8 mm. Jako nejlepší se jevil otvor dýzy o průměru 18 mm (bez dýzy), ale stejně jako v případě PZ01 i zde bylo později prokázáno, že dýza s průměrem 10 mm je dostačující a v případech s nižším průtokem vzduchu dokonce lepší, než když zařízení dýzu postrádá.

4.7.2 Zdroj tlakového vzduchu – dmychadlo Tribotec (PZ02)

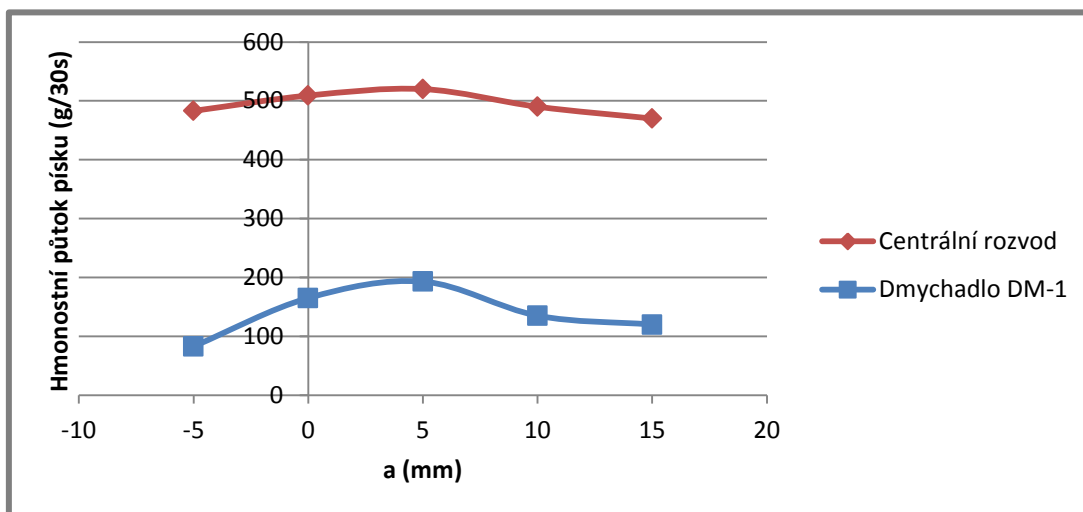
Experimenty zmíněné v předchozí kapitole byly zopakovány se zdrojem tlakového vzduchu z dmychadla DM-1, pro simulování podmínek využití v tramvaji.

Vzdálenost ústí trysky od osy sacího otvoru

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ02
Průměr sacího otvoru b	12 mm
Průměr otvoru dýzy c	10 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Vzdálenost ústí trysky a	-5 až 15 mm

Pro tento experiment byl zvolen průměr otvoru dýzy 10 mm a průměr sacího otvoru 12 mm. Vše probíhalo obdobně jako u měření s tlakovým vzduchem z centrálního rozvodu. Ústí trysky bylo postupně posouváno od hodnoty -5 až do 15 mm s krokem 5 mm. Zprůměrované hodnoty měření pak byly zaneseny do grafu (Obr. 4-19). Zde se také prokázalo, že nejlepší hodnota polohy trysky je, když je její ústí 5 mm za osou sacího otvoru.



Obr. 4-19 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na poloze ústí trysky vzhledem k sacímu otvoru (PZ02)

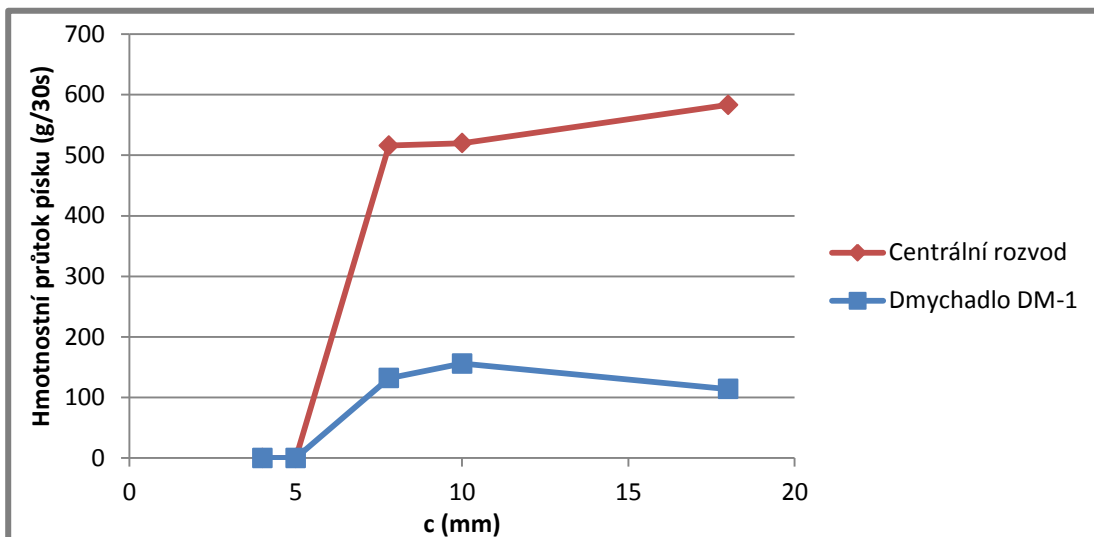
Průměr zúžení dýzy

Podmínky pokusů:

Dávkovač	PZ02
Vzdálenost ústí trysky <i>a</i>	5 mm
Průměr sacího otvoru <i>b</i>	12 mm
Zdroj tlakového vzduchu	Dmychadlo Tribotec DM-1
Zrnitost písku	0,3 až 0,6 mm
Vstupní tlak vzduchu	0,2 bar
Průměr otvoru dýzy <i>c</i>	4 až 18 mm (průměr 18 mm je testování bez dýzy)

Tato měření probíhala opět obdobně jako se zdrojem vzduchu z centrálního rozvodu vzduchu. Také zde se prokázalo, že průměr 5 mm je příliš malý a docházelo k jeho ucpávání. Zprůměrované hodnoty hmotnostních průtoků písku jsou zaneseny do grafu (Obr. 4-20).

Stejně jako v případě zařízení PZ01 i zde se prokázalo, že dýza má svůj význam při nižších hodnotách průtoku vzduchu, protože zařízení bez dýzy dosahovalo nižších hodnot hmotnostního průtoku písku.



Obr. 4-20 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na průměru dýzy (PZ02)

4.7.3 Zhodnocení měření na zařízení PZ02

Z experimentů, které byly provedeny na zařízení PZ02 bylo vyvozeno několik závěrů.

- 1) Ukázalo se, že ideální poloha ústí trysky je přibližně 5 mm za osou sacího otvoru.
- 2) Nejvýhodnější hodnoty hmotnostního průtoku písku byly naměřeny při použití dýzy s otvorem o velikosti 10 mm.
- 3) Stejně jako u zařízení PZ01 i zde se ukázalo, že v navrženém zapojení a s navrženým prototypem dávkovače PZ02 je dmychadlo DM-1 nedostatečný zdroj tlakového vzduchu pro dosažení ideálních dávek pískování, které udává norma.

Stejně jako v předchozím případě i zde lze konstatovat, že navržený prototyp dávkovače s nastavením optimálních parametrů (dle měření) může pracovat na vlakových soupravách. V pozdějších měřeních se ukázalo, že po zvyšování tlaku regulačním ventilem (při 1,6 bar), hmotnostní průtok písku dodávaný dávkovačem dosahoval hodnot až 800 g/30. Dávkovač v nezměněné podobě lze tedy využít i pro vlakové soupravy určené pro rychlosti nad 140 km/h. Optimální parametry přitom jsou:

- Ústí trysky je umístěno 5 mm za osou sacího otvoru
- Průměr sacího otvoru je 12 mm
- Průměr dýzy 10 mm

Je však nutné zdůraznit, že pro použití na tramvajových vozidlech je potřeba na dávkovači provést konstrukční úpravy, aby byl schopen dosahovat požadovaného množství písku za čas.

Obecně však lze říci, že dávkovač PZ02 se chová stabilněji a je možné s ním dosáhnout vyšších hmotnostních průtoků písku než u dávkovače PZ01.

4.7.4 Návrh a ověření funkčnosti konstrukčních úprav dávkovače PZ02

4.7.4

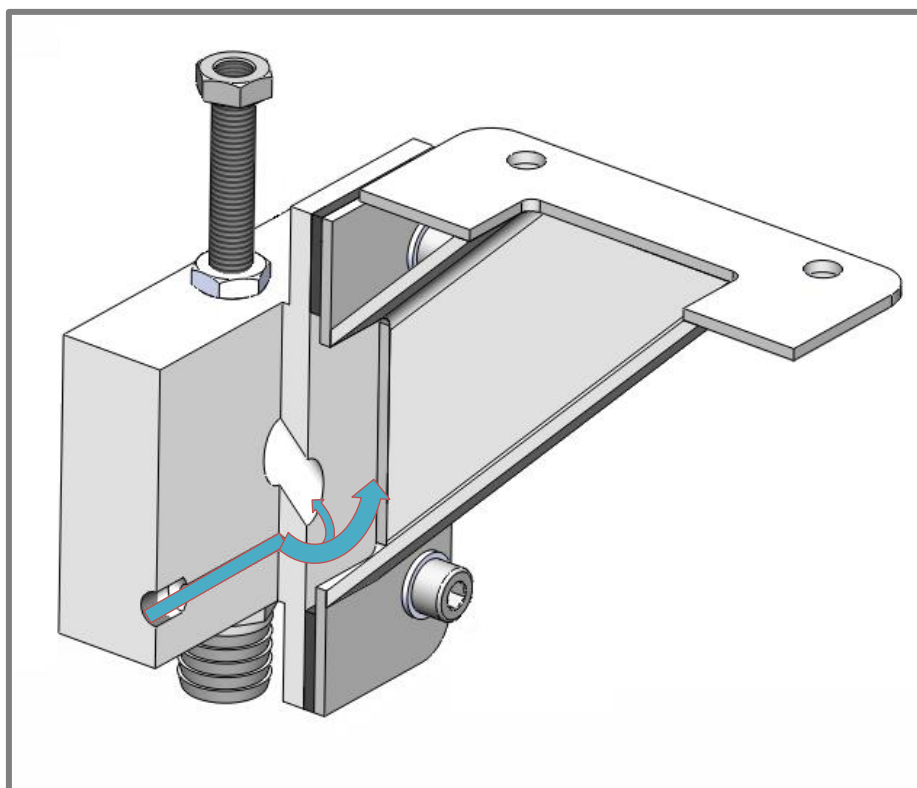
Za účelem zvýšení hmotnostního průtoku písku při zapojení dávkovače s dmychadlem bylo navrženo několik úprav.

