



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZLEPŠOVÁNÍ PARAMETRŮ PROTOTYPU MYCÍ SAMOSBĚRACÍ NÁSTAVBY

IMPROVING THE PARAMETRES OF THE PROTOTYPE OF SELF-LOADING WATER SWEEPER
SUPERSTRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kamil Vraspír

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Kamil Vraspír
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Luboš Kotek, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Zlepšování parametrů prototypu mycí samosběrací nástavby

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Čištění silnic se velkou měrou projevuje na snížení množství sekundární prašnosti v obcích. Diplomová práce má za cíl zlepšit výkonnost a omezit možné předvýrobní vady prototypu mycí samosběrací nástavby.

Cíle diplomové práce:

- rešerše v oblasti diplomové práce,
- měření klíčových ukazatelů výkonosti,
- identifikace možných rizik spojených s provozem mycí nástavby,
- návrh opatření pro zlepšení k odstranění možných rizik.

Seznam literatury:

Nenadál, J. (2002): Moderní systémy řízení jakosti. Management press, Praha.

ČSN EN 60812 (2007): Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). UNMZ.

Mikulák, R., McRedmontt, R., Beauregard, M. (2008): The Basic of FMEA. 2nd Edition. Productivity Press.

Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka. (2008). Česká společnost pro jakost, Praha.

Musil, J. (1984): Údržba a čištění komunikací ve městech a obcích. 1. vyd. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

Dneboský, L. (1989): Čištění městských komunikací: příručka. Tisková, ediční a propagační služba, Praha.

Brinkmann, R. and Graham, T. (2013): Urban Sediment Removal: The Science, Policy, and Management of Street Sweeping. Springer Verlag, Boston.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vývojovými etapami prototypu Mycí samosběrací nástavby. V teoretické části jsou popsány komunikace z hlediska znečištění, jednotlivé typy používaných čistících strojů, popis metod a podrobný popis metody FMEA pro identifikaci možných způsobů poruch a snižování rizik. V praktické části jsou navrženy, realizovány a popsány etapy měření a zlepšování parametrů prototypu nástavby. V těchto etapách je zahrnuta tvorba modelové dokumentace, ověření funkčnosti a etapa analýzy FMEA. Dále jsou v této části popsány výsledky navržených zkoušek k ověření klíčových parametrů nástavby. Výsledkem práce je funkční prototyp Mycí samosběrací nástavby, potvrzení funkce klíčových parametrů nástavby a návrh série opatření pro zlepšení sloužící k odstranění možných rizik spojených s provozem nástavby.

ABSTRACT

This thesis explores development stages of a Self-loading water sweeper superstructure prototype. The theoretical part describes thoroughfares in terms of pollution, various types of cleaning machines currently in use and a detailed description of the FMEA method, which was used for identification of potential failure modes and risk mitigation. Stages of measurement and superstructure parameter improvement are proposed, executed and described in the practical part. In these stages, creation of model documentation, verification of functionality and stage of analysis FMEA are included. Furthermore, this section describes the results of tests devised to validate key superstructure parameters. The result of the work is a functional Self-loading water sweeper superstructure prototype, confirmation of key superstructure functional parameters and a draft of a series of improvement measures aimed at eliminating potential risks associated with operation of the superstructure.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mycí samosběrací nástavba, mycí zařízení, konstrukční FMEA, sekundární prašnost, polétavý prach, čištění komunikací, vývoj prototypu

KEYWORDS

Self-loading water sweeper superstructure, washing equipment, design FMEA, secondary dust, particulate matter, road cleaning, prototype development

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRASPÍR, K. *Zlepšování parametrů prototypu mycí samosběrací nástavby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 89 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Luboši Kotkovi, Ph.D. za cenné připomínky, věnovaný čas a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě THT Polička, s.r.o. za možnou spolupráci, ochotu a poskytnutí informací, zejména Ing. J. Švecovi, Ing. J. Lopourovovi, Ing. J. Mikutovi, Ing. L. Moravcovi a panu L. Niklovi. Velký dík patří společnosti Falky, s.r.o. za možnost měření parametrů na samosběracím zametacím zařízení a poskytnutí informací.

Zvláštní poděkování patří zejména mé rodině a blízkým, kteří mi byli oporou po celou dobu mého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Luboše Kotka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Bc. Kamil Vraspír

OBSAH

ÚVOD	15
1 KOMUNIKACE Z HLEDISKA ZNEČIŠTĚNÍ	17
1.1 Zdroje znečištění.....	17
1.2 Technologie a intervaly čištění.....	19
1.3 Polévatý prach	20
1.3.1 Vliv na lidské zdraví	21
1.3.2 Právní předpisy	21
2 STROJE PRO ČIŠTĚNÍ KOMUNIKACÍ.....	25
2.1 Zametací stroje - zametače.....	25
2.2 Samosběrné zametací stroje - samosběry.....	26
2.2.1 Chodníkové samosběry	27
2.2.2 Silniční samosběry	28
2.2.3 Typy používaných kartáčů	30
2.3 Vysávací stroje – vysavače	31
2.3.1 Chodníkové vysavače	31
2.3.2 Velké vysavače na automobilovém podvozku	31
2.4 Splachovací stroje – splachovače	32
2.4.1 Splachovací stroje prosté	32
2.4.2 Mycí samosběrací nástavba.....	34
3 IDENTIFIKACE ZDROJŮ RIZIK STROJE	39
3.1 Typy používaných metod.....	39
3.2 Historický vývoj FMEA.....	40
3.3 Význam metody FMEA	41
3.4 FMECA	43
3.4.1 Kvantitativní stanovení kritičnosti.....	43
3.4.2 Matice kritičnosti.....	45
3.5 Postup analýzy FMEA	47
3.6 Cíle metody FMEA.....	49
3.7 Plán analýzy FMEA.....	49
3.8 Rozdělení FMEA	49
3.8.1 FMEA konstrukce (DFMEA).....	50
3.8.2 FMEA procesu (PFMEA)	51
4 ETAPY ZLEPŠOVÁNÍ PROTOTYPU NÁSTAVBY MYSAN	53
4.1 Etapa tvorby modelové dokumentace	53
4.2 Etapa ověření funkčnosti nástavby	55
4.3 Etapa analýzy FMEA	56
4.3.1 Příprava podkladů pro analýzu FMEA	56
4.3.2 Aplikace metody FMEA	60
4.4 Etapa optimalizace úhlu mycích trysek	62
4.5 Etapa zkoušky účinnosti mytí.....	64
4.5.1 Zkoušení účinnosti čištění.....	64
4.5.2 Měření výstupního tlaku	68
4.5.3 Ověření funkčnosti čištění.....	72
4.6 Etapa měření hlučnosti.....	73
4.7 Etapa měření sekundární prašnosti	75

ZÁVĚR	79
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	81
SEZNAM SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	85
Seznam symbolů	85
Seznam tabulek	85
Seznam obrázků	86
SEZNAM PŘÍLOH	89

ÚVOD

Téma zlepšování parametrů prototypu mycí samosběrací nástavby jsem si vybral z důvodu možnosti spolupráce na vývoji mycího vozu ve firmě THT Polička, s.r.o. Firma THT má dlouholeté zkušenosti s návrhem a výrobou různých modifikací požárních automobilů, ale práce na vývoji mycí samosběrací nástavby je i pro tuto firmu nové téma. Zařízení by mělo být schopné čistit povrch vozovky pomocí kinetické energie usměrněných proudů vody bez mechanických kartáčů, kde by voda spolu s nečistotami měla být pomocí ejektorů dopravena do zásobníku, ve kterém se přečistí a bude opětovně použita na další mytí. Takovéto zařízení se dosud sériově nevyrábělo, ačkoliv náznak podobné koncepce již v minulosti byl.

V současné době jsou pro čištění komunikací nejvíce rozšířeny samosběrné zametací vozy, které mechanickou silou vytvářenou zametacími kartáči odstraňují nečistoty z povrchu vozovky a následně je různými způsoby dopravují do zásobníku. Tento způsob čištění bývá velmi často doplněn skrápěním kartáčů pro snížení sekundární prašnosti. Je však zřejmé, že ji nelze zcela eliminovat a to především při čištění větší vrstvy nečistot za suchého období, která se na vozovkách vyskytuje zejména při jarních úklidech. Dalším známým zástupcem v této oblasti jsou různé varianty vysávacích strojů. U těchto strojů je prašnost eliminována pomocí nejrůznějších filtrů, přes které je vzduch před vrácením do okolního prostředí pročištěn. Zde se však vyskytují problémy zanášení filtrů a také jejich častá a nákladná výměna.

Vzhledem k opakovanému překračování limitních hodnot prachových částic nejen v České republice je téma prašnosti řešeno převážně ve velkých městech. Mnohdy jsou jediným východiskem čištění nebo pouhého skrápění vozovek splachovací vozy. Při tomto způsobu čištění je sekundární prašnost eliminována, ale vyskytuje se problém se zanášením kanalizací nečistotami, jež jsou následně nákladným způsobem čištěny.

Je zapotřebí brát také důraz na hlučnost stroje. Významně vysoké hodnoty hluku mohou negativně ovlivnit životní prostředí nebo zdraví člověka. Navíc doba provozu a lokalita použití stroje může být závislá na míře jeho hlučnosti.

V teoretické části této diplomové práce je popsána problematika komunikací z hlediska znečištění, jednotlivé způsoby čištění, používané stroje a použitá metoda pro odstranění vad a způsobů poruch v předvýrobní etapě Mycí samosběrací nástavby. Praktická část je rozdělena podle jednotlivých vývojových etap prototypu. V první části je popsána tvorba modelové dokumentace a zkouška ověření funkčnosti nástavby. V další části je popis provedené analýzy FMEA, pomocí které byla navržena opatření pro zlepšení a odstranění možných způsobů poruch prototypu. V závěrečné části je popsán průběh dalších provedených zkoušek sloužících k ověření klíčových parametrů prototypu nástavby.

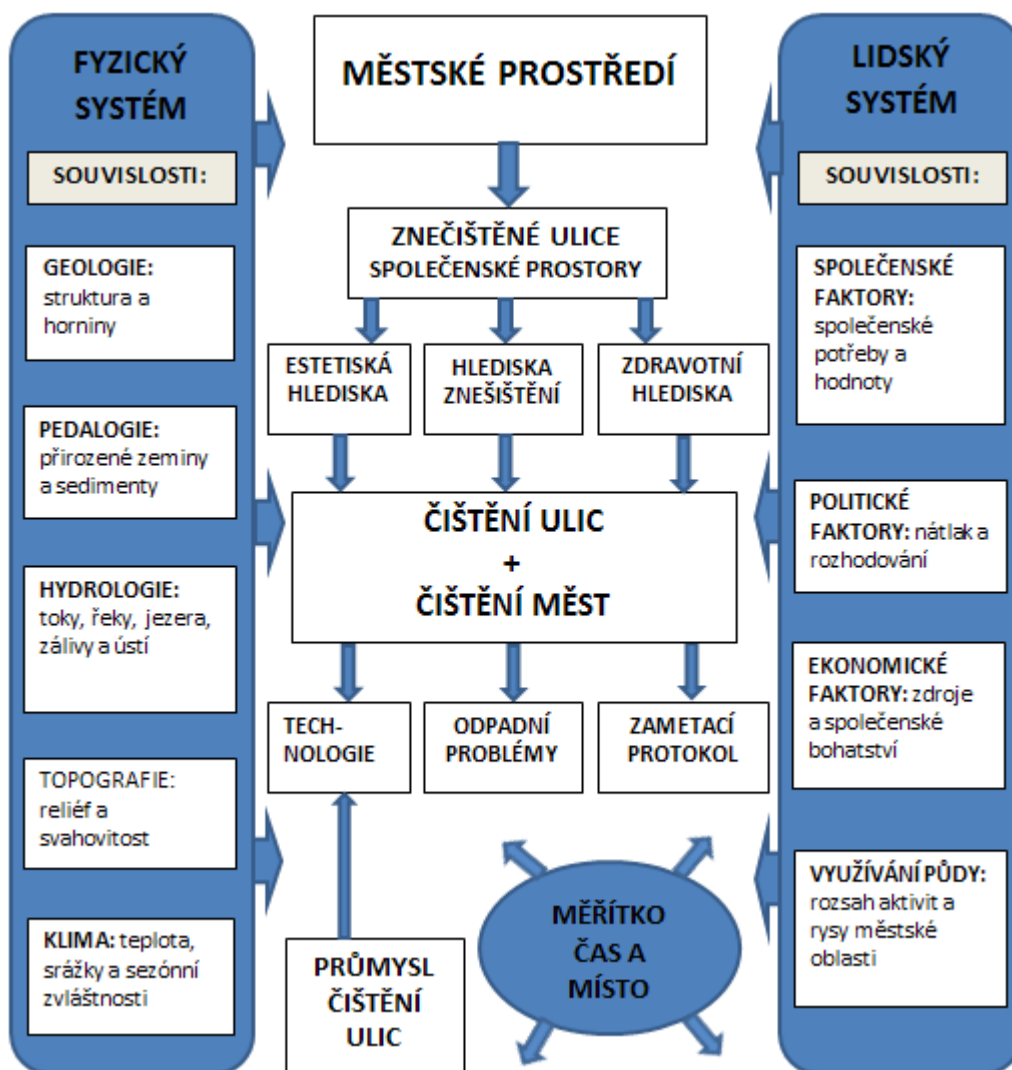
1 KOMUNIKACE Z HLEDISKA ZNEČIŠTĚNÍ

Požadavky na čistotu komunikací jsou dány zejména dopravní důležitostí a společenským významem. Čištění je činnost, díky které se z komunikací odstraňují nečistoty z hlediska bezpečnosti provozu, hygienických podmínek, estetického vzhledu, odtoku vody až po samotné prodloužení životnosti komunikací. Nečistoty jsou vhodným způsobem sebrány z vozovek nebo chodníků, nebo jsou spláchnuty do kanalizační sítě, kde se část nečistot odplaví a část zachytí v jímacích koších a usazovacích šachtách. Následně jsou nečistoty odvezeny na skládku nebo proběhne likvidace jiným vhodným způsobem [1,3].

1.1 Zdroje znečištění

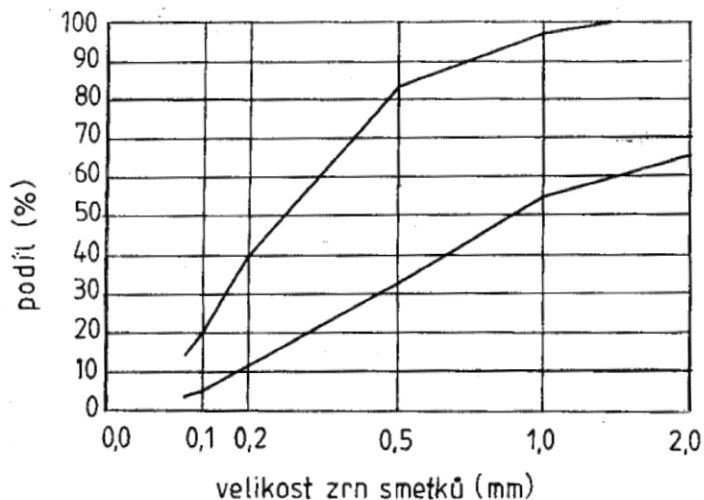
Zdrojem znečištění komunikací jsou produkty běžného života ve městech, obcích a průmyslových zónách. Jedná se zejména o prach a částice zemin, které vznikají v důsledku opotřebování povrchu vozovek. Dále jsou to nečistoty produkované stavební činností a zbytky stavebního materiálu, který je skladován na komunikacích nebo v její blízkosti, případně materiál, se kterým se po komunikacích manipuluje. Může se také jednat o výkopový materiál při různých výkopových pracích, naplaveniny z nezpevněných cest nebo svahů, listí ze stromů a keřů, nebo odhozené odpadky, jako jsou nedopalky cigaret, jízdenky apod. Dalším zdrojem znečištění je popel a ostatní exhalace z komínů, které se vyskytují převážně v průmyslových zónách nebo posypový materiál používaný pro zimní údržbu. Jedná se také o znečištění vznikající v důsledku provozu kolejových a nekolejových dopravních prostředků, jako je mastnota, odpadky ve stanicích či rozdrčený písek pro zvýšení adheze brzdění tramvají. V neposlední řadě se jedná o znečištění v okolí popelnic a kontejnerů na odpadky a odpadky související s prodejem občerstvení a dalšího zboží [1,3].