Posilovací tryska

Stejně jako u dávkovače PZ01 i zde byl testován vliv posilovací trysky. Pneumatické zapojení bylo stejné jako v předchozím případě (Obr. 4-15). Tryska byla umístěna těsně za dávkovač rovněž jako u PZ01. I zde se však ukázalo, že vliv posilovací trysky má výrazně opačný účinek a hmotnostní průtok písku nepřesáhnul 40 g/30s.

Profukování písku

Bylo přistoupeno k návrhu kanálů pro vedení posilovacího vzduchu. Pneumatické zapojení zůstalo stejné jako u PZ01 (Obr. 4-16). Kanál profukování byl na prototypu navržen dle Obr. 4-21. Návrh profukování za účelem zvýšení dávek písku se ukázal úspěšný a hmotnostní průtok písku se zvýšil několika násobně. Při plně otevřeném škrticím ventilu dosahoval hmotnostní průtok písku až 860 g/30s což je mnohem více než uspokojivé, až nežádoucí množství písku. Proto byl profukovací vzduch přiškrčen na 80% dávkovacího vzduchu (3 otáčky otevření ventilu).

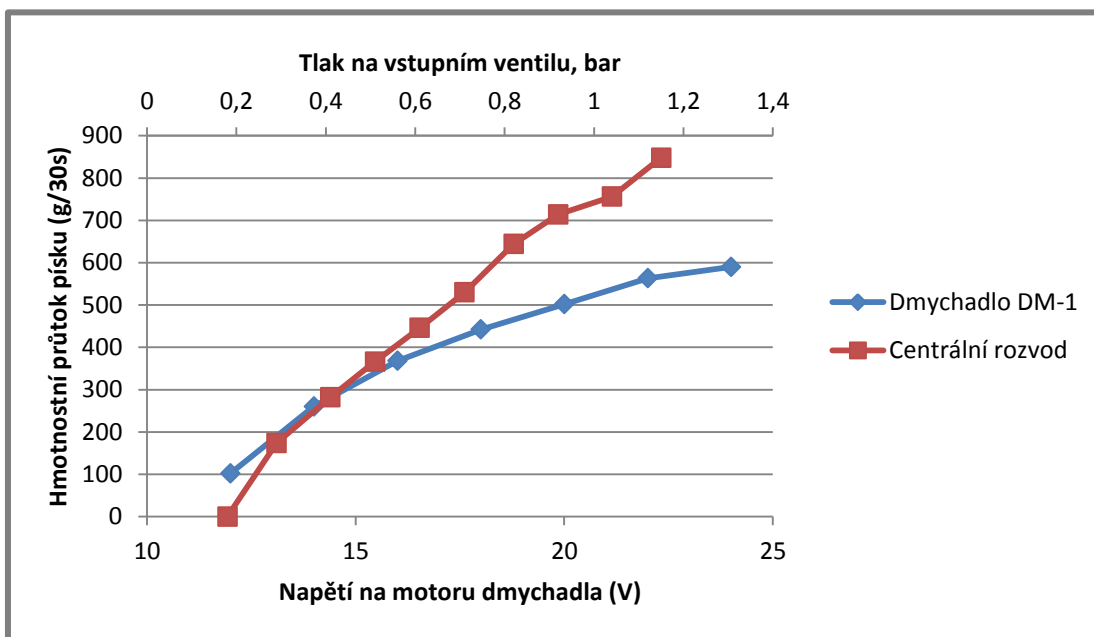


Obr. 4-21 Znárodnění profukování písku na prototypu PZ02

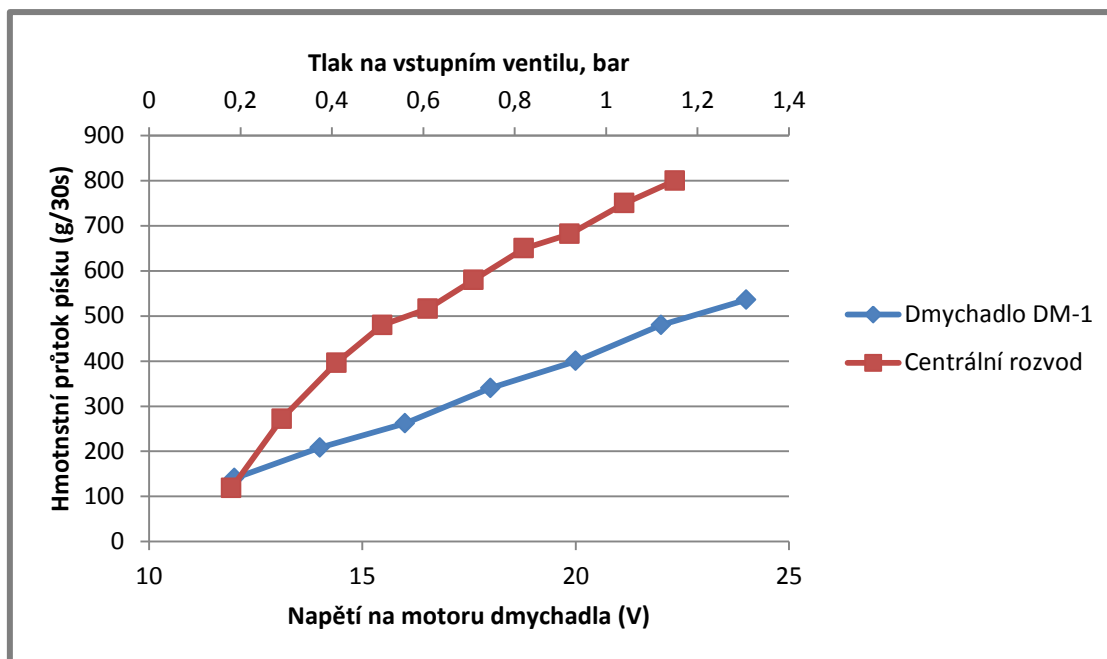
4.8 Ověření schopnosti proporcionality dávkovačů

Po provedených konstrukčních úpravách obou dávkovačů byla ověřena jejich schopnost dodávat požadované množství písku za časovou jednotku. Poté bylo přistoupeno k ověření schopnosti regulovat dávku písku dodávanou dávkovačem. Tato schopnost byla ověřována jednak se zdrojem tlakového vzduchu z centrálního rozvodu, pro simulaci využití dávkovače na lokomotivách, ale také s dmychadlem DM-1, pro simulaci využití dávkovače v tramvajích.

V prvním případě (centrální rozvod vzduchu) byl regulovanou veličinou tlak na vstupním regulačním ventilu, ten ovlivňuje průtok vzduchu a tím i dodávané množství písku. Sledovaná veličina byla hmotnostní průtok písku v závislosti na tlaku vzduchu. Tlak vzduchu byl přidáván po jednotlivých otáčkách regulačního ventilu. V případě dodávání vzduchu z dmyhadla bylo regulováno napětí na zdroji dmyhadla a tím tedy jeho otáčky a úměrně také průtok vzduchu dodávaný dmychadlem. Na Obr. 4-22 a Obr. 4-23 horní vodorovná osa udává vstupní veličinu pro zapojení s centrálním rozvodem vzduchu a spodní vodorovná osa pro zapojení s dmychadlem.



Obr. 4-22 Graf znázorňující proporcionalitu dávkovače PZ01

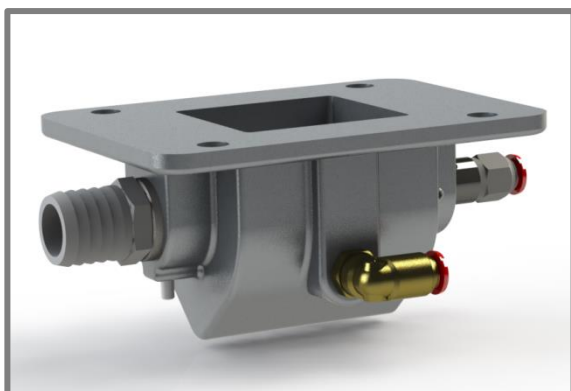


Obr. 4-23 Graf znázorňující proporcionalitu dávkovače PZ02

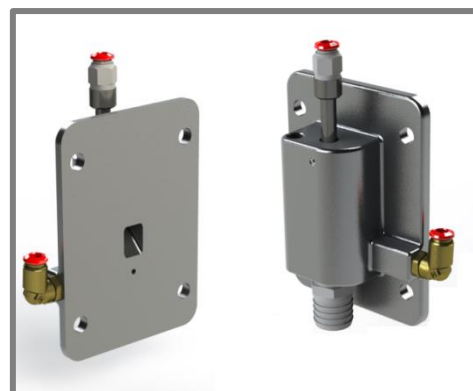
4.9 Úprava dávkovačů pro sériovou výrobu

4.9

Po úspěšných konstrukčních úpravách dávkovačů byly navrženy dávkovače, jako odlitky z hliníkové slitiny (Obr. 4-24, Obr. 4-25). To je v tomto případě nejvýhodnější provedení, protože umožní snížení hmotnosti a minimalizaci odpadu vzniklého obráběním. Oba dávkovače byly opatřeny dírou pro topnou patronu, která bude vyhřívat celé těleso dávkovače. Modely odlitků dávkovačů byly vytvořeny metodou rapid prototyping (Obr. 4-27, Obr. 4-26) a otestována jejich funkčnost (schopnost proporčního dávkování písku). Dávkovače byly testovány se třemi zrnitostmi písku (Obr. 4-28). První zrnitost byla 0,3-0,6 mm (jemný písek), druhá 0,6-1,6 mm (střední písek) a třetí 1,2-4 mm (hrubý písek).



Obr. 4-24 Upravený dávkovač PZ01



Obr. 4-25 Upravený dávkovač PZ02



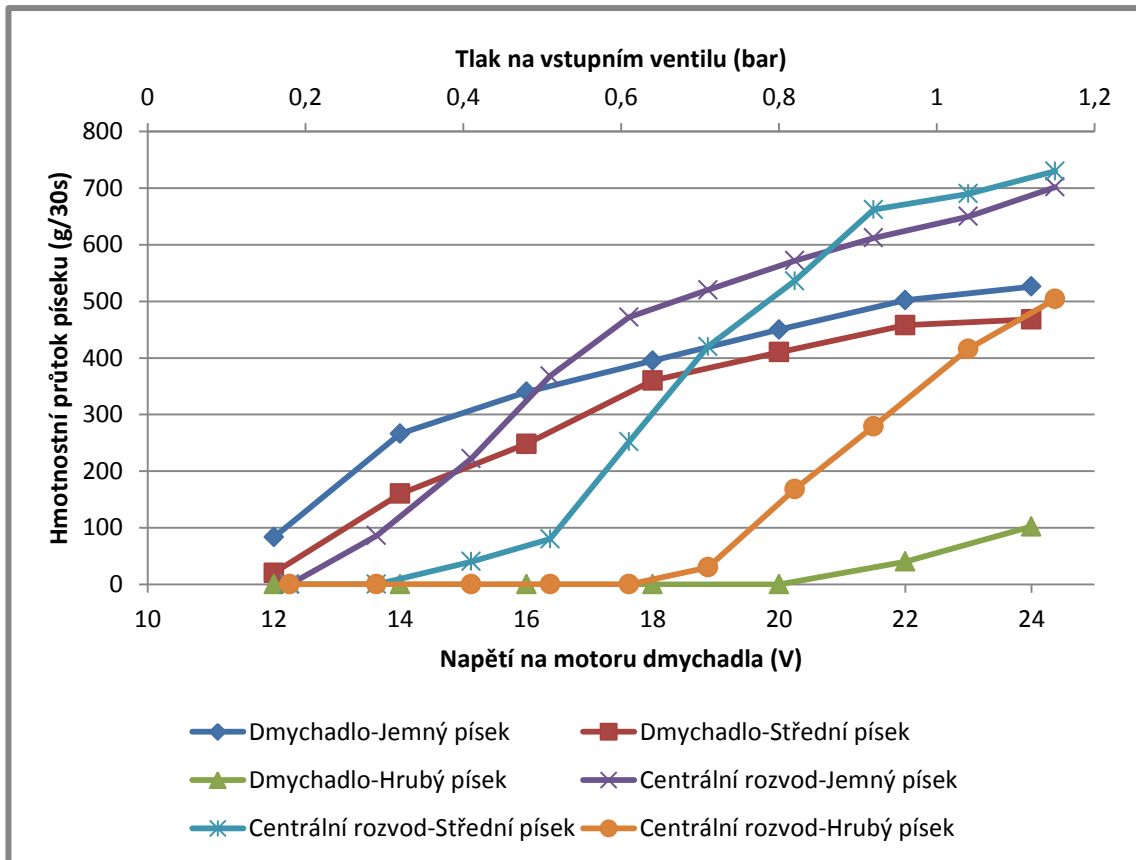
Obr. 4-27 Testování upraveného dávkovače PZ01



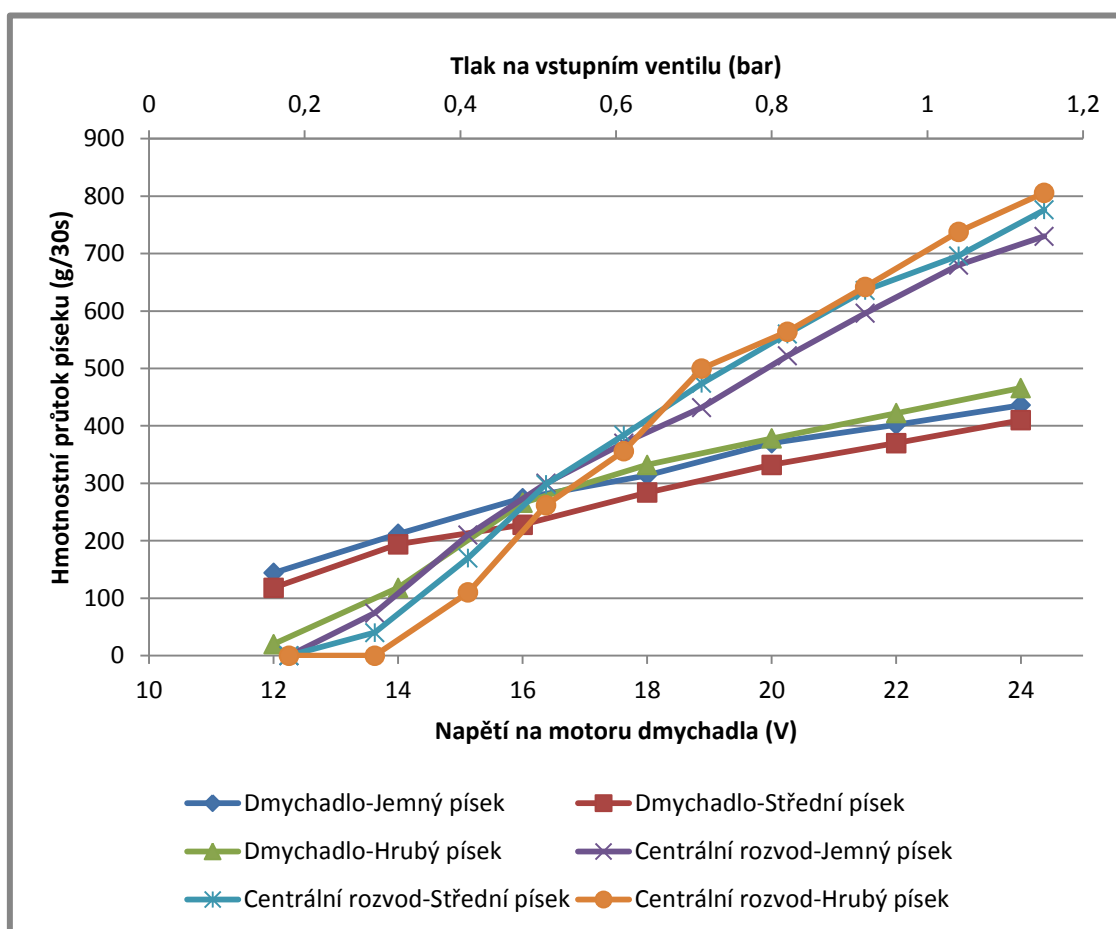
Obr. 4-26 Testování upraveného dávkovače PZ02



Obr. 4-28 Porovnání zrnitostí písku (vlevo 0,3-0,6 mm; uprostřed 0,6-1,6 mm; vpravo 1,2-4 mm)



Obr. 4-29 Graf ověření proporcionálních vlastností dávkovače PZ01

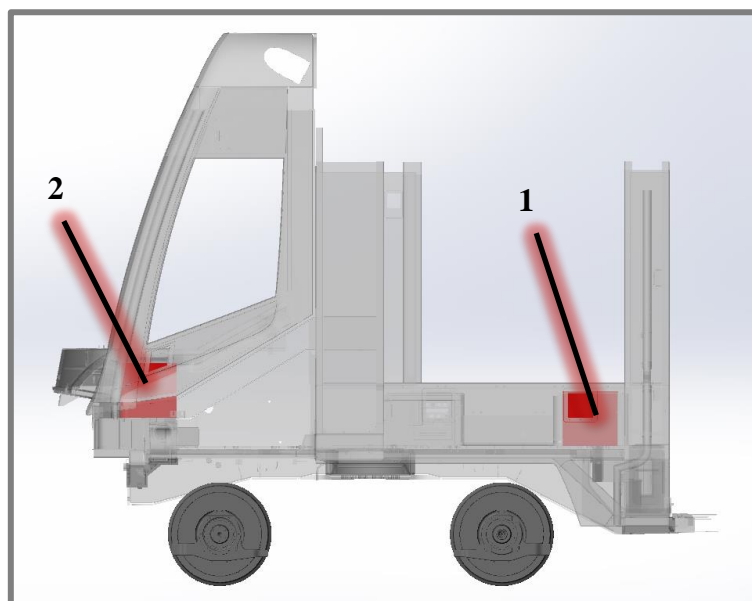


Obr. 4-30 Graf ověření proporcionálních vlastností dávkovače PZ02

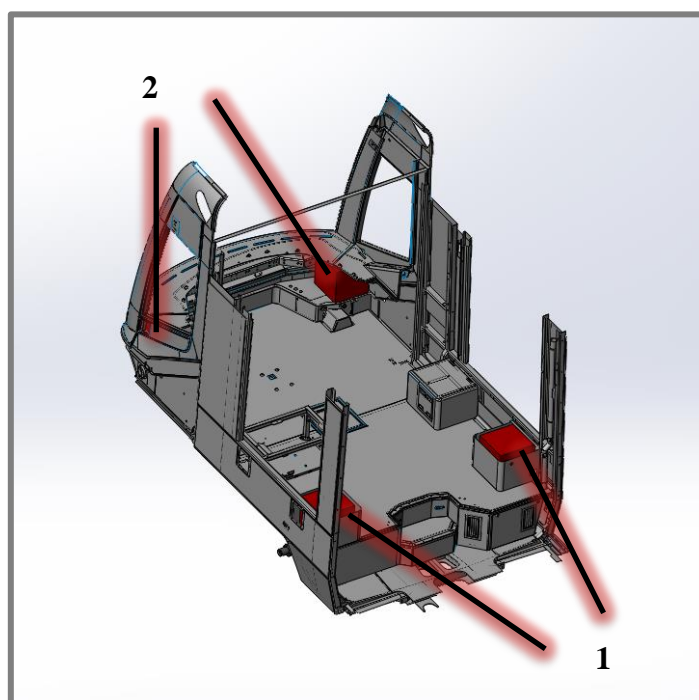
Z grafů (Obr. 4-29 a Obr. 4-30) je patrné, že dávkovač PZ01 je výrazně náchylnější na zrnitost písku a s hrubějším pískem ztratí proporcionální vlastnosti. A pro správnou funkci vyžaduje vyšší průtoky vzduchu. Při dodávání tlakového vzduchu z dmyhadla a s hrubým pískem přitom vůbec nedosahoval požadovaného hmotnostního průtoku písku. Avšak s jemným a středně hrubým pískem neměl dávkovač problémy (občas se objevily jen malé odchylky od linearity). Naproti tomu dávkovač PZ02 pískoval spolehlivěji, přesněji a zrnitost písku neměla žádný větší vliv na hmotnostní průtok, jehož závislost na vstupní veličině byla vždy téměř lineární.