Důsledky nečinnosti čištění mohou být velmi významné. V první fázi se může jednat o estetický pohled, který je ovlivněn špínou, odpadky a pachem z důvodu zvýšení živočišných odpadů, v závislosti na místních společenských zvycích. V druhé fázi se jedná o znečištění přírodních vodních cest a ovzduší. Vysoká koncentrace nečistot ve vodách a ovzduší ohrožuje zdraví lidí, zvířat a rostlin. Proto musí manažeři měst rozhodnout o správném a účinném čištění, intervalech čištění a nakládání s odpady. Na obrázku 1 jsou zobrazena dvě ohniska fyzického a lidského prostředí, která zobrazují odborný rozbor vnitřních a vnějších souvislostí znečištění. Je rozumné předpokládat, že podmínky znečištění mohou být zcela odlišné v různých oblastech, a proto je nutné zvolit vhodné způsoby čištění a omezit tak zdravotní rizika [2].



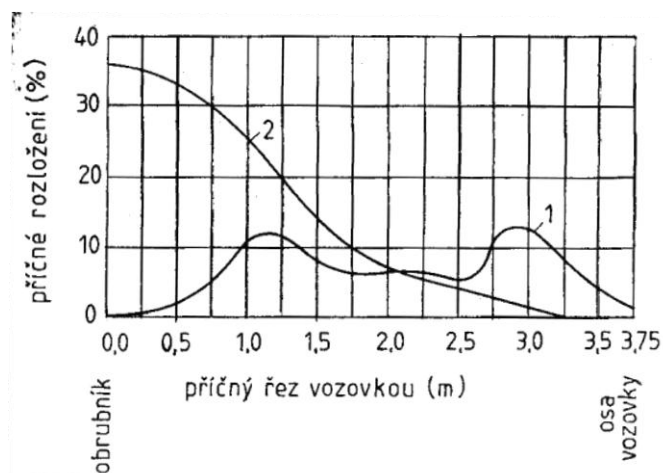
Obr. 1) Schéma přezkoumání postupů a protokolů pro čištění ulic v kontextu fyzického prostředí a prostředí člověka [2]

Z hlediska čištění komunikací je důležité množství a skladba nečistot. Množství se může vyjádřit v gramech na plošný metr čištěné plochy komunikace, kde se obvykle uvažuje průměr z pruhu při okraji vozovky o šířce 2 m. Druhým způsobem vyjádření množství je v gramech na délkový metr obrubníku, kde se bere množství nečistot v pruhu širokém 0,5 m při obrubníku. Co se týká skladby nečistot, opět můžeme tuto složku rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou nečistoty nesoudržného písčitého charakteru s malým obsahem hlinitých částic. V této skupině jsou také nečistoty jako papír, nedopalky cigaret apod. V druhé skupině jsou nečistoty soudržného hlinitého charakteru. Tyto nečistoty mají tendenci na čištěném povrchu vytvářet souvislý a za sucha tvrdý povlak, který je na povrchu vozovky velmi dobře přilnutý. Běžné znečištění je tvořeno převážně směsí obou výše zmíněných druhů nečistot. V závislosti na typu krytu vozovky je podle informativních měření křivka zrnitosti pouličních smetků v rozmezí uvedeném na obr. 2 [3].



Obr. 2) Mezní křivky zrnitosti pouličních nečistot [3]

Intenzita plošného znečištění je přírůstek množství nečistot za časové období, kde ve velkých městech je přibližně 30 až 100 g/m² za den. Ani v příčném profilu vozovky není znečištění stejné. Rovnoměrnost znečištění závisí na povětrnostních podmínkách a na intenzitě dopravy, kde vozidla, která projíždí po komunikaci, mají tzv. samočisticí účinek. Při průjezdu vozidel jsou vlivem vzdušného proudu nečistoty přesouvány od středu vozovky k okraji, což je patrné z obr. 3. Zde je znázorněné rozložení stop kol vozidel a rozložení množství nečistot v příčném profilu vozovky [3].



Obr. 3) Rozložení stop kol vozidel (1) a množství nečistot v příčném profilu vozovky (2) [3]

1.2 Technologie a intervaly čištění

Technologie a interval čištění je určen dle následujících hledisek:

- význam komunikace,
- druh a stav povrchu komunikace,
- intenzita znečišťování,
- účinnost použitých zařízení k čištění.

Běžné čištění komunikací je prováděno v průběhu celého roku v pravidelných intervalech podle pracovních programů. Časový interval zde závisí na maximální přípustné hodnotě znečištění, na výši denního přírůstku nečistot a na účinnosti použitého čistícího zařízení. Pro dálnice a rychlostní silnice interval čištění nařizuje ministerstvo dopravy a u ostatních komunikací jsou intervaly čištění nařizovány vnitřními předpisy obcí. Zvláštním druhem běžného čištění je tzv. komplexní čištění, které se týká míst, kde je velké množství překážek, jako jsou zejména parkující automobily. Toto čištění se skládá z odstranění překážek a následného vyčištění komunikace v celé ploše vozovky, chodníků, parkovacích míst a ostatních součástí, jako jsou zelené pásy, kde je vhodné s komplexním čištěním spojit i jiné úpravy těchto pásů, jako je kosení, ořezání větví a další činnosti. Mimořádným čištěním se rozumí odstranění nadměrného znečištění komunikace, ke kterému je nutné přistoupit vždy, když znečištění dosáhne takových kvalitativních a kvantitativních hodnot, že jej nelze odstranit běžným čištěním. Dle vyhlášky č. 104/1997 Sb. ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon č. 13/1997 o pozemních komunikacích, je předepsáno mimořádné čištění v termínech po zimním období na dálnicích a komunikacích I. třídy nejpozději do 30. dubna, na silnicích II. a III. třídy a na místních komunikacích II. a III. třídy nejpozději do 31. května, což se týká odstranění zbytků posypových materiálů, očištění dopravních značek, zařízení apod. Podle možností je v průběhu zimního období také prováděno odstraňování přebytečného posypového materiálu. V období do 30. listopadu se provádí odstranění spadaneho listí a zajištění funkčnosti odvodnění komunikací. Dále je provedeno čištění před zahájením prací na souvislé údržbě nebo opravě a po zjištění mimořádného znečištění. Mimořádné čištění může být po haváriích a poruchách vozidel, kde často dochází k úniku oleje nebo pohonných hmot, což vede ke snížení protismykových vlastností vozovky. Dále se může jednat o případy, kdy dochází ke znečištění při živelných pohromách, sportovních akcích, kulturních oslavách, trzích, nebo při intenzivních zemních a stavebních pracích [1,3,17].

1.3 Poléťavý prach

Problematika poléťavého prachu je v současnosti stále poměrně novým a aktuálním tématem. Pojmem poléťavý prach se rozumí pevné aerosolové částice, které jsou rozptýlené v atmosféře. Jejich velikost je zpravidla menší jak 10 μm a jejich pádové rychlosti jsou tak malé, že setrvávají v atmosféře dlouhou dobu a dostávají se tak do velké vzdálenosti od svých zdrojů. Poléťavý prach přispívá k významnému znečišťování životního prostředí, a proto musí být jeho množství sledováno. Závažným problémem je to, že částice poléťavého prachu na sebe váží škodlivé látky. Největším nebezpečím jsou látky v pevném nebo kapalném stavu, jako jsou uhlovodíky, těžké kovy, asbest, toxiny a radioaktivní látky, které jsou navázané na částice prašného aerosolu, jako jsou saze, pyl, zrnka zeminy nebo písku. Primárním zdrojem prachových částic jsou zdroje z dopravy, spalování fosilních paliv, tabákový kouř, zdroje z domácností (převážně v zimním období), průmyslová výroba apod. Méně typickými přírodními zdroji prachových částic, které by málokdo spojil se znečištěním, mohou být krystalky soli, rostlinná činnost, pyl, saze z požárů a sopek či prašné a písečné bouře. Sekundárním zdrojem prašnosti, který může tvořit až 40 % všech emisí, jsou již jednou usazené částice, které jsou opět zviřeny do atmosféry. Sekundární prašnost může být vytvářena jak lidským činitelem, tak větrnou erozí apod. [25,26].

1.3.1 Vliv na lidské zdraví

Z hlediska působení prachových částic na lidské zdraví jsou nejčastěji určovány prachové částice velikosti PM_{10} (hrubé částice) a částice $PM_{2,5}$ (jemné částice). Číslo, které se nachází za PM (Particulate Matter), udává střední hodnotu aerodynamického průměru částice. Dopad na lidské zdraví je ovlivněn především velikostí částic, chemickým složením, koncentrací v ovzduší a délkou působení. Nebezpečí prachových částic může být jak fyzikální, tak chemické. Z fyzikálního hlediska prachové částice dráždí a poškozují sliznice. Z hlediska chemického mohou mít částice na sobě navázané pyly, těžké kovy, alergeny, polyaromatické uhlovodíky apod. Částice se nejčastěji do organismu dostávají vdechnutím nosem nebo ústy. Zásadní roli hraje velikost částic, kdy se zmenšujícím se poloměrem prachových částic roste zdravotní riziko. Zatímco částice, které jsou větší jak $10\ \mu\text{m}$, člověk vykašle, částice, které jsou menší jak tato hodnota, se dostávají přes horní dýchací cesty až do průdušek, kde se usazují. Částice o velikosti nižší jak $2,5\ \mu\text{m}$ se pak dostávají přímo do plic a částice, které jsou menší jak $1\ \mu\text{m}$, se přes plicní sklípky mohou dostat až do krevního řečiště, kde přispívají ke vzniku kardiovaskulárních chorob [25,26].

1.3.2 Právní předpisy

Jelikož je ČR členem Evropské unie, ochrana životního prostředí je úzce provázána s ochranou životního prostředí Evropské unie. Ochrana venkovního ovzduší je tedy upravována formou směrnic Evropského parlamentu a Rady. Tyto směrnice mají formou právního aktu stanovit cíle, které musí všechny členské země Evropské unie splnit. Členské země tedy mají povinnost tyto směrnice zavést do svého právního řádu a dosáhnout tak požadovaných cílů. Každá země si však určuje to, jakým způsobem požadovaných cílů dosáhne. Nejvýznamnějšími směrnicemi, které se zabývají poléťavým prachem, jsou směrnice Rady 1999/30/ES o mezních hodnotách pro oxid siřičitý, oxid dusičitý, oxidy dusíku, částice a olovo ve vnějším ovzduší a rámcová směrnice 2008/50/ES o kvalitě ovzduší a čistším ovzduší Evropu.

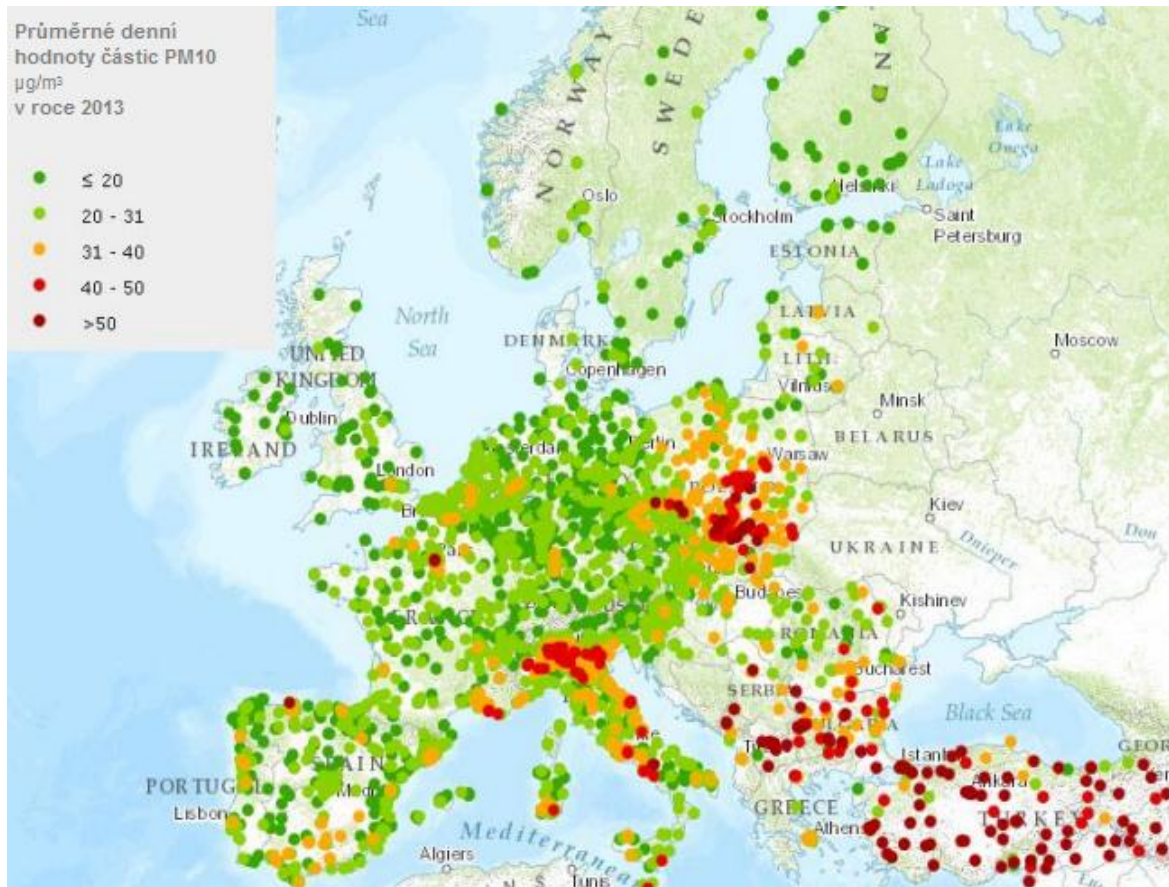
Směrnice Rady 1999/30/ES

Jedná se o směrnici, která jako první zavedla pojmy částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ a mezní hodnoty pro částice PM_{10} . Mezní hodnoty jsou rozděleny podle doby průměrování na roční mezní hodnotu a na 24 hodinovou mezní hodnotu, která nesmí být překročena více jak 35 krát v roce. Mezní hodnoty pro ochranu lidského zdraví jsou stanoveny na $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro roční mezní hodnotu a na $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro 24 hodinovou mezní hodnotu. Tyto meze jsou v české legislativě uvedeny jako imisní limity. Dále jsou směrnicí stanovena kritéria, jejichž cílem je zajištění pokud možno objektivního PM_{10} v ovzduší.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/50/ES

Jedná se o rámcovou směrnici upravující oblast posuzování kvality ovzduší, řízení kvality vnějšího ovzduší, plány kvality ovzduší, informování a podávání zpráv. Touto směrnicí jsou stanoveny limitní hodnoty pro $PM_{2,5}$, které lze rozdělit na maximální expoziční koncentrace, cílové hodnoty a mezní hodnoty. Nejdůležitější hodnotou je tzv. mezní hodnota, která odpovídá koncentraci $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ za kalendářní rok a je stanovena za účelem zabránění nebo předcházení škodlivým účinkům na lidské zdraví nebo životní prostředí. Tato hodnota je závazná pro všechny členské státy EU od 1.1.2015 a již nesmí být překročena. Směrnice však neuvádí sankce při překročení mezní hodnoty, ale na dodržování dohlíží Evropská komise, která může v případě překročení předvolat zemi před Soudní dvůr EU. Směrnice také

upravuje kritéria pro stanovení minimálního počtu míst odběru vzorků, který závisí na velikosti a typu vymezené zóny. Na obr. 4 můžeme vidět průměrnou roční koncentraci částic PM₁₀ v jednotlivých částech Evropy. Na mapě je viditelné, že vyšší koncentrace částic jsou na Slovensku, v Polsku, v oblasti Slezska a v České republice v oblasti Moravskoslezského kraje [25,26,28].