4.10 Zásobníky

Byly provedeny návrhy dvou typů zásobníků pro typové kolejové vozidlo. Jeden návrh zahrnuje zásobník, který spolupracuje s navrženým dávkovačem PZ01 a bude umístěn v salonu cestujících, pod sedačkou (1 na Obr. 4-31 a Obr. 4-32). Další návrh zásobníku je uzpůsoben pro umístění v kabině řidiče, v bočním panelu palubní desky, při využití dávkovače PZ02 (2 na Obr. 4-31 a Obr. 4-32). Oba dva druhy zásobníků byly navrženy tak, aby bylo možné dávkovače zaměnit, jak vzájemně mezi sebou, tak s dávkovačem Kova.



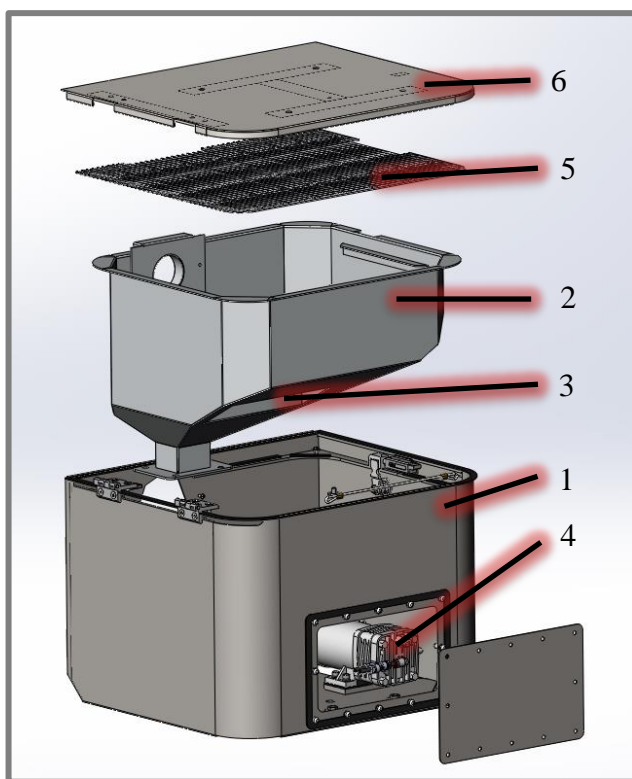
Obr. 4-31 Umístění pískovacích jednotek v tramvaji (z boku)



Obr. 4-32 Umístění pískovacích jednotek v tramvaji

4.10.1 Zásobník PZ01

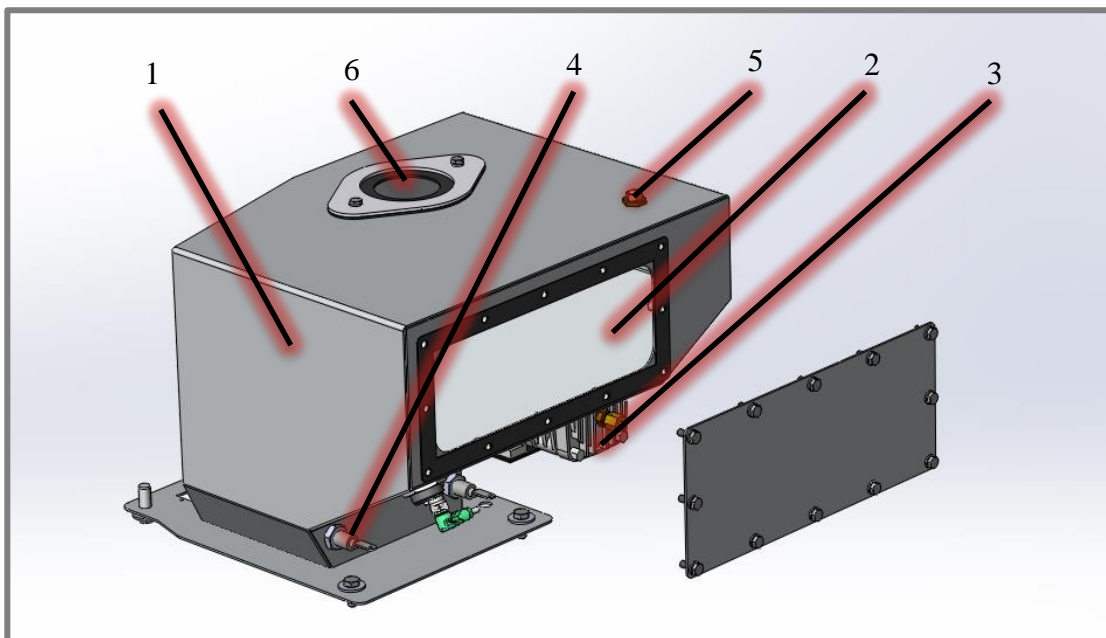
Tento zásobník je umístěn v tramvaji pod sedačkou cestujících a zároveň tak tvoří podstavec pro tuto sedačku. Je tvořen nosným pláštěm (1 na Obr. 4-33) z plechu z korozivzdorné oceli 17 240. Plášť je tvořen jako svařenec z několika plechových dílů (dno, zadní stěna, plášť, atd.), je opatřen zámkem pro uzavření víka a servisním otvorem pro případnou rychlou kontrolu elektroniky a stavu uvnitř zásobníku. Dno tohoto zásobníku je uzpůsobeno pro upevnění dmychadla (4 na Obr. 4-33) a elektronických konektorů. Tento zásobník je navržen tak, že je možné ho plnit z boku vnějším plněním přes plnicí klapku nebo shora odklopením víka se sedačkou. Do vnějšího nosného pláště je vsazena násypka zásobníku trychtýřovitěho tvaru (2 na Obr. 4-33), která vytváří samotnou nádobu pro naplnění pískem. Násypka je vytvořena z plechů z hliníkové slitiny AW 5754, protože je žádoucí nízká hmotnost. Zároveň není u násypky požadována taková pevnost k přenesení hmotnosti sedícího cestujícího. Objem násypky je 27 dm³. Násypka je v jedné třetině opatřena kapacitním snímačem, který vyšle signál v momentě, kdy je v zásobníku méně písku než třetina celkového objemu. Dále je násypka opatřena topným tělesem těsně nad ústím do dávkovače. Topné těleso (3 na Obr. 4-33) je napájeno napětím 24V a má příkon 50W. Po vsazení násypky do pláště se horní strana přikryje sítím (5 na Obr. 4-33) s velikostí ok 10 mm, které má zabránit vniku hrubých nečistot (papírky, velké kamínky) při horním plnění, které by mohly zacpat dávkovač. Toto síto je společně s násypkou připevněno čtyřmi šrouby k nosnému plášti. Víko (6 na Obr. 4-33) zásobníku je přišroubováno přes dvojici pantů rovněž k nosnému plášti zásobníku. Je k němu přišroubována sedačka čtyřmi šrouby a víko tak lze otevřít odklopením i se sedačkou až do úhlu 110°. Úhel otevření si lze nastavit úpravou délky lanka, které zabraňuje úplnému přepadení víka o 270°.



Obr. 4-33 Rozpad zásobníku pod sedačkou cestujících

4.10.2 Zásobník PZ02

Druhý typ zásobníku je určen pro umístění ve sloupku palubní desky, v kabině řidiče tramvaje. Tento zásobník nemá žádný nosný plášť a je tvořen pouze násypkou (1 na Obr. 4-34), která je koncipována jako svařenec z plechu z hliníkové slitiny AW 5754. Tato násypka, na rozdíl od předchozího případu, je celá uzavřená a je tvarovaná do postranní dutiny v palubní desce tramvaje, která je určena k umístění písečníku. Tato násypka je opatřena servisním otvorem (2 na Obr. 4-34), aby bylo možné dovnitř vložit topné těleso (4 na Obr. 4-34), které je stejné jako v případě zásobníku v salonu a pro provádění kontrol vnitřního prostoru násypky. Objem zásobníku je 26 dm³ a rovněž je opatřen kapacitním snímačem, který hlásí méně než jednu třetinu objemu zásobníku. Tento zásobník je opatřen pouze horním vnějším plněním přes plnicí klapku (6 na Obr. 4-34). Tím že zásobník netvoří kompaktní jednotku sjednocenou nosným pláštěm, jako v předchozím případě, je dmyhadlo připevněno samostatně k podlaze tramvaje vedle zásobníku (3 na Obr. 4-34). Zásobník je opatřen zavzdušňovacím ventilem v horní stěně (5 na Obr. 4-34).



Obr. 4-34 Rozpad umístěného zásobníku v kabině řidiče

4.11 Testování výsypných trubic

Všechny navržené varianty výsypných trubic byly testovány na zkušebně ve společnosti Tribotec. Prototypy byly vytvořeny metodou rapid prototyping na 3D tiskárně. Byly testovány jak se zdrojem tlakového vzduchu z dmyhadla, tak z centrálního rozvodu. Rovněž byly testovány s dávkovači PZ01, PZ02 a s dávkovačem KOVA. Tvar výsypného kužele se pro různé dávkovače a různé zdroje u jednotlivých trubic příliš nelišil. Rozdíly však nastávaly mezi jednotlivými trubicemi.

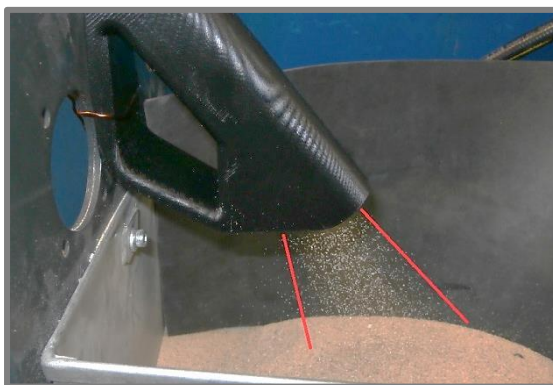
4.11.1 Testování výsypané trubice - varianta 1

4.11.1

Kužel, který tvořil sypaný písek, byl podle předpokládání značně strmý, to je však v některých případech aplikace písku žádoucí. Trubice se při testech nezacpávala a pískovala stabilně. Nevýhodou může být její svislá upínací plocha, v případě potřeby jiného úhlu sypaní. Znamenalo by to, že pro jiné výsypané úhly by byla potřeba nový odlitek trubice s jinými úhly (Obr. 4-36, Obr. 4-35).



Obr. 4-36 Výsypaný kužel – shora (varianta 1)



Obr. 4-35 Výsypaný kužel – z boku (varianta 1)

4.11.2 Testování výsypané trubice – varianta 2

4.11.2

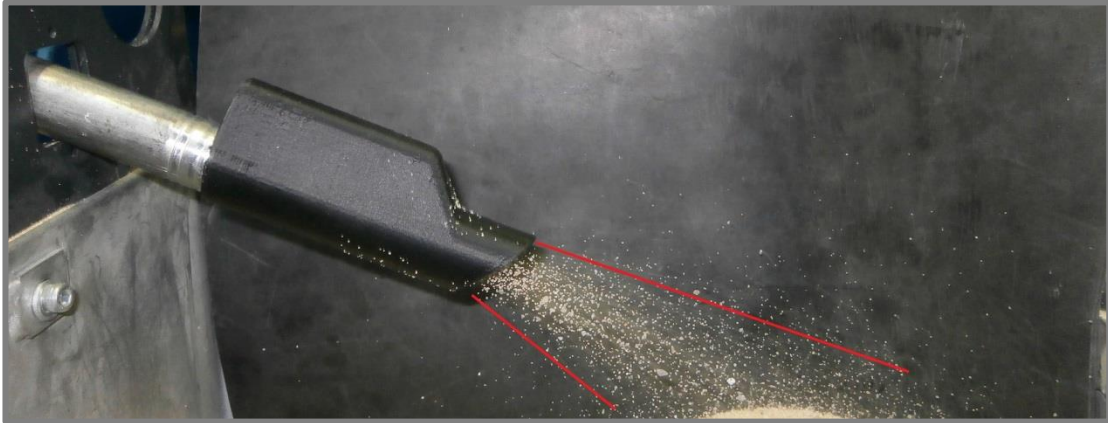
Druhý typ trubice vykazoval výrazné samovolné zacpávání pískem. Výsypaný kužel písku při začátku pískování měl úhly, které byly původně navržené, ale po čase cca 20 s se vždy ústí trubice samo zacpalo pískem. Písek pak proudil pouze mezerou v horní části zacpaného ústí a neměl dostatečnou kinetickou energii, kvůli tomu padal a netvořil správný kužel.



Obr. 4-37 Výsypaný kužel – z boku (varianta 2)

4.11.3 Testování výsypané trubice – varianta 3

Třetí typ výsypané trubice fungoval obdobně bezchybně jako současná trubice Tribotec. S rozdílem, že vyhřívání je ukryto v nenápadné špičce, která je tvořena odlitkem.



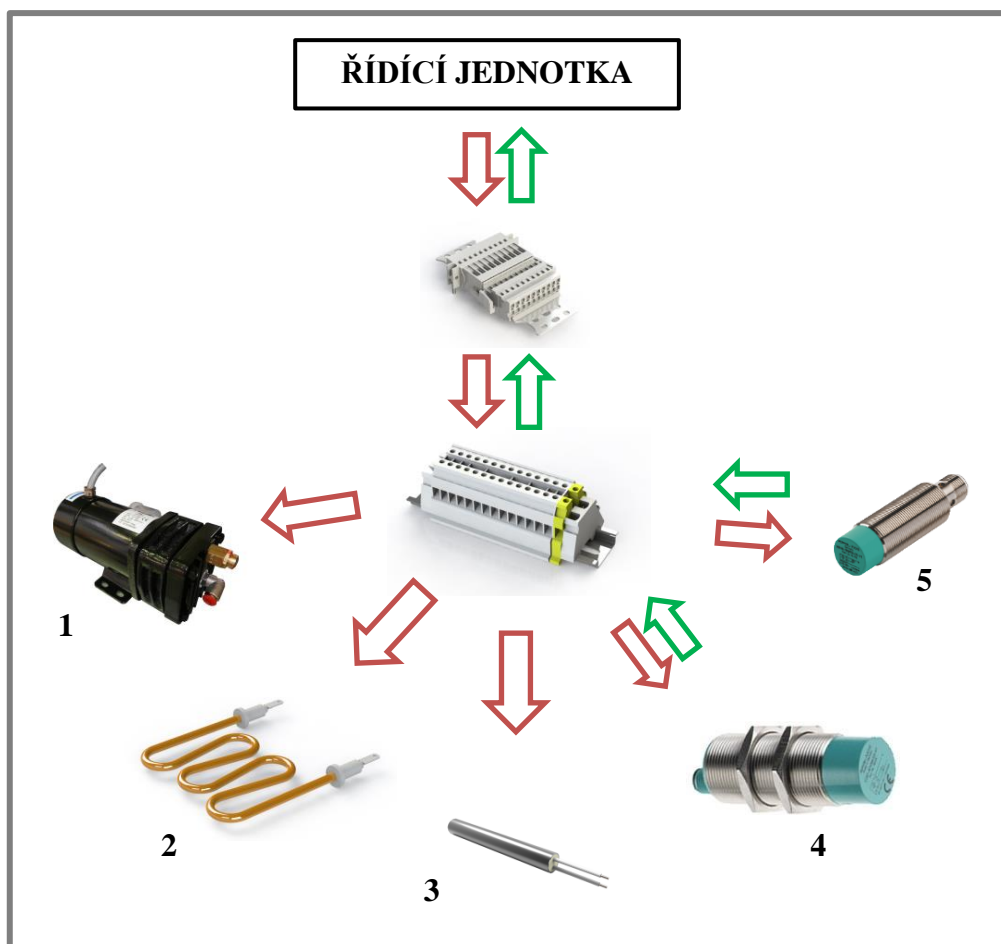
Obr. 4-38 Výsypaný kužel - z boku (varianta 3)

4.12 Elektrické zapojení pískovacího zařízení

Pískovací zařízení je zapojeno dle schématu v PŘÍLOZE II. Celý elektrický řetězec je znázorněn na Obr. 4-39. Celé zařízení je ovládáno řídicí jednotkou tramvaje pro pískování. Všechny kabely vedou do konektoru, kterým lze celé zařízení odpojit od elektrického proudu a je možné ho snadno vyjmout ze zástavby ve vozidle. Z konektoru vedou kabely do svorkovnice, odkud jsou rozvedeny dále do jednotlivých komponent. Komponenty obsažené v elektrickém obvodu jsou:

- Motor dmyhadla (1 na Obr. 4-39)
- Topné těleso v zásobníku (2 na Obr. 4-39)
- Topná patrona v dávkovači (3 na Obr. 4-39)
- Topná patrona ve výsypané trubici (3 na Obr. 4-39)
- Kapacitní spínač minimální hladiny písku (4 na Obr. 4-39)
- Indukční spínač zavření dvířek plnicí klapky (5 na Obr. 4-39)

Přičemž indukční spínač zavření dvířek klapky je pouze u zařízení v salónu cestujících z toho důvodu, aby dveře nešly otevřít, když je otevřená plnicí klapka. Dveře tramvaje jsou totiž posuvné po vnější straně tramvaje a dostaly by se do kolize z dvířkami plnicí klapky. Plnicí klapka nebyla řešena v této DP, přesto je nutné zahrnout snímač zavřených dvířek klapky do elektrického schématu.