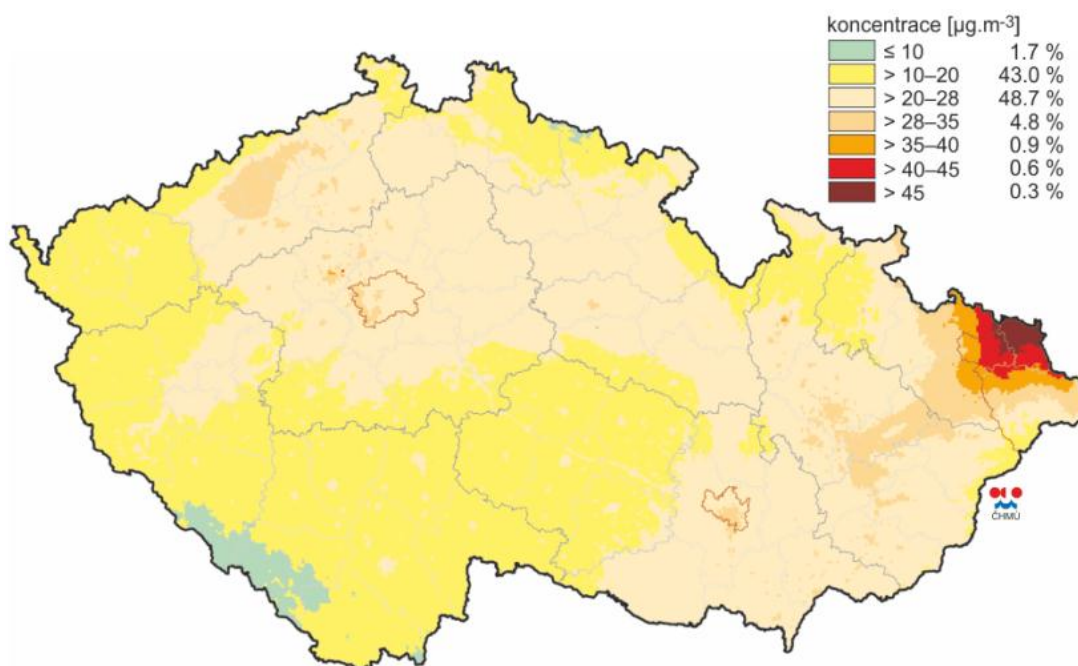


Obr. 4) Průměrné roční hodnoty koncentrace PM₁₀ v roce 2013 [28,29]

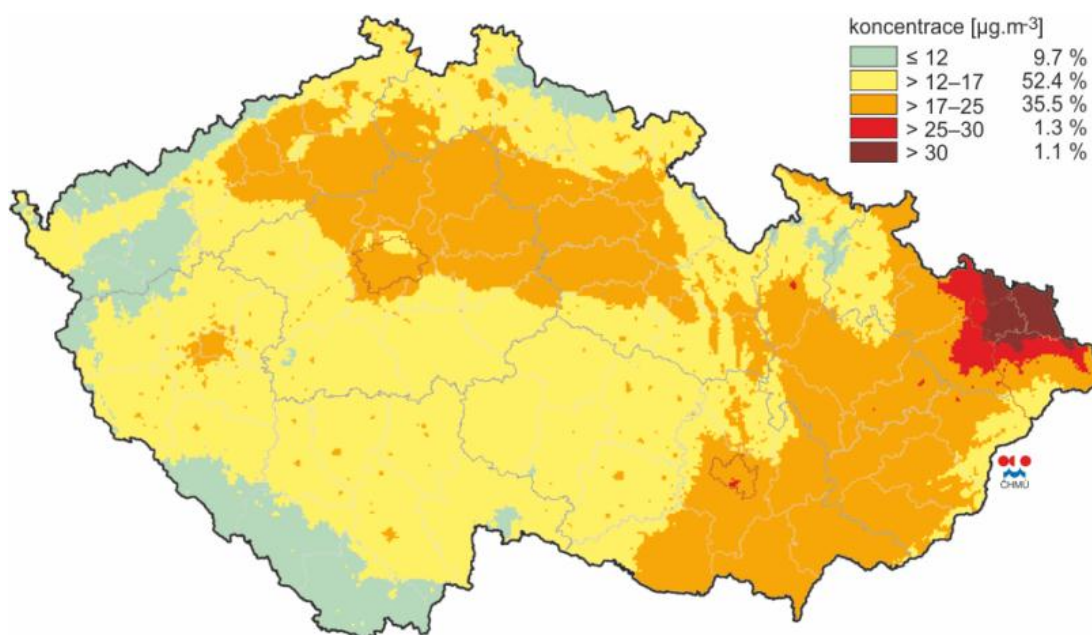
V České republice je základním právním předpisem v oblasti ochrany ovzduší zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Zákon je doplněn nařízením vlády č. 56/2013 Sb., nařízením vlády č. 351/2012 Sb., a vyhláškami č. 312/2012 Sb., 330/2012 Sb., 415/2012 Sb. a zavádí řadu změn v oblasti ochrany ovzduší. Tímto zákonem se ruší předchozí zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb. a jeho prováděcí předpisy. Z hlediska problematiky polévatého prachu jsou zákonem zavedeny důležité změny, jako jsou nízkoemisní zóny, kompenzační opatření, kategorizace zdrojů znečištění, povinnost vedení kontinuálních měření, individuální přístup ke zdrojům znečištění, minimální emisní požadavky na spalovací stacionární stroje s příkonem do 300 kW, povinné revize technického stavu spalovacích zdrojů na tuhá paliva v domácnostech apod. Zákon dále určuje například limity pro vypouštění emisí do ovzduší a poplatky za znečištění ovzduší. Určuje smogové situace, kde míra znečištění venkovního ovzduší je zjišťována pomocí měření koncentrace znečišťujících látek, které jsou obsaženy v atmosféře [25,26].

Na území České republiky je pro sledování vytvořena síť měřících stanic, které spravuje Český hydrometeorologický úřad (ČHMÚ). Získaná data jsou následně uchována v databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO), do které přispívají i jiné organizace,

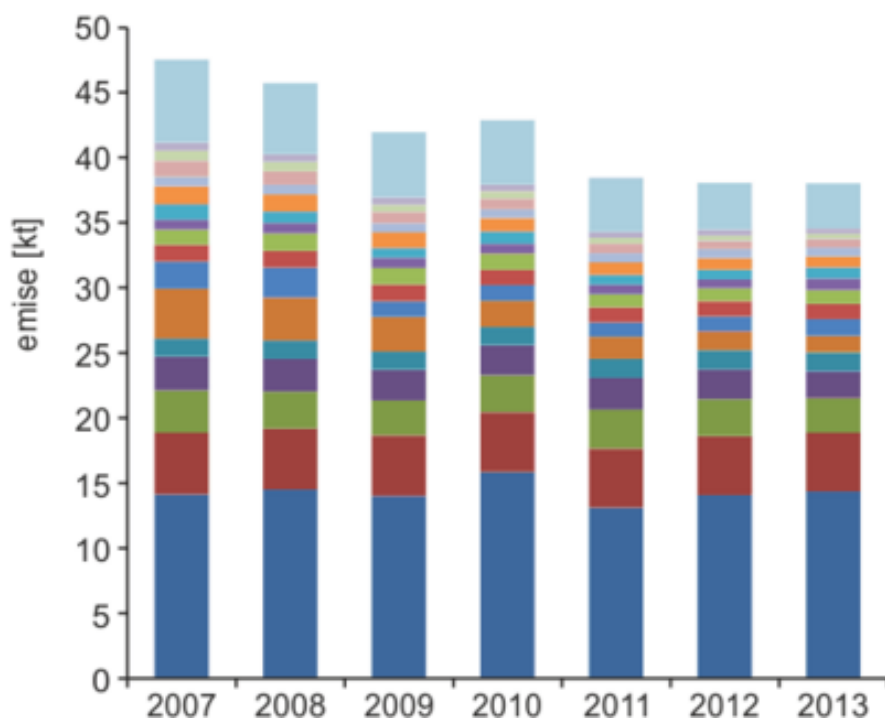
zabývající se kvalitou ovzduší (obr. 5- 7). V České republice, jak už bylo zmíněno, je denní limit pro znečištění ovzduší poléťavým prachem stanoven na hodnotu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Překročení tohoto limitu je tolerováno maximálně 35 dní v roce. V některých částech České republiky je však tento limit překračován i vícekrát jak 100 dní v roce. Pokud dojde k vyššímu počtu překročení imisního limitu látek, které znečišťují ovzduší, než je dáno zákonem, je zpracován program zlepšování kvality ovzduší. Tento program je vydán jako opatření obecné povahy Ministerstvem životního prostředí a při vypracování spolupracuje ministerstvo s příslušnými krajskými nebo obecními úřady [25,26].



Obr. 5) Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} , 2010-2014 [27]



Obr. 6) Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $\text{PM}_{2,5}$, 2010-2014 [27]



- 1A4bi - Lokální vytápění domácností
- 3Dc - Polní práce (orba, sklizeň apod.)
- 1A1a - Veřejná energetika a výroba tepla
- 1B1a - Fungitivní emise z pevných paliv: Těžba a manipulace uhlím
- 1A4cii - Zemědělství, lesnictví, rybolov: Nesilniční vozidla a ostatní stroje
- 1A3bii - Silniční doprava: Nákladní doprava nad 3,5 tuny
- 2A5a - Těžba nerostných surovin (mimo uhlí)
- 1A3bvi - Silniční doprava: Otěry pneumatik a brzd
- 3B4gii - Chovy hospodářských zvířat – Chov broilerů
- 3B4gi - Chovy hospodářských zvířat – Nosnice
- 2C1 - Výroba železa a oceli
- 1A3bi - Silniční doprava: Osobní automobily
- 1A3bvii - Silniční doprava: Abraze vozovky
- 3B3 - Chovy hospodářských zvířat – Chov prasat
- 1A2f - Spalovací procesy průmyslu a stavebnictví: Minerální nekovové produkty
- 2A5b - Výstavba a demolice
- Ostatní

Obr. 7) Vývoj celkových emisí PM₁₀, 2007-2013 [27]

2 STROJE PRO ČIŠTĚNÍ KOMUNIKACÍ

Pro čištění komunikací se používají různé typy strojů, které jsou na komunikacích využívány zejména podle jejich vhodnosti a způsobu čištění, v závislosti na druhu komunikace, intenzitě znečištění a okolních podmínkách.

2.1 Zametací stroje - zametače

Zametací stroje byly prvními stroji, které zvýšily produktivitu plošného zametání. Tyto stroje používají válcové kartáče, které rotují kolem své osy. Kartáče mohou být spojeny s podvozkem vozidla různými způsoby (obr. 8 - 10) a jejich rotační pohyb je umožněn pomocí hnacího agregátu podvozku vozidla, hydromotorem, spalovacím motorem nebo od kol podvozku. Výkonnost zametání je možné regulovat změnou otáček a přitlakem kartáče na vozovku nebo druhem výpletu kartáče (obr. 16). Hlavními parametry výpletu kartáče jsou tvrdost, tuhost a rozložení vláken, kde mohou být vlákna rovnoměrně uspořádaná po celém válci nebo jsou rozložena do několika řad rovnoběžných s osou válce nebo šroubovice. Protože zametače jsou schopny pouze shrnout nečistoty na levou či pravou stranu zametaného pruhu, je jejich význam pro zametání a čištění komunikací malý. Vhodnost těchto strojů je především na silně znečištěné větší plochy, jako mohou být například tržiště nebo náměstí. Další využití mají tyto zametače v zimním období ke smetení sněhu nebo sněhové břečky, kdy se včasným smetením značně omezí spotřeba posypových hmot. Ve spojení se splachovačem je možné využití na silně znečištěné komunikace pro uvolnění hlinitých nečistot v oblasti staveb apod. Jako zvláštní samostatné stroje se již téměř nevyskytují a zpravidla bývají spojeny se stroji, kde je válcový kartáč využit jako přídavné zařízení pro splachovače, sypače nebo traktory. Ty mohou být na přání zákazníka doplněny obrysovými světly nebo nádobou na kropení [1,4,6].

Způsoby upevnění kartáčů:

- Upevnění zametače do předního tříbodového závěsu traktoru – pohon kartáčů zajištěn od předního vývodového hřídele traktoru.



Obr. 8) Upevnění zametače do předního tříbodového závěsu [5]

- Upevnění do zadního tříbodového závěsu traktoru - pohon kartáčů zajištěn od zadního vývodového hřídele traktoru.



Obr. 9) Upevnění zametače do zadního tříbodového závěsu [5]

- Uložení na ramenech nakladače – pohon kartáčů realizován pomocí hydromotoru.



Obr. 10) Uložení zametače na ramenech nakladače [4]

2.2 Samosběrné zametací stroje - samosběry

Jedná se o stroje, které mají největší význam pro odstraňování nečistot, protože jsou schopny z čištěného povrchu sbírat nečistoty různé zrnitosti, objemové hmotnosti a různého množství nečistot v čištěném pruhu samosběrného vozu s vysokou účinností. Doprava smetků do zásobníku je uskutečněna mechanicky, pneumaticky nebo kombinací těchto dvou způsobů. Pneumatické samosběry dopravují nečistoty do zásobníku podtlakovým nebo přetlakovým způsobem. U podtlakového způsobu jsou nečistoty unášeny proudem vzduchu, který je nižší než atmosférický tlak a zametací kartáče mají současně funkci načechrávat smetky před vstupem sací hadice. U přetlakového způsobu dopravy smetků jsou smetky unášeny proudem vzduchu, který je vyšší než atmosférický a není zapotřebí načechrávacích kartáčů. Všechny typy samosběrů musí mít účinné odsávání prachu od kartáčů s důkladnou filtrací vyfukovaného vzduchu, protože samosběr by neměl být zdrojem sekundární prašnosti. Tyto

stroje však nemají velkou účinnost na jemný sediment nebo prach. V ulicích, kde je velký výskyt jemných částic nebo prachu, který má záporný elektrický náboj a umožňuje navázat pozitivně nabitě znečišťující látky, jako jsou kationty těžkých kovů, není zametací samosběr vždy vhodným nástrojem pro čištění. I přesto tyto stroje tvoří většinou základ čistících vozů. Snadná výměna kartáčů a čištění zásobníků přispívá k celkové lehkosti údržby a obsluhy těchto strojů. Samosběry jsou vyráběny v různých variantách rozměrů, celkových hmotností, principu sběru a dalších parametrů, které předurčují stroj pro oblast použití [1,2,3].

2.2.1 Chodníkové samosběry

Tuto skupinu samosběrů je možno uplatnit na čištění těch částí vozovek, parkovišť a odstavných pruhů, kde větší silniční samosběry nelze z různých důvodů uplatnit. Proto vznikla a postupně ještě vzniká skupina chodníkových samosběrů, které se vyznačují svou výbornou manévrovatelností o maximálním vnějším poloměru čištěného pruhu 5 m, což bývá zpravidla dosaženo řiditelnou zadní nápravou. Schopnost čištění jak po pravé tak levé straně v kompaktní stavbě stroje o šířce 900 - 1700 mm a výšce 1800 – 2400 mm. Chodníkové samosběry musí mít schopnost najíždět bez zvláštních přídavných zařízení na obrubníky s minimální výškou 150 mm, zajišťovat ochranu řidiče odvětrávanou a vytápěnou kabinou s výhledem řidiče na funkční části stroje. Převážná rychlost bývá od 20 do 50 km/hod a maximální pracovní rychlosti je do 2 km/hod. Tyto samosběry bývají také doplněny skrápěcím zařízením pro snížení množství jemných částic tak, aby se prašnost ovzduší za samosběrem udržela v přijatelných mezích. Výška spodní hrany smetkové nádrže musí být při vyklápění min. 1200 mm, aby bylo umožněné pohodlné vyklopení nečistoty do kontejneru. Stroje mohou být vybaveny přídavnou sací hubicí, která je ručně ovládána a slouží pro odstranění nečistot ze špatně dostupných míst. Veškeré vybavení stroje je navrženo tak, aby se mohl pohybovat po veřejných komunikacích. Tyto uvedené požadavky dokazují to, že konstrukce těchto chodníkových samosběrů je velmi složitá, a proto je tato skupina samosběrů rozdělena na:

- malé, kde celková hmotnost je do 1000 kg a šířka stroje je do 1000 mm,
- střední, kde celková hmotnost je do 2800 kg a šířka stroje je do 1350 mm (obr. 11),
- velké, kde celková hmotnost je do 4500 kg a šířka stroje je do 1700 mm [1].