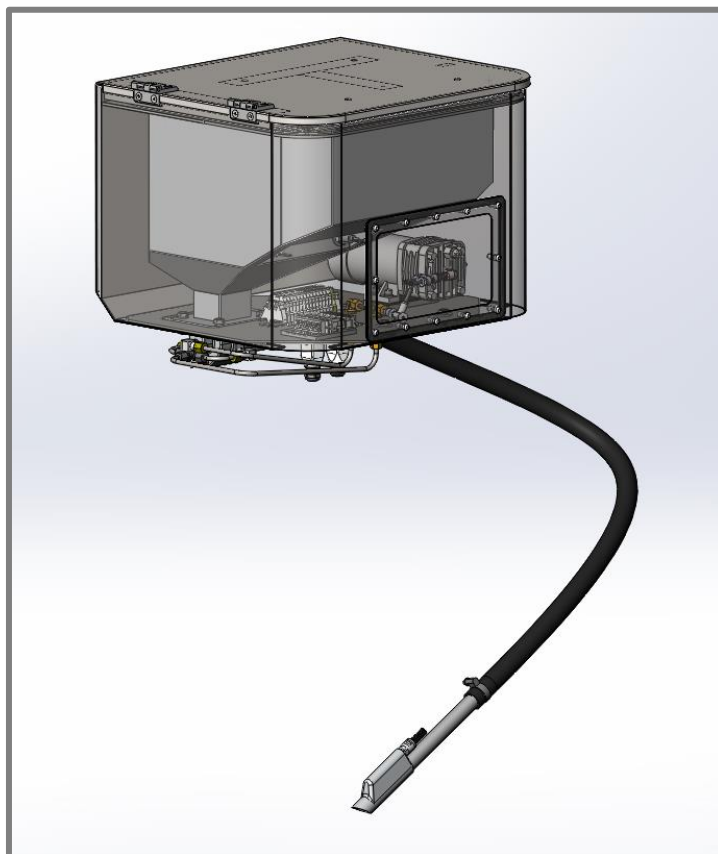


Obr. 4-39 Komponenty elektrického řetězce

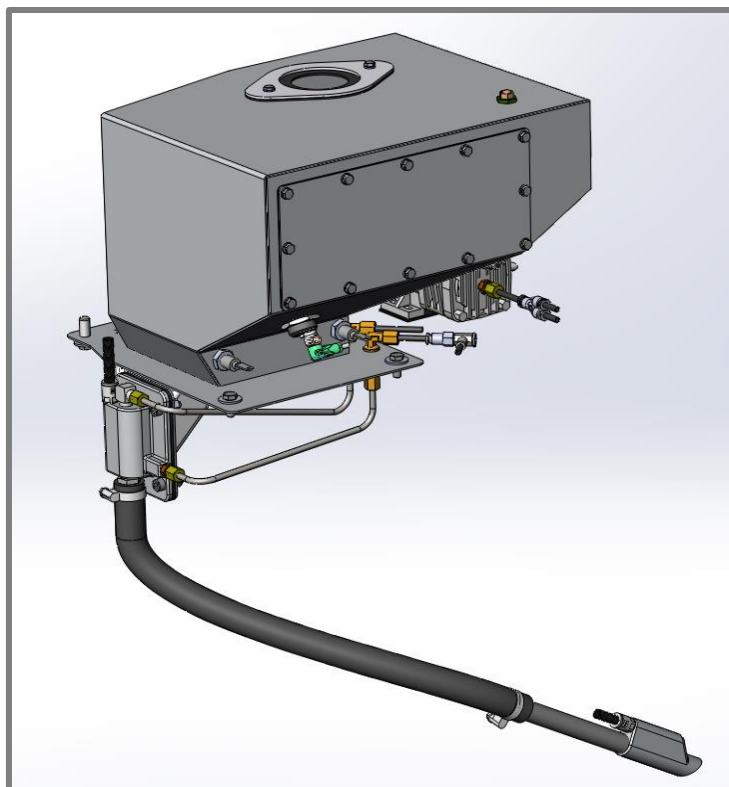
4.13 Kompletní pískovací zařízení

4.13

Kompletní navržené pískovací zařízení PZ01 je vyobrazeno na Obr. 4-40. Zařízení PZ02 je na Obr. 4-41. Zařízení jsou zobrazena i s navrženou výsypnou trubicí a hadicí pro dopravu písku. Obě zařízení jsou konstruována tak, že jsou přimontována na podlahu tramvaje a pod podlahu vstupuje pouze dávkovač, konektory pro napájecí kabely k topným patronám, a trubky pro vedení vzduchu do dávkovače. Pod podlahou tramvaje je vzduch veden trubkami z korozi-vzdorné oceli, kvůli možnému poškození hadiček. Nad podlahou je pak veden pomocí polyamidových hadiček, pro zajištění snazší montáže. Celé zařízení PZ01 je zakrytováno, zařízení PZ02 je ukryto pod krytovaním v kabině řidiče.



Obr. 4-40 Kompletní pískovací zařízení PZ01



Obr. 4-41 Kompletní pískovací zařízení PZ02

5 DISKUZE

5.1 Zhodnocení dávkovačů

Po provedení prvotních experimentů s prototypy dávkovačů byly zjištěny vlivy faktorů na sledovanou veličinu, dle toho byly dávkovače optimalizovány. Bylo však zjištěno, že navržené prototypy dávkovačů nejsou schopny dosáhnout požadovaných hodnot hmotnostního průtoku písku při zapojení s dmychadlem pouze změnou faktorů a bylo nutné provést konstrukční úpravy. V diplomové práci jsou popsány pouze nejzásadnější úpravy. Po úpravách bylo zjištěno, že profukování písku ve správných místech dávkovače výrazně zvyšuje dodávaný hmotnostní průtok písku. Tomu předcházelo značné množství neúspěšných konstrukčních úprav a pokusů (např. různé profukovací a posilovací kanálky v dávkovači nebo zavádění hadiček s pomocným vzduchem do různých míst dávkovače nebo zásobníku), které v této práci *nejsou uvedeny*.

Navržené finální varianty jsou schopny pracovat s pískem, který udává norma pro pískování a jsou schopny dodržovat požadovaný hmotnostní průtok písku. Dále byly ověřeny proporcionální vlastnosti dávkovačů. Oba dva dávkovače vykazovaly téměř lineární závislost sledované veličiny na vstupních (ovládacích) veličinách. Problém však nastával při použití hrubozrnného písku (zrnitost 1,2-4 mm), který je mimo zrnitost doporučenou normou pro kolejovou dopravu, avšak někdy bývá používán díky lepší schopnosti odstraňování kontaminantů a zvyšování adheze. Dávkovače při použití tohoto písku se chovaly nestabilně, pískování bylo přerušované a nestejněměrné. Navíc bylo potřeba zvýšit průtok profukovacího vzduchu pro tento typ písku. Dávkovač PZ01 při zapojení s dmychadlem dokonce vůbec nedosahoval požadovaných hodnot hmotnostního průtoku písku. Je to způsobeno tím, že dávkovače pracují na Venturiho principu a při použití dmychadla, které má nižší průtok vzduchu vzniká nedostatečný podtlak pro nasátí tohoto písku do směšovacího prostoru. Proud vzduchu, který vzniká vytvořeným pod tlakem, je slabý a prochází mezi relativně velkými a těžkými částicemi písku v zásobníku aniž by je s sebou strhával do směšovací komory. Proto je potřeba zvýšit průtok profukovacího vzduchu, ale i to bylo v některých případech málo. S ostatními písky (včetně doporučeného normou) nebyl problém a dávkovače dosahovaly uspokojivých výsledků. Proto je doporučeno používat tyto dávkovače s pískem se zrnitostí 0,6 až 1,6 mm.

Z mnohých experimentů však lze říci, že dávkovač PZ02 se svislou osou proudění vzduchu se choval stabilněji a dosahoval vyšších dávek písku, které byl schopen přesněji opakovat. Částečně je to tím, že po nasátí písku do směšovací komory přes přepadovou hranu již měla značný vliv gravitace, která zabraňovala jakémukoli usazování písku v dávkovači a energie vzduchu pak byla z větší části investována do dopravy písku hadicí ke kolům vozidla. Hlavní příčinou lepších vlastností však je, že sací otvor je skloněný pod úhlem 45° a dávkovací vzduch, který proudí kolmo dolů, částečně proudí také do sacího otvoru, kde zvedá písek, který je pak lépe nasáván. Tomu navíc výrazně napomáhá profukovací vzduch, který písek profukovaný hlavním dávkovacím vzduchem ještě profukuje ze spodu. Také je tak zabráněno zhutňování písku a zároveň je písek vysoušen.

Pro využití dávkovačů v sériové výrobě je však nutné ještě provést testy v reálných podmínkách na zkušebním kolejovém vozidle. Na zkušebně společnosti

Tribotec není možnost simulovat např. dynamické vlivy jízdy vozidla, které mají značný vliv na vlastnosti dávkovačů, zhutňování písku nebo samovolné vysypávání. Také je nutné otestovat vlivy teploty na schopnost dávkování.

5.2 Sekundární cíle práce

Byly vytvořeny návrhy zásobníků písku pro konkrétní typ tramvajového vozidla. Jeden typ zásobníku byl určen do kabiny řidiče do bočního sloupku, druhý typ byl určen pro umístění pod sedačkou v salonu cestujících. Byla vytvořena kompletní výkresová dokumentace všech vyráběných součástí. Zásobníky však v navržené podobě vyráběny nebyly. Finální verze zásobníků (Obr. 5-1 a Obr. 5-2), které budou umístěny ve vozidle, se od navržené liší v detailech, avšak pro sériovou výrobu by některé prvky navržených zásobníků nebyly příliš vhodné. Jelikož nebývají vozidla k dispozici ve společnosti Tribotec, bývá správné a konečné zakomponování zkonstruované varianty zásobníku do vozidla zdlouhavý proces, který obsahuje řadu konstrukčních iterací a úprav. Proto skončily zásobníky pouze ve fázi návrhu, který je však téměř totožnou obdobou vyráběných zásobníků.



Obr. 5-1 Zásobník určený pod sedačku cestujících



Obr. 5-2 Zásobník určený do kabiny řidiče (s dávkovačem KOVA)

Posledním cílem byl návrh bezúdržbových vyhřívaných výsypných trubíc. Byly vybrány dva typy vyhovujících trubíc. Na zkušebně však nebylo možné otestovat, jak by se trubice chovaly v reálných podmínkách. Před zařazením do sériové výroby je tedy nutné je rovněž otestovat v reálných podmínkách na zkušebním voze. Z toho důvodu, aby se prokázala schopnost odolávat zanášení mazivem nebo zamrzání. Hlavně, aby se projevilo, jaký vliv bude mít vítr a proudící vzduch kolem trubice na výsypný kužel písku, zda nebude ovlivňován jízdou nebo zda nebudou v okolí trubice vznikat turbulence.

6 ZÁVĚR

Náplní práce bylo vyvinout dva nové typy dávkovačů pískovacího zařízení pro kolejová vozidla. Dále pak provést návrh dvou celých pískovacích jednotek pro zadané typové kolejové vozidlo. Diplomová práce vznikala ve spolupráci se společností Tribotec, která se zabývá mj. výrobou pískovacích, mazacích a dalších zařízení pro kolejovou dopravu.

Na základě provedené rešerše byla navržena technologie dopravy písku ze zásobníku do kontaktu kola vozidla a kolejnice. Dále byly provedeny koncepční návrhy podtlakových dávkovačů, z nichž dva byly, po konzultacích se zástupci společnosti, vybrány pro vývoj. Z koncepčních návrhů byly zkonstruovány prvotní testovací prototypy, na kterých byly prováděny experimenty a následné konstrukční úpravy za účelem optimalizace hmotnostního průtoku písku dodávaného dávkovačem. Uskutečněné experimenty postupně odhalovaly vlivy určitých parametrů dávkovačů a bylo nutné provádět množství konstrukčních úprav. Bylo vytvořeno několik vývojových generací od každého typu dávkovače, některé vytvořené pomocí konvenčních metod obrábění, jiné pomocí metody rapid prototyping, další pak skončili ve fázi návrhů. Tato vývojová stádia dávkovačů postupně procházela vývojem, až bylo dosaženo požadovaných vlastností dávkovačů. Tímto postupem experimentů a úprav byly vyvinuty dva typy dávkovačů, jeden s horizontální osou proudění písku a druhý s vertikální. Dávkovače jsou schopny splnit hmotnostní průtok písku dodávaný normou, což činí: $400 + 100 \text{ g}/30 \text{ s}$ pro vozidla pohybující se rychlostí do 140 km/h . Při napojení dávkovačů na centrální rozvod vzduchu jsou schopny dodávat vyšší hodnotu předepsanou pro vozidla v rychlostech nad 140 km/h , která činí: $650 + 150 \text{ g}/30 \text{ s}$. S největší pravděpodobností budou na dávkovačích probíhat další testy, a to v reálných podmínkách na testovacích vozech. Protože právě používání dávkovačů v reálných podmínkách může odhalit největší slabiny, které mohou být v případě tak důležitého bezpečnostního systému, jako je pískování, fatální. V případě úspěšných testů na testovacích vozech by byly dávkovače zařazeny do sortimentu společnosti Tribotec, ta by pak disponovala moderními dávkovači, které je možné proporcionálně ovládat. Proporcionální ovládání pískování pak může přispět ke snížení prašnosti ve městech a ke zlepšení hospodaření s pískem, právě šetřením písku v situacích, kdy není třeba vysokého hmotnostního průtoku písku.

Dále byly na základě rešerše diskutovány některé technologie pro výrobu zásobníku písku. Po zhodnocení těchto koncepčních variant a s přihlédnutím na technologické možnosti, byla vybrána ta nejvhodnější. Byly tedy provedeny konstrukční návrhy dvou typů zásobníku do konkrétního tramvajového vozidla a k nim kompletní výkresová dokumentace (výrobní výkresy, výkresy svařenců a výkresy sestav). Zásobníky v přesně navržené podobě však nebyly vyrobeny, z důvodu toho, že procházeli ještě řadou úprav pro sériovou výrobu do konkrétního kolejového vozidla.

V poslední řadě byly provedeny návrhy tří typů výsyprných trubic. Po provedení testování jejich funkčnosti a následném vyhodnocení byly dva návrhy zhodnoceny jako uspokojivé. Před jejich případným zavedením do sortimentu, je však potřeba, je rovněž otestovat na zkušebním voze v reálných podmínkách.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] KOTRBA, A a J VAŠÍČEK. Nová pískovací zařízení na hnacích vozidlech typu KOVA-03D. *Nová železniční technika*. 2009, č. 1.
- [2] *Rozhodnutí komise: ze dne 11. srpna 2006 norma TSI-EU (oznámeno po číslem K(2006/3593) o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se subsystému provoz a řízení dopravy transevropského konvenčního železničního systému*. 2006.
- [3] ČSN 28 1300. *Tramvajová vozidla: Technické požadavky a zkoušky*. Brno: Český normalizační institut, 1998.
- [4] OLOFSSON, Ulf, Yi ZHU, Saeed ABBASI, Roger LEWIS a Stephen LEWIS. Tribology of the wheel-rail contact: Aspects of wear, particle emission and adhesion. *Vehicle system dynamics*. 2013, č. 57, s. 1091-1120.
- [5] BAEK, Koan-Sok, Keiji KYOGOKU a Tsunamitsu NAKAHARA. An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions. *Wear*. 2008, č. 265, s. 1417-1424.
- [6] ARIAS-CUEVAS, O. Laboratory investigation of some sanding parameters to improve the adhesion in leaf- contaminated wheel-rail contacts: Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part F. *Journal of rail and rapid transit*. 2010, č. 224, s. 139-157.
- [7] ARIAS-CUEVAS, O, Z LI a R LEWIS. Investigating the lubricity and electrical insulation caused by sanding in dry wheel-rail contacts. *Tribology letters*. 2010, č. 37, s. 623-635.
- [8] ČSN 28 0337. *Obrysy pro tramvajová vozidla*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [9] MILLS, David. *Pneumatic conveying design guide*. 2nd ed. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN ISBN 07-506-5471-6.
- [10] TRIBOTEC. *Interní dokumenty společnosti*. nedatováno.
- [11] RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD. *Understanding the current use of sanders on multiple units*. 2009. 104 s.
- [12] Pískování kolejových vozidel. *TriboTec* [online]. 2015 [cit. 10. 02. 2015]. Dostupné z: <http://www.sandblasting-of-railvehicles.com/home/>
- [13] Pískovací systémy. *Knorr-Bremse* [online]. 2010 [cit. 01. 05. 2014]. Dostupné z: <http://www.knorr-bremse.cz/cz/railvehicles/products/brakingsystems/auxiliaryequipment/sandung.jsp>
- [14] Sanding systems. *Knorr-bremse* [online]. 2014 [cit. 25. 09. 2014]. Dostupné z: http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/product_broschures/brake_systems/Sanding_Systems_P_1238_EN.pdf
- [15] CURTIS, Graham. SmartSander enhancement for commuter rail: In transportation research board of the national academies. In: *Transportation research board of the national academies* [online]. 2008 [cit. 07. 04. 2014]. Dostupné z: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/transit/Transit49_Final_Report.pdf

- [16] Sanding systems. *IBEG* [online]. 2011 [cit. 01. 05. 2014]. Dostupné z: <http://ibeg.com/relaunch/en/category/products/sanding-systems/>
- [17] Sanding devices. *MBM Industry & Rail Tech* [online]. 2008 [cit. 01. 05. 2014]. Dostupné z: <http://www.mbm-industrietechnik.com/produktuebersicht/bahntechnik/sandungsanlagen/>
- [18] MBM HOLDING GMBH. Sanding system for railway vehicles. TOBER, Hubert. Patentový spis. EP2100788A2. 16.9.2009
- [19] Sanding gears. *ZIV* [online]. 2009 [cit. 11. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.ziv-velbert.de/en/010-sandinggears.html>
- [20] ZEPPENFELD INDUSTRIE-VERWALTUNGS-GMBH. Sand spreader on rail vehicle. SCHÄFEN, Carsten. DE. Patentový spis. EP1470981B1. 16.6.2008.
- [21] Způsoby pískování. *Tryskání-pískování* [online]. 2009 [cit. 13. 05. 2014]. Dostupné z: http://www.tryskani-piskovani.com/zpusob_piskovani.htm
- [22] Improving surface prep through air blasting. *Metal finishing* [online]. 2009 [cit. 13. 05. 2014]. Dostupné z: <http://www.metalfinishing.com/view/3961/improving-surface-prep-through-air-blasting/>
- [23] JANALÍK, Jaroslav. *Potrubní hydraulická a pneumatická doprava: Rozšířené a upravené vydání* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2010 [cit. 07. 03. 2015]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/HaPDRozsirenePDF.pdf>
- [24] MAROŠ, B a T TRÁVNÍČEK. Plánování experimentu. In: *Book of Abstract*. Bratislava: Department of Mathematics, Faculty of mechanical engineering, Slovak university of technology in Bratislava, 2006, s. 181-200. ISBN 80-967305-7-6.
- [25] HIBŠ, Miroslav. *Proudové přístroje*. 2 vyd.. Praha: STNL, 1981.
- [26] IBEG SYSTEMS GMBH. Pneumatic sanding device, and corresponding method. PIETROWSKI, Peter. DE. Patentový spis. EP1418108A1. 12.5.2004.
- [27] Nejmodernější tramvaje jezdí v ostravě. *Technet* [online]. 2006 [cit. 14. 05. 2014]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/nejmodernejsi-tramvaje-jezdi-v-ostrove-podivejte-se-na-obrazky-pse-/tec_reportaze.aspx?c=A061108_171926_tec_reportaze_vse
- [28] Pískování: (kolejová doprava). *Wikipedia* [online]. 2014 [cit. 15. 01. 2015]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADskov%C3%A1n%C3%AD_\(kolejov%C3%A1_doprava\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADskov%C3%A1n%C3%AD_(kolejov%C3%A1_doprava))
- [29] KLAR, Pavel. *Návrh a realizace konstrukčního řešení úpravy pískovacího stroje*. Brno, 2010. Bakalářská práce. b.n..
- [30] Knorr-Bremse. Sanding device for vehicles, especially railway vehicles. WUTZL, Hans. DE. Patentový spis. EP0499199B1. 13.9.1995
- [31] SMEJKAL, David. *Konstrukce pískovacích zařízení: Rešerše*. 2012.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

Q_a	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	- Objemový průtok dodávaný dmychadlem
D_0	mm	- Průměr na výstupu trysky
D_1	mm	- Průměr směšovací komory
D_2	mm	- Průměr dýzy
S_0	m^2	- Plocha průřezu na výstupu z trysky
S_1	m^2	- Plocha průřezu směšovací komory
S_2	m^2	- Plocha průřezu v dýze
v_0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost vzduchu na výstupu z trysky
v_1	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost ve směšovací komoře
v_2	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	- Rychlost vzduchu v dýze
a	mm	- Vzdálenost ústí trysky od sacího otvoru
b	mm	- Průměr sacího otvoru
c	mm	- Nejmenší průměr dýzy

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK**Seznam obrázků**

Obr. 1-1 Kontaktní oblast kola a kolejnice [4]	15
Obr. 1-2 Trakční křivka [4]	15
Obr. 1-3 Pískovací zařízení společnosti Knorr-Bremse [13]	16
Obr. 1-4 Příklad pneumo-mechanického systému [9]	17
Obr. 1-5 Pískovací zařízení na lokomotivě [28]	18
Obr. 1-6 Písečník umístěny pod sedačkou pro cestující [27]	18
Obr. 1-7 Vliv délky hadice na hmotnostní průtok písku [11]	19
Obr. 1-8 Vliv velikosti vnitřního průměru ústí hadice na hmotnostní průtok písku [11]	20
Obr. 1-9 Vliv stárí pískovací jednotky na hmotnostní průtok písku [11]	20
Obr. 1-10 Hadice utažená hadicovými svorkami [11]	21
Obr. 1-11 Hadice ucpaná mazivem [11]	22
Obr. 1-12 Úzký kužel písku - hadice vybavena výsypnou trubicí [11]	23
Obr. 1-13 Široký kužel písku - absence výsypné trubice [11]	23
Obr. 1-14 Porovnání zastaralého pískovacího zařízení (vlevo) a systému Tribotec (vpravo) [10]	23
Obr. 1-15 Dávkovač Triobtec	24
Obr. 1-16 Výsypné trubice Tribotec - vyhřívaná (nahore), nevyhřívaná (dole)	24
Obr. 1-17 Umístění výsypné trubice Tribotec na vozidle [12]	24
Obr. 1-18 Dávkovače SEJ (nahore), SEB (dole) a schéma funkce (vlevo) [14], [31]	25
Obr. 1-19 Dávkovače a schémata funkce zařízení SD (vlevo) a SDN14 (vpravo) [14], [30]	26
Obr. 1-20 Dávkovač zařízení SmartSander [15]	27
Obr. 1-21 Pískovací zařízení V-stream [16]	28
Obr. 1-22 Zásobník zařízení SandMaid [16]	29
Obr. 1-23 Dávkovač zařízení SandMaid [26]	29
Obr. 1-24 Výsypné trubice společnosti IBEG - Sand Jet (vlevo), Sand Nozzle (vpravo) [16]	30
Obr. 1-25 Dávkovač zařízení SandMaus [17], [18]	30
Obr. 1-26 Výsypné trubice ZIV [19]	31
Obr. 1-27 Dávkovač ZIV [20]	31
Obr. 1-28 Injektorový systém (nahore) a tlakový systém (dole) [22]	32
Obr. 1-29 Principy tryskacích zařízení [29]	32
Obr. 3-1 Schéma dávkovače varianty 1	36
Obr. 3-2 Schéma dávkovače varianty 2	37
Obr. 3-3 Možnosti využití více sacích otvorů písku (příčný řez): a) jeden sací otvor z dolní strany, b) dva sací otvory po 120°, c) dva sací otvory po 180°	38
Obr. 3-4 Schéma dávkovače varianty 3	39
Obr. 3-5 Výsypná trubice varianta 1 v sestavě kolo-kolejnice	41
Obr. 3-6 Výsypná trubice varianta 1	41
Obr. 3-7 Výsypná trubice varianta 2 v sestavě kolo-kolejnice	42
Obr. 3-8 Výsypná trubice varianta 2	42
Obr. 3-9 Výsypná trubice varianta 3	42
Obr. 3-10 Výsypná trubice varianta 3 - v sestavě kolo-kolejnice	42
Obr. 4-1 Schéma ejektoru [25]	43
Obr. 4-2 Řez zkušebním prototypem dávkovače PZ01	45