Obr. 11) Chodníkový samosběr firmy Hako [9]

2.2.2 Silniční samosběry

Jedná se o skupinu, která je nejrozšířenější a nejstarším představitelem samosběracích strojů. Podle konstrukce je možné tuto skupinu rozdělit do tří druhů. Starší provedení těchto strojů, od kterého se již téměř upustilo, mělo samostatný zpravidla tříkolový podvozek s mechanickou dopravou smetků do zásobníku (obr. 12), jejichž hlavním výrobcem byla firma Wayne a dosud je firma Elgin [1,2,7,8].



Obr. 12) a) Tříkolový zametací samosběr firmy Elgin, b) Funkční princip zametacího stroje Elgin Pelican [8]

Druhým typem konstrukce, která je dnes mnohem známější, je samosběrná nástavba, která je umístěna na běžném automobilovém podvozku (obr. 13). S tímto typem konstrukce se přechází na odsávání nečistot do zásobníku, takže se samosběry stávají vysavačem s nametáním a uvolňováním nečistot pomocí kombinace talířových nebo válcových kartáčů.

Základním požadavkem a vlastnostmi silničních samosběrů je dobrá účinnost sběru nečistot různé frakce, různého množství a možnosti sebrání mokrých nečistot v případě provozu za deště. Patřičný důraz je kladen na co nejvyšší přepravní rychlost a zároveň zachování minimální pracovní rychlosti okolo 2 km/hod. Prostředí kabiny by mělo pro řidiče disponovat vysokou kvalitou a objem zásobníku na nečistoty by měl být co největší, aby pokryl velký pracovní rádius stroje. K omezení prašnosti v okolí sběru stroje jsou samosběry vybaveny skrápěči kartáčů, kde je možné podle potřeby regulovat průtok vody podle vlhkosti a složení sbíraných nečistot. Na podvozku je tedy za kabinou řidiče hnací zařízení nástavby, které obsahuje motor, ventilátor, hydraulické a vodní čerpadlo. Pod tímto komplexem je většinou umístěna soustava kartáčů a odsávací hubice. V zadní části vozidla je umístěn zásobník na nečistoty a nádrž na vodu, které spolu většinou tvoří celek. Zásobník na nečistoty by měl umožnit co největší vyklápěcí úhel a bývá doplněn i vibrátorem pro snadnější vyprázdnění. Zadní čelo zásobníku musí být dobře utěsněné a je výklopné. V zadní části vozidla bývá umístěna hadice velkého průměru, která je ručně ovládaná a slouží k odsátí špatně přístupných míst. Tato hadice bývá vybavena vstřikováním vody stejně jako hlavní sací trubice. Silniční samosběry se dělí do tří základních skupin s charakteristickými vlastnostmi u každé skupiny [1,2].

- Silniční samosběry malé

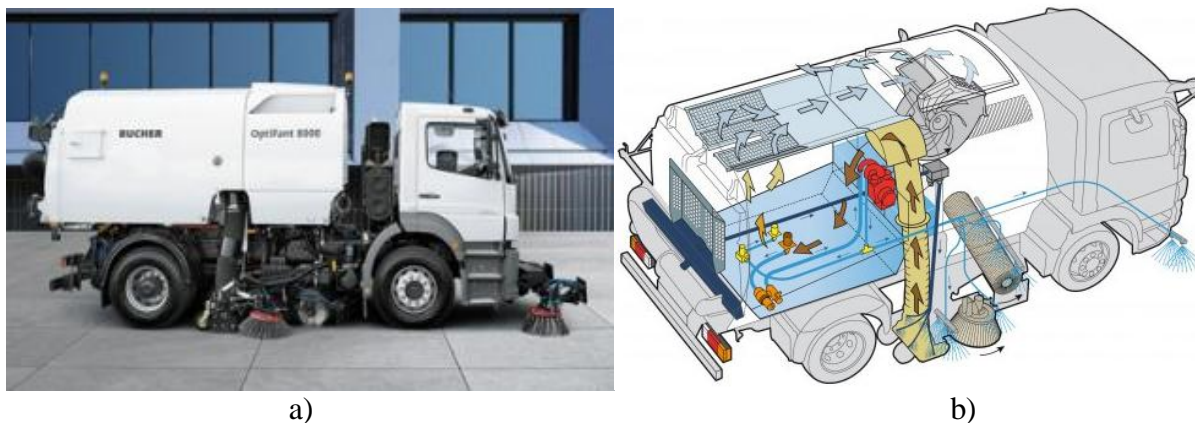
Celková hmotnost těchto samosběrů je do 7000 kg a celková šířka je do 2200 mm. Pro svou vyšší hmotnost nejsou vhodné pro čištění pěších komunikací. Velkou předností je použití levných podvozků lehkých nákladních automobilů. V případě použití speciálního podvozku, který se vyznačuje zejména menšími poloměry otáčení díky říditelné zadní nápravě a jsou doplněny bezstupňovou regulací rychlosti nebo hydromotorem [1].

- Silniční samosběry střední

Jedná se o nejběžnější silniční samosběry vhodné pro čištění většiny městských komunikací za běžného znečištění a bez zaparkovaných vozidel. Celková hmotnost těchto samosběrů se pohybuje v rozmezí 10 000 kg až 13 000 kg a šířka je v rozmezí 2300 až 2500 mm. Většina výrobců montuje tyto druhy samosběrů na nejrůznější běžné podvozky, odpovídající celkové hmotnosti [1].

- Silniční samosběry velké

Tento typ samosběrů je v menším zastoupení, protože jejich celková hmotnost v rozmezí 15 000 – 16 000 kg a vysoká sběrací schopnost předurčuje velké směnové výkony při čištění běžně znečištěných komunikací. Mimo jiné jsou také tyto stroje předurčeny na čištění mimořádných nečistot, jako jsou místa okolí staveb apod. Z tohoto důvodu bývají také tato vozidla doplněna nejrůznějšími radlicemi pro uvolnění ztvrdlých nečistot. Dále mohou být tyto vozy použity na přepravu různých hmot, jejichž naložení umožní vysávací hubice, která bývá zpravidla mohutněji dimenzována [1].



Obr. 13) a) Zametací samosběr na automobilovém podvozku, b) Funkční princip samosběru OptiFant [9]

Třetím typem konstrukce jsou vlečné samosběry, které mají svůj podvozek a jsou vlečeny za traktorem nebo za nákladním automobilem. Princip sběru je stejný jako u samosběrných automobilů, nicméně se liší způsobem pohonu vlečného vozu nebo se může lišit i způsobem dopravení smetků do kontejneru [11,12].

- Samosběrný vůz vlečný – pohon je zajištěn od zadního vývodového hřídele traktoru a smetky jsou hromaděny ve vlastním zásobníku (obr. 14).



Obr. 14) Zametací vůz vlečný [11]

- Zametací vůz vlečný – pohon je zajištěn pomocí nezávislého diesel motoru a smetky jsou dopraveny pásovým dopravníkem do korby vlečného vozu (obr. 15).



Obr. 15) Zametací vůz vlečný bez vlastního zásobníku [12]

2.2.3 Typy používaných kartáčů

Podle funkce se kartáče dělí na zametací, které uvolňují a přemisťují nečistoty, a na nametací kartáče, které slouží k dopravení uvolněných nečistot do zásobníku. Jako výpletový materiál kartáčů se používají různá vlákna z plastických hmot, přičemž nejvíce osvědčené a nejpoužívanější materiály jsou polyvinylchlorid a polyamid. Dalším materiálem jsou ocelové dráty, které mohou být po celé délce pozinkované nebo pogumované. Popřípadě se využívá kombinace těchto materiálů. Výběr výpletu se liší dle vhodnosti a použití kartáče.

- Válcové kartáče - plní hlavní činnost při odklizení nečistot a vyrábí se v několika délkových provedeních v závislosti na šířce záběru vozidla.
- Talířové kartáče - slouží jako pomocný kartáč k válcovému hlavnímu kartáči a podává nečistoty do dráhy pohybu válcového kartáče. Zpravidla se používá k vymetení obrubníků [3].



a)

b)

Obr. 16) a) Plastový válcový kartáč [3], b) Agresivní ocelový kartáč [6]

2.3 Vysávací stroje – vysavače

Jedná se o stroje, které sbírají nečistoty pouze pomocí proudu nasávaného vzduchu, který proudí nasávací hubicí. Tento typ strojů se používá na nečistoty, které nelpí na čištěném povrchu. Velkým problémem u těchto strojů je dostatečné vyčištění a vrácení použitého vzduchu zpět do atmosféry. Na čištění komunikací se používají dva typy [1,2].

2.3.1 Chodníkové vysavače

Ručně vedené zařízení, které vysává nečistoty přes ventilátor, který je poháněn zpravidla zážehovým nebo elektrickým motorem do zásobníku, který je vyroben z filtrační tkaniny. Díky jednoduchosti těchto strojů je nízká pořizovací cena [1].

2.3.2 Velké vysavače na automobilovém podvozku

Konstrukce je obdobná jako u velkých silničních samosběrů s tím rozdílem, že nemají soustavu nametacích kartáčů a sací hubicí. V zadní části automobilu je umístěna vrapovaná hadice o průměru 300 – 400 mm zakončená válcovou hadicí. Touto hadicí je možné přímo vysávat nečistoty nebo je možné její prodloužení o efektivní délce až 80 m nebo hloubce 16 m. Vlastní vysávání je uskutečněno pomocí ventilátoru s cyklónovým principem s podtlakem až 34 000 Pa. Díky takovému výkonu je zařízení schopno vysát nečistoty od formy jemného prachu až po předměty jako jsou cihly apod. Pro dobré využití jsou tyto vysavače vybaveny zásobníky od 4 do 12 m³ a jsou osazeny na 3 – 4 nápravových podvozcích (obr. 17). Tyto stroje se využívají převážně k odvozu smetků z menších samosběrů, odpadků z pouličních košů nebo k odvozu stavební suti [1,13,14].



Obr. 17) Vysavač na automobilovém podvozku [14]

2.4 Splachovací stroje – splachovače

Podstatou těchto strojů je uvolnění nebo odhrnutí nečistot z povrchu čištěného pruhu pomocí pohybové energie splachovacího proudu, který je usměrněn pomocí různých trysek na vozovku.

2.4.1 Splachovací stroje prosté

Tyto stroje se vyvinuly z kropících automobilů a dodnes se většina silničních splachovačů vyrábí na běžných podvozcích nákladních automobilů, kde je namontována nádrž o velikosti 500 – 10 000 litrů a mycí lišta nebo potrubí, které je přímo připevněné na rámu automobilu. Z trysek vychází usměrněný plochý proud v rozmezí 0,4 – 0,8 Mpa, který tvoří při dopadu na čištěnou vozovku souvislý břit. Ten uvolňuje nečistoty od čištěného povrchu. Jednotlivé trysky lze samostatně vypínat a zapínat, natáčet a také je možné regulovat výstupní tlak. Některé vozy mohou být doplněny i rozstříkovacími tryskami po obvodu vozidla. Podle záběru stroje je možné splachování nebo kropění v rozsahu šířky záběru 3 – 12 m. Splachovací stroje bývají doplněny hadicí s proudnicí, která slouží pro ruční splachování obtížně přístupných ploch [1,3].

- Chodníkové splachovače

Tuto kategorii je možné rozdělit dle základních parametrů na:

- Střední chodníkové splachovače, kde je celková hmotnost do 2800 kg a šířka vozu do 1350 mm, při objemu nádrže do 1,5 m³,
- velké chodníkové splachovače, kde je celková hmotnost do 4500 kg při maximální šířce 1700 mm a objemu nádrže do 2 m³.

Tato kategorie splachovačů je především vyráběna ve formě nástaveb na podvozky s víceúčelovým použitím (obr. 18), kde je možné rychlé upravení podvozku na zametač, nebo například na sypač s pluhem pro zimní údržbu. Tento typ splachovačů je vhodný k čištění chodníků tam, kde je možné splachovat nečistoty do odvodňovacích pruhů, kde jsou následně nečistoty po odtoku vody sebrány samosběrem. Tento způsob čištění je prováděn z toho důvodu, že chodníky jsou znečištěny jemnými prachovými částicemi, které zametací stroje nevyčistí s tak vysokou účinností [1].



Obr. 18) Chodníkový splachovač na podvozku Multicar [16]

- Silniční splachovače

Výroba těchto splachovačů je ve dvou základních konstrukčních variantách. Prvním typem je pevně umístěná nástavba na běžných podvozcích nákladních automobilů (obr. 19) a druhým typem je způsob odnímatelné nástavby na univerzálních nosičích, což je konstrukčně stejné provedení s výše popsanými chodníkovými splachovači. I tuto kategorii silničních splachovačů je možné rozdělit podle základních parametrů na:

- Malé silniční splachovače o celkové hmotnosti vozu do 7 000 kg, celkové šířce do 2200 mm a objemu nádrže na vodu do 3m³,
- střední silniční splachovače, o celkové hmotnosti vozu do 13 000 kg, celkové šířce do 2500 mm a objemu nádrže na vodu do 6m³,
- velké silniční splachovače, o celkové hmotnosti vozu do 17 000 kg, celkové šířce do 2500 mm a objemu nádrže na vodu do 8m³.

Všechny typy silničních splachovačů je možné v případě potřeby využít pro přepravu vody [1].



Obr. 19) Velký silniční splachovač na podvozku Man [16]

2.4.2 Mycí samosběrací nástavba

Tyto stroje se zatím běžně nevyrábí, nicméně již v roce 1967 byl zhotoven a předveden prototyp středního silničního samosběrného vozu od firmy WOMA. Tento prototyp byl podobné konstrukce jako samosběrný zametací stroj s odsáváním smetků bez nametacích kartáčů s činnou částí sací hubice o šířce 600 mm a stejnou šíří splachovací lišty, která vstříkovala ploché proudy na čištěnou vozovku o tlaku 4 – 5 Mpa. Voda s nečistotami byla zpět odsávána pomocí uzavřeného oběhu vzduchu do usazovací nádrže a následně opět použita na splachování. Spotřeba vody měla být dle výrobce cca 2,5 m³ na 25 pracovních kilometrů. I přes zdánlivé výhody tohoto stroje pro odstraňování nečistot z komunikací nedošlo prozatím k sériové výrobě obdobných strojů [3].

Nástavba, o které pojednává tato diplomová práce, se zrodila v roce 1977, kdy pan Josef Janečka přišel na myšlenku mycí samosběrací nástavby. Hlavní roli hrála zkušenost s provozem splachovacího vozu a poznatek velké kinetické energie plochého proudu vody dopadajícího na zem, který je následně spolu s nečistotami odrážen i přes překážku, jako je obrubník mimo vozovku. Myšlenka se týkala možnosti sběru nečistot přes zkosenou pryžovou lištu, po které by byly nečistoty pomocí vody nesené do sběrače, voda přečerpána do nádrže, kde by byla přečištěna a opět tlakována do trysek. Nečistoty by tedy nebyly splachovány na krajnici a do kanalizací, které musí být poté nákladně čištěny. Tuto myšlenku tedy pan Janečka nabízel přidruženým výrobám JZD k vývoji a následné výrobě, ovšem bezúspěšně [33].