Obr. 4-3 Řez zkušebním prototypem dávkovače PZ02	46
Obr. 4-4 Zapojení prototypu při první zkoušce	47
Obr. 4-5 Dmychadlo Tribotec DM-1	48
Obr. 4-6 Pneumatické schéma zapojení při testování se zdrojem vzduchu z centrálního rozvodu	49
Obr. 4-7 Charakteristika regulačního tlakového ventilu	49
Obr. 4-8 Schéma plánu experimentů	50
Obr. 4-9 Testované parametry u prototypu dávkovače PZ01	51
Obr. 4-10 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na vzdálenosti ústí trysky od sacího otvoru (PZ01)	54
Obr. 4-11 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na velikosti sacího otvoru (PZ01)	55
Obr. 4-12 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na průměru otvoru dýzy (PZ01)	56
Obr. 4-13 Úpravy v podobě dvou sacích otvorů	57
Obr. 4-14 Umístění posilovací trysky na dávkovači PZ01	58
Obr. 4-15 Pneumatické schéma dávkovače s posilovacím vzduchem se škrťicím ventilem (vlevo), bez škrťicího ventilu (vpravo)	58
Obr. 4-16 Pneumatické schéma při měření s profukovacím vzduchem se škrťicím ventilem (vlevo) a bez škrťicího ventilu (vpravo)	59
Obr. 4-17 Znázornění profukování na prototypu dávkovače PZ01	60
Obr. 4-18 Testované parametry prototypu dávkovače PZ02	61
Obr. 4-19 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na poloze ústí trysky vzhledem k sacímu otvoru (PZ02)	63
Obr. 4-20 Graf závislosti hmotnostního průtoku písku na průměru dýzy (PZ02)	64
Obr. 4-21 Znázornění profukování písku na prototypu PZ02	65
Obr. 4-22 Graf znázorňující proporcionalitu dávkovače PZ01	66
Obr. 4-23 Graf znázorňující proporcionalitu dávkovače PZ02	67
Obr. 4-24 Upravený dávkovač PZ01	67
Obr. 4-25 Upravený dávkovač PZ02	67
Obr. 4-26 Testování upraveného dávkovače PZ02	68
Obr. 4-27 Testování upraveného dávkovače PZ01	68
Obr. 4-28 Porovnání zrnitostí písku (vlevo 0,3-0,6 mm; uprostřed 0,6-1,6 mm; vpravo 1,2-4 mm)	68
Obr. 4-29 Graf ověření proporcionálních vlastností dávkovače PZ01	68
Obr. 4-30 Graf ověření proporcionálních vlastností dávkovače PZ02	69
Obr. 4-31 Umístění pískovacích jednotek v tramvaji (z boku)	70
Obr. 4-32 Umístění pískovacích jednotek v tramvaji	70
Obr. 4-33 Rozpad zásobníku pod sedačkou cestujících	71
Obr. 4-34 Rozpad umístěného zásobníku v kabině řidiče	72
Obr. 4-35 Výsypný kužel – z boku (varianta 1)	73
Obr. 4-36 Výsypný kužel – shora (varianta 1)	73
Obr. 4-37 Výsypný kužel – z boku (varianta 2)	73
Obr. 4-38 Výsypný kužel - z boku (varianta 3)	74
Obr. 4-39 Komponenty elektrického řetězce	75
Obr. 4-40 Kompletní pískovací zařízení PZ01	76
Obr. 4-41 Kompletní pískovací zařízení PZ02	76
Obr. 5-1 Zásobník určený pod sedačku cestujících	78

Obr. 5-2 Zásobník určený do kabiny řidiče (s dávkovačem KOVA) 79

Seznam tabulek

Tab. 1-1 Podmínky a množství písku na nich závislé pro zařízení SmartSander 27

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohou k této práci je shrnutí doporučení pro konstrukci nových a úpravy stávajících pískovacích zařízení pro kolejová vozidla, dále schéma elektrického zapojení, výrobní výkresy součástí a výkresy sestav.

- Příloha I: Shrnutí doporučení pro konstrukci a údržbu pískovačů
- Příloha II: Schéma elektrického zapojení pískovacích jednotek
- Příloha III: Výkresová dokumentace

Shrnutí doporučení pro konstrukci a údržbu pískovačů

Oblast	Doporučení	Úroveň důležitosti	Obtížnost implementace	Poznámka
Plnění zásobníku	Zásobník by měl být snadno naplnitelný (u vlaků jsou vhodné velké otvory, blízko okraji vozidla).	Nízká	Střední	Záleží na způsobu plnění
Design zásobníku	Návrh zásobníku by měl mít dostatečné úhly pro sesuv písku, neměly by vznikat „kapsy“, které by bránily sypání písku.	Vysoká	Nízká	
Zavzdušnění zásobníku	Pro systémy pracující na Venturiho principu musí být zásobníky opatřeny zavzdušňovacím ventilem adekvátní velikosti.	Vysoká	Nízká	
Zavzdušnění zásobníku	Příliš malé zavzdušňovací ventily se mohou ucpávat.	Vysoká	Nízká	
Zavzdušnění zásobníku	Zavzdušňovací ventily by se měly nacházet na snadno dostupných místech pro údržbu a místech mimo možné znečištění.	Vysoká	Nízká	
Testovací tlačítko	Zkušební tlačítko by mělo umožnit kopírovat podmínky pískování v reálném provozu.	Vysoká	Nízká	
Vlhkost	Snížení možnosti kapalinám vnikat do zásobníků. Zejména použití kvalitního těsnění na místech, kde může vnikat vlhkost.	Vysoká	Nízká	
Délka hadice	Minimalizovat délku hadice.	Vysoká	Vysoká	Závisí na zástavbě vozidla.
Vnitřní průměr hadice nebo výsypné trubice	Větší průměr většinou znamená větší hmotnostní průtok písku	Vysoká	Nízká	

Oblast	Doporučení	Úroveň nutnosti	Obtížnost implementace	Poznámka
Prověšení hadic	Prověšená hadice výrazně snižuje hmotnostní průtok písku. Výhodné je hadice vyztužit nebo podepřít v místech kde hrozí průvěš.	Střední	Nízká	Alternativně může být hadice kontrolována údržbou, aby časem nedocházelo k prověšení.
Ohyby hadice	Pokud je hadice ohýbaná pod dostatečně velkým poloměrem, je vliv ohybu zanedbatelný.	Nízká	Vysoká	
Typ hadice	Měly by být využity hadice určené pro dopravu písku.	Střední	Nízká	
Stav hadice	Vyvarovat se upevňování hadic svorkami takovým způsobem, že by svorky zmenšovali její průměr. Je třeba myslet na to, že hadice stářím změkne a může se prověsit.	Střední	Nízká	
Úhel výsypné trubice	Trubice by měla směřovat do kontaktu kola a kolejnice. Ideálně by měla být poloha nastavitelná, aby bylo možné ji zachovat po celou dobu životnosti zařízení.	Vysoká	Nízká	
Odolnost proti opotřebení	Komponenty dávkovačů by měly být odolné proti opotřebení a korozi. Zvláště pak dávkovače pracující na Venturiho principu by měly být z nekorodujícího materiálu	Vysoká	Nízká	
Hmotnostní průtok písku	Pískovací zařízení by měla být navržena tak, aby zvládala dodávat hmotnostní průtok písku dle normy nebo požadavků zákazníka	Vysoká	Nízká	

Oblast	Doporučení	Úroveň nutnosti	Obtížnost implementace	Poznámka
Uskladnění písku	Písek by měl být uskladněn v suchých a čistých podmínkách	Vysoká	Nízká	
Uskladnění písku	Mělo by být zajištěno, že jeden druh písku nebude kontaminován jiným nebo jinými nečistotami	Vysoká	Nízká	
Kontrola a údržba				
Hmotnostní průtok písku	V příručce zařízení by měly být skutečné a ověřené hodnoty průtoku písku, které zařízení dodává.	Vysoká	Nízká	
Hmotnostní průtok písku	Pro zjištění hmotnostního průtoku písku musí měření probíhat alespoň 30s	Střední	Nízká	
Hmotnostní průtok písku	Písek vysypaný během údržby by měl být zvážen a měření by mělo být zaznamenáno, pro případné budoucí analýzy, porovnání nebo zpětné zjištění závad.	Vysoká	Nízká	
Hmotnostní průtok písku	Měření by mělo probíhat tak, aby byl zvážen všechny vysypaný písek.	Střední	Nízká	
Zablokování hadic	Hadice by měly být pravidelně kontrolovány a případné blokace musí být odstraněny	Střední	Nízká	
Prověšení hadic	Hadice musí být pravidelně kontrolovány a každý náznak průvěsu hadice musí být napraven.	Střední	Nízká	
Zavzdušnění zásobníku	Zavzdušňovací prvky musí být pravidelně kontrolovány a případně vyčištěny	Vysoká	Nízká	
Úhel výsypné trubice	Trubice by měla směřovat do kontaktu kolo-kolejnice. Poloha trubice musí být pravidelně kontrolována, případně opravena.	Střední	Nízká	
Vlhkost a koroze	Kontrolovat stav dávkovače a ostatních komponent náchylných na korozi.	Vysoká	Střední	

Schéma elektrického zapojení pískovacích jednotek