V roce 1987 pan Janečka na pozici konstruktéra v JZD Slušovice nabídl svou myšlenku jako „zlepšovací návrh“, kde byl opětovně komisí zamítnut s argumentem nefunkčnosti navrhovaného principu. Přesto si pan Janečka ověřil svou myšlenku experimentem, ze kterého následně vycházel při určování parametrů výkonu čerpadla, sklonu vlečné lišty apod. S nápadem nakonec uspěl v JZD Třinec, kde předsedu zaujala myšlenka vlastního finálního výrobku pro přidruženou strojírenskou výrobu s monopolním postavením na trhu. Pod názvem „Mycí stroj na komunikace“ a pod vedením pana Janečky začala v roce 1989 stavba 1. prototypu. JZD Třinec dalo k dispozici sklápěcí automobil a na odpovídajícím zakoupeném rámu vozidla začala stavba prototypu. Požadovaný výkon čerpadla byl odvozen od kropícího vozu. Problém nastal při výběru kalového čerpadla, které by přečerpávalo kal ze sběrače do cisterny. Potřebné parametry splňovalo vřetenové kalové čerpadlo s pryžovým statorom, ale později se ukázalo, že by pro tento způsob použití bylo nevhodné, a to z důvodu častého výskytu hřebíků na silnicích z dřevěných bočnic valníků, které by čerpadlo zničily. Druhým návrhem bylo použití dvou ejektorových čerpadel, která jsou schopna vzít i hrubší materiál včetně kovových předmětů. S tím byl však spjat požadavek na vyšší množství vody, což znamenalo výkonnější vodní čerpadlo. Tomuto požadavku odpovídalo čerpadlo Meta 18 od firmy Sigma Lutín. Výpočty parametrů a rozměrů ejektorů byly provedeny panem Ing. Švecem z Karosy Vysoké Mýto [33].

Tlakové čerpadlo bylo umístěné za kabinou řidiče a tvořilo součást podvozku. Pohon čerpadla byl pomocí klínových řemenů od vývodu převodovky. Tlaková voda se těsně za čerpadlem dělila na větev ejektorů a větev plochých trysek umístěných na sběrači. Potrubí bylo vedeno dopředu po rámu vozidla a se sběračem propojeno hadicemi. Sběrač byl vybaven vlečenou pryžovou lištou, na kterou řada plochých trysek naplachovala vodu i s nečistotami do sběrače. Tento kal hnaly ejektory ze sběračů hadicemi o průměru 100 mm vzad, taktéž po rámu vozidla. Problémem bylo protáhnout potrubí a hadice mezi kabinou, motorem,

řízením a pérováním, aniž by neohrozilo jejich prodření nebo ovlivnění funkce pohybujících se částí. Poté se ejektorové potrubí zvedalo za kabinou před předním čelem cisterny nahoru a s potrubím na cisterně bylo propojeno plochým šikmým spojením. Potrubí na cisterně vedlo k zadnímu čelu, kde byl kal vypouštěný do cisterny. Kalná voda postupovala dopředu přes děrované příčné vlnolamy. Písek sedimentoval a voda byla nasávána u předního čela přes sadu pevných sít tlakovým čerpadlem opět k tryskám a ejektorům sběrače [33].

Tímto způsobem byla docílena funkce základní myšlenky – sběru vody i s nečistotami a opětovné použití vody, jako čisticího media. Cisterna byla na sklápěčce, takže po spotřebování vody byl hustý kal a sediment vyklopený otevřeným zadním čelem na skládce. Cisterna byla následně vypláchnuta vodou, naplněna a opět připravena k pracovní pohotovosti. Příjemným překvapením, kromě potvrzení předpokládané funkce, byla dokonalá čistota vozovky a do té doby nepředstavitelná pojezdová rychlost čištění až 40 km/hod. Sběrač byl zavěšen před vozidlem na držáku sněhové radlice s předpokladem, že mycí zařízení, využívané v létě, bude instalované na podvozek sypače se sněhovou radlicí, který je využíván v zimní sezóně. Díky tomu by se podvozek využíval po celý rok. Stavba a funkční zkoušky byly ukončeny koncem léta v roce 1990 a bylo možné předvést stroj (obr. 20) na výstavě Země živitelka v Českých Budějovicích a hned poté na Strojírenském veletrhu v Brně. Odborníky na očistu komunikací tato nová technologie zaujala především pro rychlost a kvalitu očisty. Největší zájem projevila firma SSaZ v Nové Pace [33].



Obr. 20) 1. prototyp s názvem „Mycí stroj na komunikace“ [33]

Při zkouškách bylo zjištěno, že je nutná změna pohonu. Spojení s motorem vozidla bylo nevhodné. Při nutném zpomalení vozidla nebo v zatáčkách musel řidič držet potřebné vyšší otáčky čerpadla na spojce a plynu. Aby vodní čerpadlo mělo stále potřebné vyšší otáčky, bylo jasné, že stroj vyžaduje samostatný motor. Dále bylo nutné upravit systém sedimentování kalu v cisterně a zlepšit funkci sacího koše. Na sběrači byly instalovány a nastaveny boční trysky tak, aby vyplachovaly nečistoty od obrubníků před sběračem a ten je jízdou sebral. Tyto a další drobné úpravy byly provedeny hned po návratu z Brněnského veletrhu [33].

Po roce 1990 se změnila politická situace. Přidružené strojařské výroby v rámci JZD již nedostávaly dotace a byly rušeny. Proto se v roce 1992 rozhodlo vedení družstva prodat prototyp firmě Silniční Stroje a Zařízení Nová Paka (SSaZ). Pan Janečka jakožto autor stroje a spolumajitel patentů začal vést konstrukční vývoj dalšího prototypu i v Nové Pace. Stroj dostal nový název „Mycí Samosběr na Komunikace“ (MSK) (obr. 21). K pohonu čerpadla byl použit motor Zetor. Změnilo se vnitřní uspořádání cisterny na dvě pevné podélné příčky, které byly spojené uprostřed příčnou příčkou (podoba písmene H), za kterou byl sveden kal. Odtud pokračoval proud kalu k zadnímu čelu, kde se stáčel dopředu a podél obou bočnic (kde se nacházely příčné výkyvné přepážky), putoval k čelu přednímu. Zde se kal stáčel opět mezi dvě podélné příčky vzad ke středu cisterny, kde se nacházel sací koš. Tímto řešením se sedimentační vzdálenost kalu zdvojnásobila oproti prvnímu řešení [33].

Sací koš byl navržen rotační s vnitřním prostříkem, aby nebyl koš zanášený vznášejícími se nečistotami, což byl nedostatek koše pevného. Prostříknuté nečistoty měly přepadat za středovou příčnou příčku do prostoru vstupu kalu do cisterny. Výrobce si však prosadil vlastní řešení pevného svislého válce ze síťoviny, v jehož ose se otáčela trubka, která měla na svislých ramenech řadu trysek, které zevnitř síťovinu proplachovaly. Řešení bylo jednoduché, ale nečistoty stále setrvaly v blízkosti koše a při snižování hladiny se zahušťovaly a tím omezovaly využití vodní náplně. Dalším nedostatkem bylo to, že vedení firmy odmítlo provést alespoň krátkodobě zkoušky životnosti s tvrzením: „Máme objednávky, jdeme do výroby a nedostatky budeme řešit za pochodu u zákazníků“. Nedostatkem bylo také to, že stroje byly vyráběny z černého materiálu, protože nerezové materiály byly v té době velmi drahé, takže rychle korodovaly, a to především na jaře při sběru slaných posypů [33].



Obr. 21) 2. prototyp s názvem „Mycí samosběr na komunikace“ [33]

V roce 1993 opustilo vedení z politických důvodů firmu SSaZ a založilo firmu KOBIT v Praze, kde byl Rakouský majoritní vlastník. Pan Janečka byl požádán o výpomoc při výrobě prototypu MSK v Praze. K pohonu byl použit motor s vyššími otáčkami, který byl přes spojku napojen přímo na osu čerpadla, čímž se vyřadil řemenový převod ke zvýšení otáček motoru ZETOR. Toto řešení se však neosvědčilo, protože vibrace motoru pravděpodobně uvolňovaly matici oběžného kola čerpadla. Přibližně pět zákazníků si poté nechalo pohon upravit v SSaZ Nová Paka na řemenový převod, čímž byl problém odstraněn. KOBIT ve výrobě

nepokračoval. Majoritní vlastník si prosadil do výroby vlastní stroj na očistu komunikací s nametacím bubnovým kartáčem [33].

V roce 1994 změnila firma SSaZ majitele a rok poté byly panem Janečkou navrženy zásadní konstrukční změny, které vycházely z provozních zkušeností. Změny byly v postavení MSK na tříosé vozidlo, aby bylo možné použít cisternu s dvojnásobným obsahem a tím se dosáhlo zvětšení pracovního rádiusu stroje. Původní objem byl pouze 5 m³ vody. Další změnou bylo umístění sběračů mezi nápravami, aby jej mohla obsluha zpětnými zrcátky sledovat, protože u sběrače před vozidlem obsluha pouze odhadovala vzdálenost od obrubníku apod. Tím by byl mimo jiné získán prostor pro instalaci zatlačovacích krytů pro boční naplachovací trysky, které ve stávajícím provedení trčely nebezpečně dopředu. Namísto toho bylo panu Janečkovi sděleno, že nový majitel má jiné představy o své produkci a krátce nato byla výroba MSK zastavená. Nedotažený vývoj a změny ve vedení firmy měly na kvalitu stroje neblahý vliv. Přesto se vyrobilo přes 50 kusů MSK [33].

V roce 2009 zaujal tento stroj ředitele STS Šumperk a.s. O funkčních a praktických přednostech stroje se přesvědčil po návštěvě SuS Velké Březno na posledním funkčním stroji z produkce SSaZ. Zde byla ověřena funkce, kvalita i rychlost očisty komunikace. Taktéž se zde nabízela možnost mít vlastní finální výrobek i s předností monopolního postavení na trhu na základě patentovaného krytí. Další předností byla možnost získat státní dotaci na vývoj nového výrobku, případně i na zavedení výroby. Po získání dotací byl spuštěn vývoj dalšího návrhu pod názvem „Mycí Samosběrací Nástavba (MySaN)“. Základ tvořila plošina sklápěcí korby na tříosou Tatru, na které se začala stavět cisterna z nerezového materiálu s objemem vody 10 m³. Současně byl také zhotoven podvozek na jednoosém podvozku, na kterém byla plošina postavená v pracovní výšce stroje, a bylo možné s cisternou manipulovat. Firmou byl také zapůjčen od SuS Šumperk podvozek, který byl upraven, a pokračovalo se s výrobou dělených sběračů mezi nápravami s použitým materiálem nerezavé oceli. Taktéž byla podepsána smlouva s hydraulickou firmou o vývoji hydraulického pohonu tlakového vodního čerpadla pomocí hydraulického měniče poháněného motorem Tatry. Tomuto řešení bylo věnováno hodně času, ale nakonec se neosvědčilo. Hydraulická firma garantovala, že zajistí i při volnoběhu motoru vozidla potřebné otáčky pohonu čerpadla. Tyto vlastnosti však nebyla schopna svým řešením dodržet a tím pádem se bylo nutné vrátit k osvědčenému pohonu přídatným pohonem. Taktéž se neosvědčilo umístění sběračů mezi nápravami. I když byly provedeny nákladné úpravy podvozku, nebylo možné skrze páteřovou trubku podvozku Tatry zajistit dostatečnou světlou výšku při přepravní poloze sběračů. Nastalo rozhodování o umístění sběračů. Řešení vpředu bylo špatné a mezi nápravami špatně řešitelné. Zbývala třetí možnost umístění sběračů v zadní části. Nakonec se toto řešení stalo vhodné nejen pro umístění sběrače, ale i jako nová koncepce (obr. 22). Pokud se vyřeší zvedání sběrače tak, aby nepřekážel vyklopení sedimentu na skládce, bude možné postavit celý stroj na kontejner, včetně hnacích agregátů, rozvodů a rozvaděčů. Tímto řešením odpadnou dělené potrubní prostupy a hlavně odpadne nutná nákladná kusová úprava podvozků. Tímto způsobem je také možné předvyrobit nástavby na dané typy kontejnerů, kde si zákazník dodá nosič a po zaškolení obsluhy si odveze kompletní stroj. Navíc nemusí být nástavba při stažení z nosiče umístěna na podstavcích, jak tomu bylo u dosavadního řešení, ale může být položena přímo na zem. Vše je tedy snadno dostupné ke kontrole nebo opravě. Toto řešení nese velkou výhodu v případě použití sklápěcího podvozku bez nutnosti úprav [33].



Obr. 22) 3. prototyp s názvem „Mycí samosběrací nástavba“ (MySaN) [33]

Po vytvoření prototypu a drobných zkušebních jízdách se v roce 2013 firma STS Šumperk dostala do insolvence a tím skončily další práce a úpravy na vznikajícím prototypu [33].

V roce 2015 koupila prototyp Mycí samosběrací nástavby „MySaN“ firma THT Polička, kde první etapou bylo vytváření výkresové a 3D modelové dokumentace nástavby. S jednotlivými kroky postupu zlepšování parametrů prototypu mycí nástavby se budu podrobně zabývat v praktické části této diplomové práce.

3 IDENTIFIKACE ZDROJŮ RIZIK STROJE

Prototyp Mycí samosběrací nástavby je zařízení, které nebylo doposud sériově vyráběno. Pro eliminaci možných chyb a způsobů poruch je tedy důležité, aby možné zdroje rizik, které by mohly být spojené s provozem nástavby, byly identifikovány již v etapě vývoje. Právě zvolení doby identifikace je důležité, protože čím později dojde k realizaci, tím vyšší budou náklady s tím spojené.

3.1 Typy používaných metod

Pro identifikaci zdrojů rizik se používají různé metody, přičemž ty, které by mohly být použity pro prototyp nástavby MySaN, jsou níže popsány:

- Metoda Hazop

Jedná se o systematickou a praxí ověřenou metodu, která byla původně vyvinuta pro zacházení s kapalným médiem nebo token jiného materiálu. Je založena na hodnocení pravděpodobnosti ohrožení a z toho plynoucích rizik. Cílem metody je identifikace scénářů potencionálního rizika a umožňuje identifikovat stavy, které se na zkoumaném zařízení mohou vyskytnout. Metoda zahrnuje pohyb osob včetně způsobů dopravy při zkoumání různých posloupností. Při samotné analýze se hledá odchylka od požadované funkce pomocí tzv. klíčových slov. Po nalezení příčin nebo souběhu příčin vedoucích k odchylce jsou stanoveny možné následky a doporučená opatření. Studie je realizována v týmu formou odborné diskuze [30].

- Metoda WHAT IF

Metoda „co se stane když...“ je přístup spontánní diskuze a hledání nápadů. Analýzu provádí skupina zkušených lidí, která je dobře obeznámena s procesem nebo výrobkem, která si klade otázky nebo vyslovuje úvahy o možných nežádoucích událostech. Nejedná se o vnitřně strukturovanou metodiku, ale po každém analytikovi je požadováno, aby se přizpůsobil aktuální formě průběhu analýzy [30].

- Check list

Jedná se o velmi jednoduchou, ale přesto účinnou metodu, kde se analýza provádí pomocí kontrolního seznamu a využívá seznam položek, kroků nebo úkolů, podle kterých je ověřena správnost nebo úplnost postupu. Analýza pomocí kontrolního seznamu bývá často základem různých sofistikovaných metod v oblasti kvality, bezpečnosti či rizik. Kontrolní seznam vychází obvykle z nějaké dobré praxe, podle které je seznam vytvořen a pracovník kontroluje správnost a úplnost své práce nebo stav kontrolovaného předmětu. Tato metoda je limitována podobností zařízení a je vhodná pro jednodušší technologie [30].

- Metoda FMEA

Jedná se o preventivní metodu umožňující včasné identifikovat možné poruchy, chyby nebo vady, které mohou ovlivnit funkci systému nebo výslednou kvalitu či bezpečnost výrobku. Metoda je založena na zkušenostech týmu, který postupně provádí systematickou identifikaci všech možných vad výrobku nebo procesu včetně jejich důsledků. Vzhledem k tomu, že tato metoda univerzální, používá se v řadě oblastí, a to zejména v oblasti řízení rizik, řízení

bezpečnosti či řízení kvality. Na základě zkušeností a možností bylo rozhodnuto o použití této metody pro identifikaci možných způsobů poruch prototypu Mycí samosběrací nástavby, a proto bude tato metoda více popsána v následujících kapitolách [30].

3.2 Historický vývoj FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), je v českém překladu Analýza možností vzniku vad a jejich následků. První náznak této analýzy byl v armádě ve Spojených státech. Dokladem je vojenský předpis MIL-P-1.629 z 9. listopadu roku 1949, což byl postup nazývaný Postupy pro provádění způsobů porušení, efekty a kritická analýza (Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), což by se dalo přeložit do dnešní zkratky FMECA. Záměrem standardu MIL bylo vyhodnotit spolehlivost systému pro stanovení účinku systému a selhání kritických komponentů. Chybové režimy byly klasifikovány podle jejich vlivů na úspěch a bezpečnost mise. Po druhé světové válce někteří výrobci spotřebního zboží stanovili nové obchodní priority, mezi které patřila spokojenost a bezpečnost zákazníků. V důsledku toho zůstala analýza FMEA jako nástroj pro posuzování rizik [18,21].

V roce 1963 použila tuto metodu společnost NASA na projektu Apolo 13, kde tuto metodu využila jako spolehlivostní analýzu složitých systémů v kosmickém výzkumu. FMEA byla použita následně i na jiné projekty jako Voyager, Viking, Magellan, Galileo a další. Ve stejné době se tato metoda rozšířila a začala aplikovat v civilním letectví. Roku 1967 společnost Automotive Engineers vydala první publikaci k řešení FMECA. V roce 1977 byla tato metoda přijata a poprvé použita v automobilovém průmyslu společností Ford Motor po předcházejících problémech s modelem Pinto. Tato metoda byla následně využita k preventivnímu zajištění kvality vyráběných součástí. V roce 1980 byla i v Německu v normě DIN 25 448 stanovena metodika analýzy následků a poruch s podtitulem FMEA a ve svazku VDA byla dále tato metoda specificky přizpůsobena pro automobily a začala být rutinně používána [20].

V roce 1988 Mezinárodní organizace pro normalizaci vydala sérii norem řízení podniku ISO-9000. Požadavky ISO-9000 tlačily organizace k vypracování formalizovaného systému řízení jakosti, který je v ideálním případě zaměřen na potřeby, přání a očekávání zákazníků. Skupina, kterou tvořili Chrysler Corporation, Ford Motor Company a General Motors Corporation, vyvinula QS-9000 pro standardizaci systému kvality dodavatelů v automobilovém odvětví. V souladu s QS-9000 musí dodavatelé pro automobilový průmysl využívat Advanced Product Quality Planning (APQP) včetně navrhování a procesních FMEA. QS-9000 je analogie ISO-9000, která je implementována v automobilovém odvětví. I když byla FMEA primárně vyvinuta pro podporu v designu výrobku, v poslední době došlo k nárůstu a využití této metody na podporu v procesu návrhu včetně výrobních procesů a údržby. V konstrukci produktu a procesu jsou techniky FMEA aplikovány na sériovou výrobu s efektivními výsledky a s neustálým zlepšováním.

Mezi hlavní výhody patří:

- Identifikace priorit pro zlepšení konstrukce,
- dokumentace důvodů změny,
- pomoc při vývoji produktu, ověřování a testování konstrukce,
- dokumentace preventivních opatření pro ISO 9000,

- pomoc při identifikaci kritických nebo významných rysů produktu,
- pomoc při vyhodnocování alternativních návrhů,
- pomoc při identifikaci a eliminaci potenciálních bezpečnostních problémů [18,21].

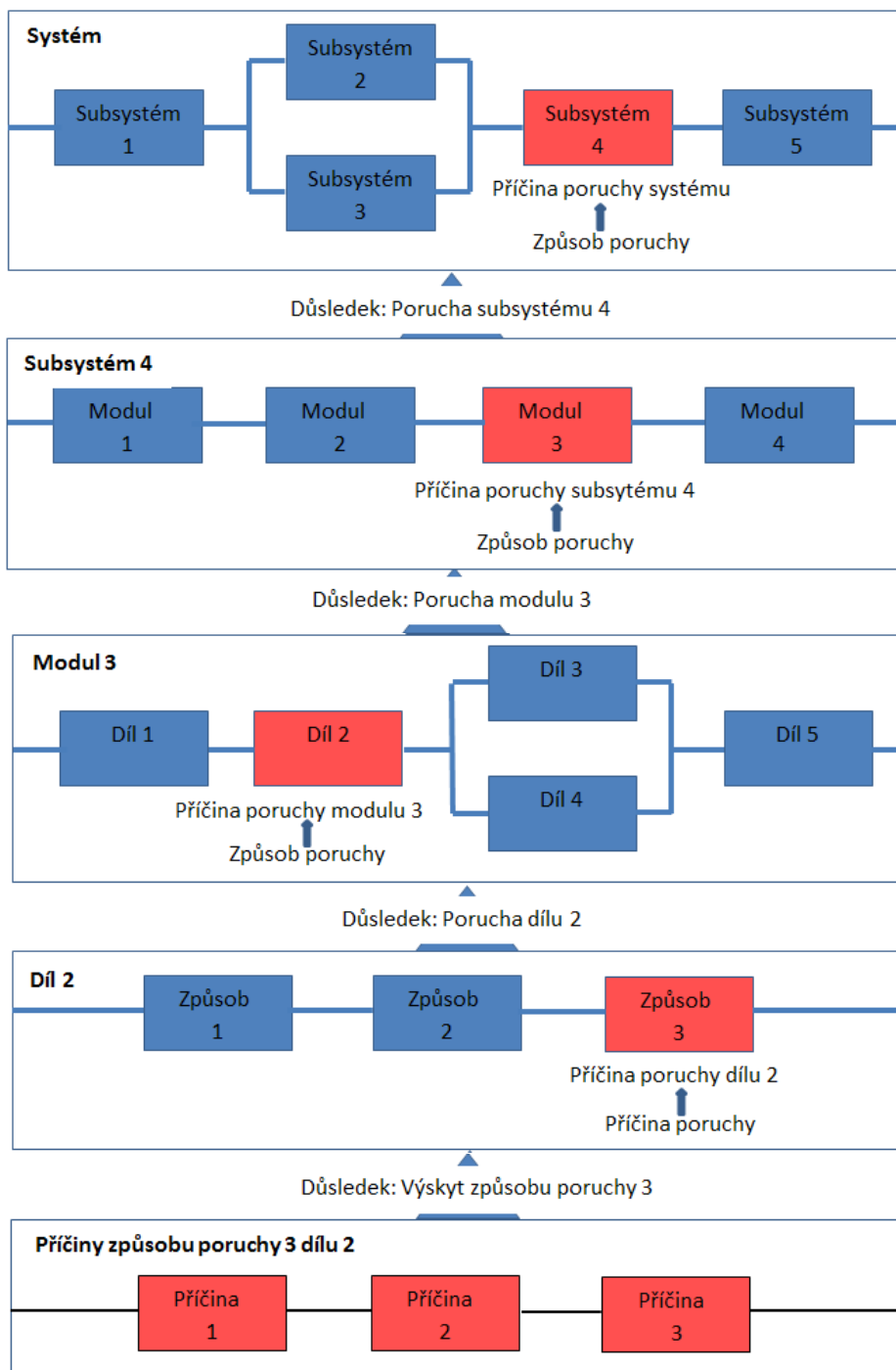
3.3 Význam metody FMEA

Metoda FMEA je základní analytickou metodou k efektivnímu plánování. Užití metody FMEA je doporučeno normami ISO souboru 9000 a stále častěji je požadováno zákazníky. Zákazníci tak mají jistotu, že jejich výrobce nebo dodavatel posoudil a vyhodnotil všechna rizika spojená s výrobkem, procesem nebo systémem, která by mohla vést k selhání požadované kvality produktu nebo termínu dodání. Jedná se o týmovou analýzu, která řeší možnost vzniku neshod u posuzovaného návrhu, ohodnocení rizikovosti neshod a doporučení návrhů k realizaci preventivních opatření. Tato opatření vedou ke zlepšení jakosti produktu, snížení výrobních ztrát, zkrácení vývojových prací a snižují počet změn ve fázi výroby produktů včetně účelného využití vhodných zdrojů. Velmi důležité je správné načasování analýzy FMEA. Analýza nese své uplatnění u současných výrobků a procesů, ale přednostně je uplatněna v počáteční fázi vývojového cyklu tak, aby byly nákladově vhodně zmírněny nebo odstraněny určité způsoby poruch. Z toho důvodu je velmi důležité, aby FMEA byla začleněna do plánu a harmonogramu vývoje a probíhala zároveň s procesem návrhu. Analýza může být zahájena ihned, jakmile je dostatečně vymezen systém (HW, SW, proces) tak, aby bylo možné sestavit funkční blokový diagram se stanovenými technickými parametry jednotlivých obsažených prvků. Analýza je použitelná na libovolné úrovni rozčlenění systému v blokovém diagramu od nejnižšího stupně diagramu až po funkce jednotlivých prvků či softwarové příkazy. Samotná analýza potom začíná od prvků na nejnižší úrovni a pokračuje se až po celkový systém. Při analýze se tedy postupuje způsobem zdola nahoru, protože důsledek způsobu poruchy na nižším stupni se může stát příčinou poruchy na následujícím stupni vyšším (obr. 23). Analýzu FMEA je vhodné průběžně aktualizovat s postupem vývoje produktu a při změnách produktu je nutné, aby se jednotlivé body analýzy přezkoumaly a aktualizovaly [19,21,22].

FMEA je výsledkem týmové práce, která je tvořena skupinou lidí, kteří jsou schopni rozpoznat a posoudit možné následky různých potenciačních nedostatků, které by mohly vést k poruchám v produktu. Tým by měl být zastoupen pracovníky vývoje, konstrukce, technologie, výroby, zkušeben, útvaru řízení jakosti, zásobování a zákaznické sféry, týkající se obvykle pracovníků marketingu. Složité technické návrhy vyžadují obsazenost odborníků z různých oborů, jako je např. strojírenství, elektrotechnika, softwarové inženýrství, systémové inženýrství, údržba apod. Tým by měl být řízen zkušeným moderátorem s metodickým a organizačním řízením týmové práce pro vysokou efektivitu. Aby mohl tým správně pracovat, musí mu být na analýzu poskytnuté potřebné zdroje. Týmová práce nese výrazný psychologický efekt u zainteresovaných spolupracovníků, spočívající v posílení spoluzodpovědnosti u navrhovaného výrobku či procesu a ve zlepšené komunikaci mezi jednotlivými výrobními útvary [21,22].

Analýza FMEA není využívána pouze u technických návrhů, ale její postup může být aplikovaný na jiný výrobní proces, který probíhá ve školských systémech, zdravotnických laboratořích, nemocnicích apod. [22].

FMEA identifikuje jednotlivé způsoby poruch a důsledky těchto poruch pro celkový systém, přičemž se každý způsob poruchy zpracovává nezávisle na sobě. Tento způsob poruch je tedy nevhodný pro určení závislých poruch nebo poruch, které vyplývají z posloupnosti událostí. Proto se k analýze těchto stavů používají jiné metody a techniky, jako může být např. FTA, HAZOP, apod. FMEA díky své pružnosti splňuje specifické potřeby průmyslového odvětví nebo produktu včetně úprav zapisovacích listů pro poznamenání specifických vlastností. Z dlouhodobých zkušeností je možné usoudit, že pomocí metody FMEA je možné odhalit 70-80 % možných neshod [21,22].



Obr. 23) Vztah mezi způsoby poruchy a důsledky poruchy v hierarchii systému [22]

3.4 FMECA

Metoda FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) se liší od metody FMEA tím, že je do analýzy způsobů poruch zahrnuta také analýza kritičnosti. V současné době je ve velké míře používána a upřednostňována analýza FMECA, avšak často nazvaná synonymem FMEA. FMECA je kvantitativní analýza s rozdílem od kvalitativní analýzy FMEA. FMECA rozšiřuje analýzu FMEA tím, že zahrnuje analýzu kritičnosti. Stanovení kritičnosti je pomocí přidání ukazatele velikosti důsledků způsobu poruch. Kritičnost je možné posoudit podle různých ukazatelů a definic, přičemž většina má význam na posouzení dopadu poruchy. Priorita opatření je stanovena kombinací kritičnosti a závažnosti stavu poruchy. Výsledkem je upozornění na takové druhy poruch, které mají relativně vysokou pravděpodobnost a závažnost následků. Nápravná opatření se tedy směřují tam, kde je největší hodnota RPN [22].

3.4.1 Kvantitativní stanovení kritičnosti

Pro kvantitativní stanovení kritičnosti je nejrozšířenější způsob pomocí zavedení tzv. čísla priority rizika RPN (Risk Priority Number). Riziko je hodnocené subjektivním ukazatelem závažnosti důsledku a odhadem očekávané pravděpodobnosti výskytu ve stanoveném časovém intervalu. V situacích, kdy nejsou tyto ukazatele k dispozici, je možné použití jednodušší formy nenumerické analýzy FMEA [22].

Obecný vztah potenciačního rizika v analýze FMECA můžeme vyjádřit tímto způsobem:

$$R = S \cdot O, \quad (1)$$

kde:

S - bezrozměrné číslo, které klasifikuje závažnost (odhad velikostí důsledků poruchy pro systém nebo uživatele),

O - bezrozměrné číslo vyjadřující pravděpodobnost výskytu. Pokud je toto číslo menší jak 0,2, může být nahrazeno číslem kritičnosti C. Číslo kritičnosti C je používáno v některých kvantitativních metodách analýzy FMEA pro odhad pravděpodobnosti nastání určitého důsledku poruchy.

V určitých použitích FMECA (FMEA) se na úrovni systému dodatečně rozlišuje úroveň detekce. V těchto případech se používá další kategorie pro detekci poruchy D. D je také bezrozměrné číslo, které se používá pro vytvoření čísla priority rizika RPN:

$$RPN = S \cdot O \cdot D, \quad (2)$$

kde:

S - bezrozměrné číslo, které klasifikuje závažnost (odhad velikostí důsledků poruchy pro systém nebo uživatele),

D - číslo, které klasifikuje detekci neboli odhad toho, že se porucha zjistí a eliminuje dříve, než bude mít dopad na systém nebo zákazníka. Tomuto číslu je zpravidla vhodné přiřazování hodnot v opačném pořadí než u čísla závažnosti či výskytu poruchy. Čím vyšší je tedy detekční číslo, tím méně je pravděpodobné, že dojde k detekci poruchy. Nižší pravděpodobnost detekce vede k celkově vyššímu RPN a tedy i k vyšší prioritě řešení určitého způsobu poruchy.

Číslo priority rizika se používá ke stanovení priority při zaměření se na zmírnění způsobů poruch. Pro rozhodnutí o zmírnění má kromě velikosti RPN vliv především závažnost způsobů poruch. Pokud tedy existují způsoby poruch s podobným nebo totožným číslem RPN, je doporučeno zaměřit pozornost na ty způsoby poruch, které mají vyšší číslo závažnosti [22].

Způsoby poruch se následně seřadí podle čísel RPN a vysokému číslu RPN je přiřazena vysoká priorita. U některých aplikací FMECA nejsou přijatelné důsledky, které převyšují stanovenou tzv. prahovou hodnotu čísla RPN. Prahová hodnota RPN bývá 125. Není to však předepsané pravidlo, ale každý zákazník si může prahovou hodnotu určit sám (75, 100, apod.). Nicméně v některých aplikacích je přiřazena priorita vysokým číslům závažnosti bez ohledu na hodnotu čísla RPN [22].

V různých typech analýzy FMECA může být hodnotám S, O a D přiřazen různý rozsah stupnice. U některých analýz je rozsah stupnice 1 až 4(5). U analýzy FMECA, která je používána v automobilovém průmyslu k analýze návrhu DFMEA (Design FMEA) nebo analýze procesu zvané PFMEA (Proces FMEA), je používána stupnice v rozsahu 1 až 10, a to pro všechny tři atributy. V tomto typu analýzy může tedy číslo RPN nabývat hodnot od 1 do 1000, kde podle uvedené tab. 1 můžeme vidět, jak různé scénáře závažnosti S, výskytu O a detekce D vedou ke stejným hodnotám čísla RPN [22,23].

Tab 1) Patnáct různých situací s RPN = 360 [23]

	Závažnost problému		Pravděpodobnost výskytu		Pravděpodobnost odhalení	
1	nebezpečná	10	velká	9	střední	4
2	nebezpečná	10	střední	6	malá	6
3	nebezpečná	10	střední	4	velmi mizivá	9
4	nebezpečná	9	velmi velká	10	středně velká	4
5	nebezpečná	9	velká	8	střední	5
6	nebezpečná	9	střední	5	mizivá	8
7	nebezpečná	9	střední	4	nemožná	10
8	velká	8	velká	9	střední	5
9	velká	8	střední	5	velmi mizivá	9
10	střední	6	velmi velká	10	malá	6
11	střední	6	střední	6	nemožná	10
12	střední	5	velká	9	mizivá	8
13	střední	5	velká	8	velmi mizivá	9
14	střední	4	velmi velká	10	velmi mizivá	9
15	střední	4	velká	9	nemožná	10

Je tedy vhodné, aby tým FMECA po přezkoumání jednotlivých scénářů neurčoval priority pouze podle čísla RPN. Snadnost výpočtu RPN však vede mnohé týmy k výlučnému použití tohoto způsobu aniž by zvážily, jaké mohou existovat vhodnější prostředky pro stanovení priorit rizika [23].

- Alternativa SO: některé společnosti se mohou rozhodnout, že se tým FMEA v první řadě zaměří na závažnost a výskyty (S x O). Snížení SO se provede snížením hodnoty „O“ (výskyt) pomocí preventivních opatření. Tato alternativa může také vést k následným zlepšením detekce v případech s nejvyšší hodnotou SO [23].
- Alternativa SOD, SD: některé společnosti používají SOD nebo SD jako nástroj pro stanovení priorit. SOD je nearitmetická kombinace hodnot závažnosti, výskytu a detekce. SD je nearitmetická kombinace hodnot závažnosti a výskytu [23].

Příklad (SOD):

Závažnost S = 7
 Výskyt O = 5
 Detekce D = 4

Výsledné SOD je 754

Příklad (SD):

Závažnost S = 7
 Detekce D = 3

Výsledné SD je 73

V případě SOD, seřadí-li se hodnoty v numerickém sestupném pořadí, je stanovena priorita scénářů nejprve podle závažnosti, poté podle výskytu a nakonec podle detekce. V tab. 2 můžeme vidět velmi rozdílné scénáře při stejné hodnotě RPN [23].

Tab 2) Rozdíl mezi RPN, SOD a SD [23]

S	O	D	RPN	SOD	SD
7	7	3	147	773	73
7	3	7	147	737	77
3	7	7	147	377	37

Stejné hodnoty RPN

Ukazatelé SOD a SD by se měli stejně jako ukazatel RPN používat při diskuzích v týmu při zvažování priorit jednotlivých způsobů poruch. Ať už se jedná o ukazatel RPN nebo o ukazatel SOD či SD, definování priorit na základě pouze jednoho ukazatele nese svá omezení [23].

3.4.2 Matice kritičnosti

Kritičnost můžeme prezentovat pomocí matice kritičnosti. Zjištěné důsledky poruch se zařadí do tabulky, která rozděluje jednotlivé úrovně závažnosti (tab. 3). Četnost výskytu poruch se stanoví pomocí dat o poruchách nebo se hodnoty pro jednotlivé díly odhadují (tab. 4). Kritičnost závady je hodnocení závažnosti důsledku poruchy při pravděpodobnosti vzniku. Neexistuje však žádná univerzální definice kritičnosti, proto je nutné, aby kritičnost definoval pracovník, který analýzu provádí a následně ji přijalo vrcholové vedení projektu včetně všech členů týmu. Přijatelnost rizika je stanovena subjektivně a řídí se profesionálními a finančními rozhodnutími. Je tedy odlišná v různých aplikačních odvětvích [22,24].

Tab 3) Úroveň závažnosti a následek poruchy [24]

TŘÍDA	ÚROVEŇ ZÁVAŽNOSTI	NÁSLEDEK
IV	Katastrofická	Způsob poruchy, který by mohl potencionálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí nebo zranění osob.
III	Kritická	Způsob poruchy, který by mohl potencionálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí není vážnou hrozbou pro život nebo zranění osob.
II	Okrajová	Způsob poruchy, který by mohl potencionálně zhoršit technické parametry (výkonnost) funkce bez znatelné škody na systém nebo hrozby pro život nebo zranění osob.
I	Bezvýznamná	Způsob poruchy, který by mohl potencionálně zhoršit funkce systému, ale nezpůsobí žádné škody systému a není hrozbou pro život nebo zranění osob.

Tab 4) Pravděpodobnost výskytu poruchy [24]

ČÍSLO KRITICHNOSTI	PRAVDĚPODOBNOST VÝSKYTU	
1 (E)	nepravděpodobná výskyt	$0 \leq P_i < 0,001$
2 (D)	velmi slabý výskyt	$0,001 \leq P_i < 0,01$
3 (C)	občasný výskyt	$0,01 \leq P_i < 0,1$
4 (B)	pravděpodobný výskyt	$0,1 \leq P_i < 0,2$
5 (A)	častý výskyt	$P_i \geq 0,2$

Maticе kritičnosti je stanovena a vyhodnocena pomocí zjištěných závažností a četnosti výskytu poruch. V tab. 5, což je v podstatě kombinace tab. 3 a tab. 4, je uveden příklad matice kritičnosti s uvedenými třídami přijatelnosti rizika [22,24].

Tab 5) Matice rizika/kritičnosti [22]

Četnost výskytu důsledku poruchy	Úroveň závažnosti			
	1 Nevýznamná	2 Okrajová	3 Kritická	4 Katastrofická
5 - četný	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
4 - pravděpodobný	Přípustné	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné
3 - občasný	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí	Nepřípustné
2 - velice slabý	Zanedbatelné	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí
1 - nepravděpodobný	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Přípustné	Přípustné

3.5 Postup analýzy FMEA

Analýza FMEA (FMECA) probíhá v těchto čtyřech etapách:

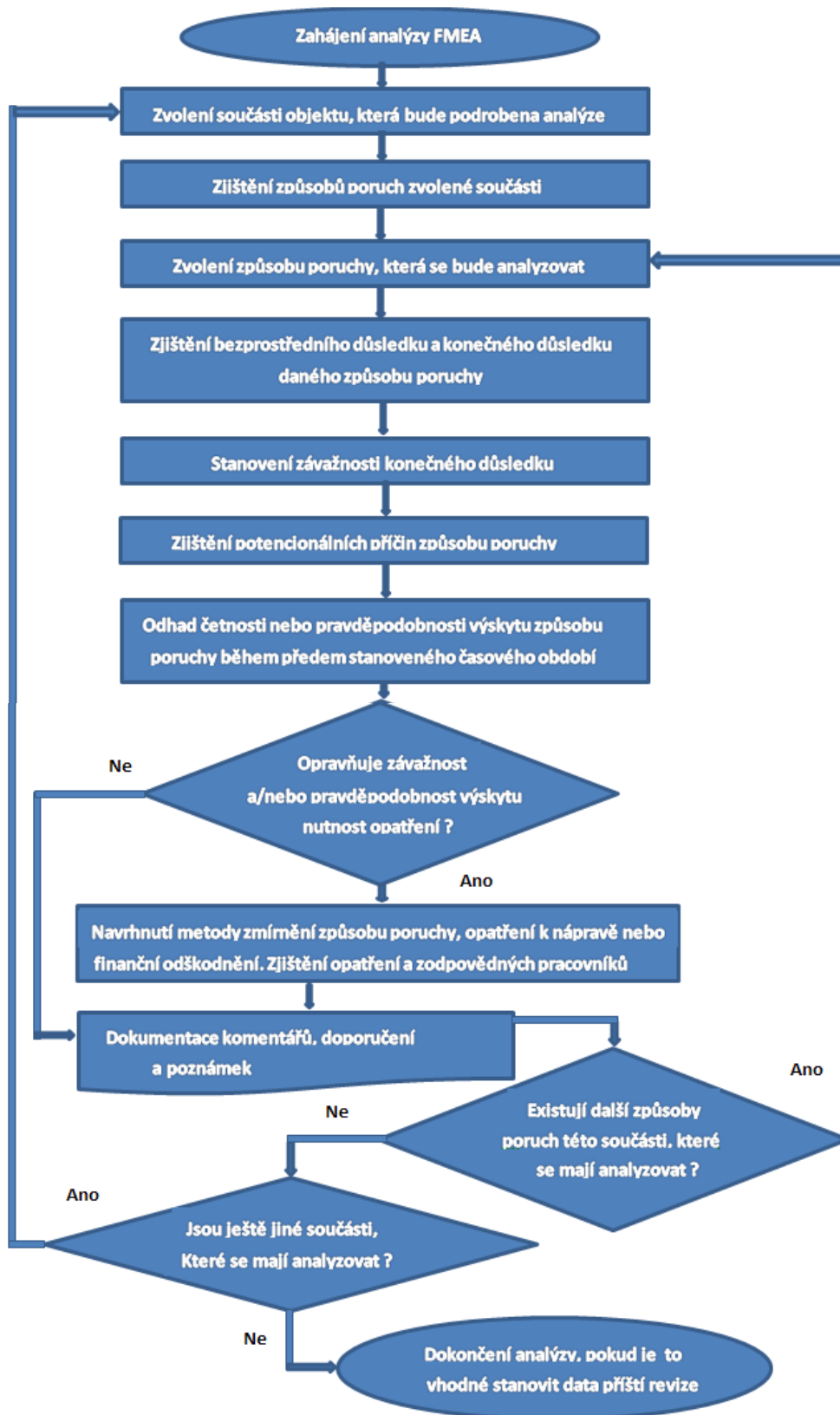
- analýza současného stavu,
- hodnocení současného stavu,
- návrh preventivních opatření,
- hodnocení stavu po provedení preventivních opatření.

Průběh analýzy je průběžně zaznamenáván do pracovního listu v tabulkové formě (obr. 24). Postup analýzy je normalizován, ale rozčlenění konkrétního pracovního listu se mění dle organizace a požadavků na projekt či proces. Tabulka obsahuje podrobný popis základních údajů o analyzovaném produktu [19, 23].

Název: Mýsán		Zodpovědná osoba: Kamil Vráspil		Verze: 1/3		Aktuální stav			Doporučený stav				
č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	O	O	D	RPN	O	D	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
				Příčina Vady	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení (dopad na D)			Doporučená preventivní opatření	Doporučená opatření pro odhalení			
4	VENTIL 2 otevření tlakové vody k mycí liště	zavřený	zamezení průtoku vody - nefunkčnost mycí lišty, neúplné otevření ventilu - menší průtok vody k mycí liště - nižší mycí schopnost	9	přídění tělesa ventilu vlivem nečistot, malý tlak vzduchu v ovládacích válciích, netěsnost vlivem opotřebení			7	snímače krajních poloh ventilu, kontrola opotřebení tělesa ventilu pomocí zkoušky tlaku po 3 měsících	4	3	uzavírání V2 (pro pohon mycí lišty) dříve než V1 (pro pohon ejektorů)	108
		otevřený	neuzavření průtoku vody - samospádné vytékání vody po vypnutí čerpadla, neúplné zavření ventilu - zbytkový průtok vody, ztráta vody	8				7		4	3		96
		netěsný	průtok vody, ztráta vody	2				5		3	6		36
5	BOČNÍ TRYSKY myjí nečistot od kraje čistěcího pruhu, naplávování nečistot do středu	ucpané	ztráta vody, nedopravení nečistot od krajnice do čistěcího pruhu	6	nedokonalé vyčištění vody			4	filtr před vstupem do pohonu trysek mycí lišty, bočních trysek a vnitřních oplachových trysek	4	3	vyuštění hadice k bočním tryskám z ...	72
		částečně ucpané	špatná kvalita čistění od kraje	5				5					
		části usměrněny	ztráta vody, nedopravení										

Obr. 24) Formulář metody FMECA

Na vývojovém diagramu (obr. 25) je znázorněn postup provedení analýzy FMEA [22].



Obr. 25) Vývojový diagram analýzy FMEA [22]

3.6 Cíle metody FMEA

Důvodem provádění analýzy FMEA (FMECA) je zjištění poruch, které mohou mít nežádoucí důsledek pro provoz systému, což se může projevit výpadkem funkce systému, výrazným zhoršením provozu nebo bezpečností uživatele. Další důvod užití této metody může být pro dodržení požadavků smlouvy se zákazníkem nebo možnosti celkového zlepšení bezporuchovosti a udržovatelnosti systému.

Vzhledem k vynaložení úsilí na provedení analýzy FMEA (FMECA), což vyplývá z výše uvedených důvodů, můžeme zahrnout tyto metodické cíle:

- Identifikace a vyhodnocení všech možných následků analyzovaného systému a posloupnosti událostí, které způsobila porucha objektu z určité příčiny.
- Stanovení kritičnosti a priority ke zmírnění nebo odstranění způsobu poruchy, s pozorností na správnou funkci a technické parametry systému včetně dopadů na dotýčný proces.
- Klasifikace zjištěných poruch včetně jejich detekce podle způsobilosti, testovatelnosti, kompenzace poruch a provozních opatření, jako jsou opravy, údržba, logistika apod.
- Zjištění poruch funkce systému a odhad závažnosti a pravděpodobnosti poruchy.
- Vytvoření návrhu ke zlepšení pro zmírnění způsobů poruch.
- Podpora vývoje k efektivnímu řízení údržby pro snížení pravdě-podobnosti vzniku poruchy nebo zmírnění následků při vzniku poruchy [22].

3.7 Plán analýzy FMEA

Do celkového plánu analýzy mají být zahrnuty všechny činnosti, které jsou prováděny při analýze včetně s tím spojených následných činností. Plán obsahuje úplné vymezení specifických účelů analýzy a očekávaných výsledků včetně rozsahu platnosti FMEA, ve formě zaměření se na určité prvky návrhu. Rozsah platnosti má být zvolen podle tzv. uzrálosti návrhu, kde jsou určeny prvky, které mohou být brány za rizikové, protože vykonávají kritickou funkci nebo z důvodu toho, že použitá technologie není vyzrálá. Dále je v plánu obsažena identifikace, popis dokumentace včetně metod její archivace, pomocí které je řízena revize dokumentů a pracovních listů analýzy. Dále jsou do plánu zahrnuty postupy a vztahy k ostatním činnostem týkající se zejména bezporuchovosti, procesy managementu opatření sloužících k nápravě, jejich závěry a především klíčové milníky analýzy tak, aby bylo zajištěno, že samotná analýza bude provedena včas. Plán by měl také obsahovat stručný popis použité analýzy nebo alespoň odkaz ke zdrojovému dokumentu, který tento popis obsahuje. Měl by také odrážet shodu mínění všech pracovníků a je vhodné, aby byl přezkoumán vrcholovým vedením projektu [22].

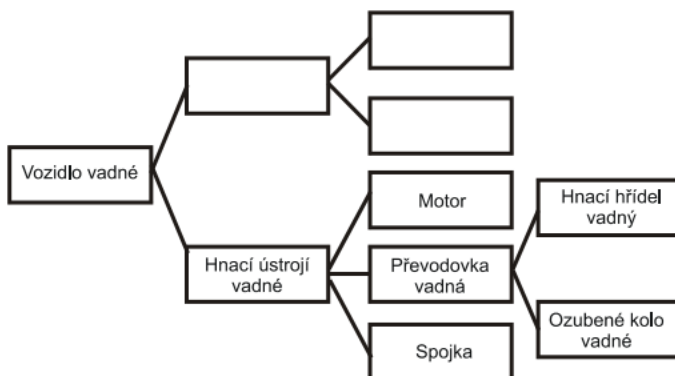
3.8 Rozdělení FMEA

V praxi se užívá dvou základních typů FMEA. Prvním typem je FMEA konstrukce, kde je prováděna analýza konstrukce výrobků, jejich částí a jednotlivých prvků. Druhým typem je FMEA procesu, která se používá pro analýzu procesů, pomocí kterých výrobky vznikají. Někdy se používá i FMEA výrobku, která je ve vztahu mezi dodavatelem a odběratelem, kteří se společně na této analýze podílejí [21].

3.8.1 FMEA konstrukce (DFMEA)

FMEA konstrukce a návrhu (design FMEA) zajišťuje co nejúplnější zkoumání konstrukčního návrhu. Cílem je odhalení všech nedostatků, které by produkt mohl mít již v etapě návrhu a ještě před schválením návrhu uskutečnit opatření, která nedostatky odstraní. Analýza začíná tím, že odpovědný pracovník konstrukce seznámí všechny členy týmu s požadavky zákazníka a s navrhovaným konstrukčním řešením výrobku. Konstrukční řešení výrobku musí splňovat funkční požadavky jako je bezpečnost, právní předpisy, bezporuchovost, ergonomie, vzhled, servis, balení apod. Jako zdroj informací o výrobku mohou být použity výkresové dokumentace, funkční schémata, rozpisky materiálů, matice vzájemných vztahů komponentů a jejich rozhraní až po případnou kvalitu a bezporuchovost podobných výrobků v minulosti. Výrobek je následně rozčleněn na jednotlivé prvky a u těchto prvků jsou uvedeny základní charakteristiky a funkce. Dekompozice výrobku (obr. 26) je provedena na takové úrovni, která je nezbytně nutná, protože s nižší úrovní roste práce s mocninou [21,23].

Tým postupně provádí analýzu jednotlivých prvků a určuje všechny možné vady, které by se během životnosti výrobku mohly objevit. Možné vady jsou popsány jako fyzikální jevy a měly by se vztahovat i na takové vady, které by mohli vzniknout pouze za zvláštních podmínek provozu (horko, chlad, sucho, prašnost, apod.) nebo v určitých podmínkách používání (náročný terén, nadprůměrný počet ujetých kilometrů, pouze městský provoz apod.). U všech možných vad jsou analyzovány všechny možné důsledky a příčiny, které mohou být na základě vady vyvolány. Jelikož se jedná o analýzu konstrukčního návrhu, je zapotřebí hledat všechny možné příčiny vad v konstrukčním řešení výrobku [21,23].



Obr. 26) Systémová struktura výrobku [24]

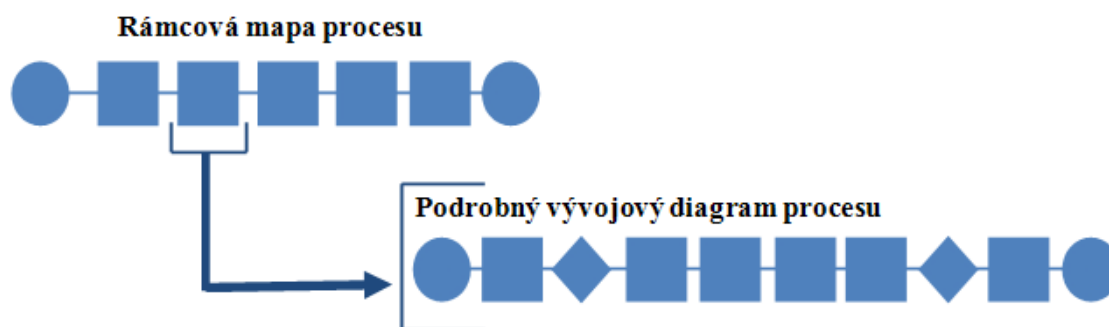
První fází řešení je hodnocení současného stavu, kde tým nejprve zhodnotí kontrolní postupy, které jsou použity k ověření vhodnosti konstrukčního řešení výrobku. Může se jednat o matematické či fyzikální modelování, testování, prototypové zkoušky apod. Samotné hodnocení je zaměřeno na tři základní hlediska (závažnost, výskyt, detekce), která jsou hodnocena bodovou stupnicí (1-10). V případě pravděpodobnosti výskytu vady je týmem hodnocena technická možnost vzniku této vady, která je vyvolána příčinou během životnosti výrobku nebo dílu. Je zapotřebí počítat s tím, že mezi úrovněmi komponentu, subsystému a systému existuje hierarchický vztah a poškození určité komponenty systému může vést k ovlivnění funkce jiné části systému a tím celkové nespokojenosti zákazníka. Záměrem je tedy předvídaní možných důsledků poruch na úrovni znalostí týmu. V případě závažnosti vady je hodnocen nejzávažnější důsledek a v případě pravděpodobnosti detekce vychází posouzení z účinnosti kontrolních postupů, které jsou používány k ověření konstrukce.

Na základě těchto hodnot je určena pro každou možnou vadu hodnota RPN. U skupin s nejrizikovějšími vadami je týmem společně zpracován návrh preventivních opatření, která mohou odstranit nebo alespoň snížit rizikovost. Opatření by měla být prioritně zaměřena na snížení pravděpodobnosti výskytu vad, ale mohou být určena také ke snížení závažnosti vady nebo k zvýšení detekce vad. Návrh opatření je předložen odpovědnému vedoucímu (vedoucí konstrukce) ke schválení, který následně přidělí odpovědnosti pro realizaci. V poslední fázi je týmem hodnocen stav po realizaci opatření a opětovně jsou hodnoceny míry rizik možných vad. Podle posouzení změn příslušných hodnot je možné hodnotit účinnost provedených opatření. Na základě nově stanovených hodnot RPN je možné provést hodnocení případných vad a popřípadě podle míry rizik navrhnout nová opatření [21,23].

3.8.2 FMEA procesu (PFMEA)

FMEA procesu (proces FMEA) se zpravidla provádí před zahájením výroby nových nebo inovovaných výrobků nebo při změně technologických postupů. FMEA procesu tedy podporuje vývoj výrobního procesu a zmírňuje riziko poruch. Obvykle je procesní FMEA zahájena po konstrukční FMEA, na kterou navazuje a využívá její výsledky. Postup analýzy FMEA procesu je obdobou FMEA konstrukce s tou odlišností, že příčiny vad v analyzovaném produktu nehledá tým v konstrukčním řešení, u kterého se již předpokládá splnění konstrukčního záměru produktu, ale příčiny vad jsou hledány v technologickém postupu. V procesní FMEA tým postupně analyzuje jednotlivé dílčí operace procesu a snaží se o identifikaci všech možných selhání procesu a vad, které mohou v určitých operacích nastat. Je zapotřebí brát v potaz všechny operace, které mohou mít v závodu dopad na výsledný produkt. Tedy nejen všechny výrobní a montážní operace, ale i balení, skladování, odesílání, dopravu, označování apod. V průběhu analýzy mohou být týmem určeny takové varianty návrhu výrobku, které pokud jsou použity, zcela vyloučí nebo sníží výskyt poruch v procesu. Jednou z variant může být přidání specifické vlastnosti výrobku, která je přidána i upínacímu přípravku. Sníží se tak riziko toho, že operátor umístí díl obráceně. Takle varianta musí být však odsouhlasena odpovědným konstruktérem, který posoudí specifickou vlastnost na výrobku. V procesní FMEA je obecným předpokladem, že jednotlivé výrobní stroje a zařízení splňují svůj záměr a tím pádem se analýze zvláště nepodrobují [21,23].

Procesní FMEA začíná záměrem procesu, tedy přehledem toho, co je a není od procesu očekávané. V první fázi by měl být zhotoven vývojový diagram procesu, kde by měly být identifikovány charakteristiky produktu související s každou operací. Počáteční vývojový diagram je nástroj, který napomáhá stanovit rozsah analýzy v návrhu výrobního procesu a je obecně považován za rámcovou mapu procesu (obr. 27), která vyžaduje následnou podrobnější analýzu pro identifikování možných poruch [23].



Obr. 27) Mapa procesu od rámcové po podrobnou [23]

Dalším krokem je identifikace požadavků týkajících se každého procesu a každé funkce. Požadavky jsou výstupem každého kroku nebo operace vztahující se k požadavkům na produkt a jsou nositeli informace, čeho by v každém kroku či operaci mělo být dosaženo. Z tohoto důvodu jsou základem pro identifikaci možných způsobů poruch. Po stanovení předmětu analýzy by se dále tým měl zabývat přezkoumáním předchozích informací. Oblast přezkoumání by měla zahrnovat poznatky získané z předchozích návrhů a realizace výrobků a procesů nebo z dostupných informací jako jsou normy a směrnice. Vypracování dále pokračuje týmovou analýzou všech možných příčin a důsledků vad. Po analýze běžně navrhovaných kontrolních opatření, které jsou používány v procesu pro prevenci a odhalení vad, je týmem hodnocena závažnost, pravděpodobnost výskytu a detekce těchto vad. V případě pravděpodobnosti výskytu vad se hodnotí pravděpodobnost, že v průběhu určitého procesu dojde ke vzniku výrobků s vadou. Odhad pravděpodobnosti se určuje u statisticky zvládnutých procesů ze znalosti způsobilosti procesu. V případě posouzení pravděpodobnosti detekce vad je týmem posuzovaná účinnost kontrolních opatření, která umožňují odhalit výskyt vady nebo její příčinu dříve, než zhotovovaný produkt opustí výrobní proces [21,23].

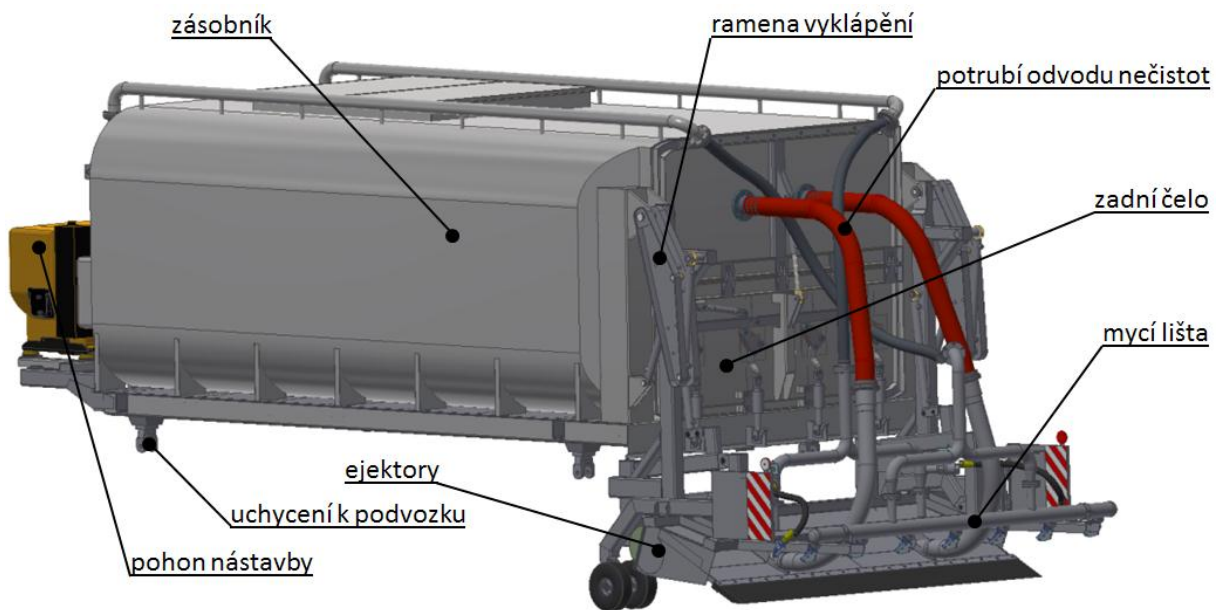
Následně tým navrhne preventivní opatření na základě určení čísel priority rizika a výběru rizik s nejvyššími hodnotami. Předností jsou opět opatření, která snižují pravděpodobnost výskytu vad. V tomto směru je často používaným opatřením zavedení statistické regulace a vyhodnocování způsobilosti procesu v pravidelných intervalech. Doporučená opatření jsou následně týmem předložena k přezkoumání vedoucímu, který také přidělí jednotlivé odpovědnosti a určí termín realizace těchto opatření. Na základě provedených změn je týmem hodnocena rizikovost vad, kterých se opatření týkala. Zjištěné hodnoty stejně jako v konstrukční FMEA umožňují určit účinnost použitých opatření a popřípadě znovu určit možné vady s vysokou hodnotou míry rizika [21].

4 ETAPY ZLEPŠOVÁNÍ PROTOTYPU NÁSTAVBY MYSAN

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, v roce 2015 koupila prototyp Mycí samosběrací nástavby „MySaN“ firma THT Polička, s.r.o. Prototyp nástavby měl být v minulosti podroben menším zkouškám funkčnosti, ale zůstal v rozpracovaném stavu po insolvenční firmě STS Šumperk. V létě roku 2015 byla nástavba v nefunkčním stavu včetně demontovaných některých částí. Na základě aktuálního stavu nástavby byl vytvořen plán jednotlivých etap vývoje. Tento plán obsahoval kromě samotného zprovoznění nástavby a zkoušek ověření parametrů také analýzu FMEA. Na základě výsledků této analýzy vznikly návrhy nutných opatření pro správnou funkčnost nástavby a snížení rizik spojených s jejím provozem. Jednotlivými etapami se budu zabývat v následujících kapitolách.

4.1 Etapa tvorby modelové dokumentace

V prvním kroku začala tvorba 3D modelování v programu Autodesk Inventor. V tomto programu byl postupně podle originálního fyzického prototypu nástavby a dostupné výkresové dokumentace vytvořen 3D model kompletní nástavby MySaN (obr. 28). Části a prvky nástavby byly na fyzickém prototypu postupně měřeny a následně přenášeny do 3D modelu. Jednotlivé části nástavby byly v programu konstruovány tak, aby z nich mohla být následně vytvořena výkresová dokumentace prvků, částí a sestav pro výrobu nástavby. Pro některé součásti byla použita i dostupná výkresová dokumentace s předchozích prototypů. Některé části byly také upravovány nebo zcela změněny pro zlepšení funkce jednotlivých prvků nebo z hlediska nižších nákladů na následnou výrobu nástavby. 3D model nástavby byl také doplněn kryty pro zlepšení designu a umístěn na třinápravový podvozek nákladního automobilu Tatra, na který je předpokládáno umístění nástavby MySaN, pro zkoušky upraveného prototypu v THT (obr. 29). Tím vznikla směrodatná výška polohy nástavby od silnice, která byla důležitá pro stanovení správných pohybů ramen v poloze pro přejezd vozu bez čištění komunikace, poloze čištění komunikace a pro polohu a správné zdvižení mycího vozíku při vyklápění zásobníku na skládce nebo na místě, které je k této činnosti určeno. Co se týká polohy pro čištění, je důležité, aby bylo umožněno vozíku, jehož součástí je mycí lišta a pár ejektorů, správné kopírování povrchu silnice. Tento pohyb je umožněn pomocí plovoucích ramen, jejichž pohyb je v závislosti na kopírování povrchu čištěné vozovky pomocí dvou párů koleček.



Obr. 28) Mycí samosběrací nástavba



Obr. 29) Mycí Samosběrací Nástavba na podvozku Tatra

4.2 Etapa ověření funkčnosti nastavby

V této etapě se jednalo o přípravu Mycí Samosběrací Nastavby k základní zkoušce ověření funkčnosti nastavby. Hlavní příprava se týkala zprovoznění nastavby a úpravy jednoosého podvozku, na kterém byla nastavba umístěna.

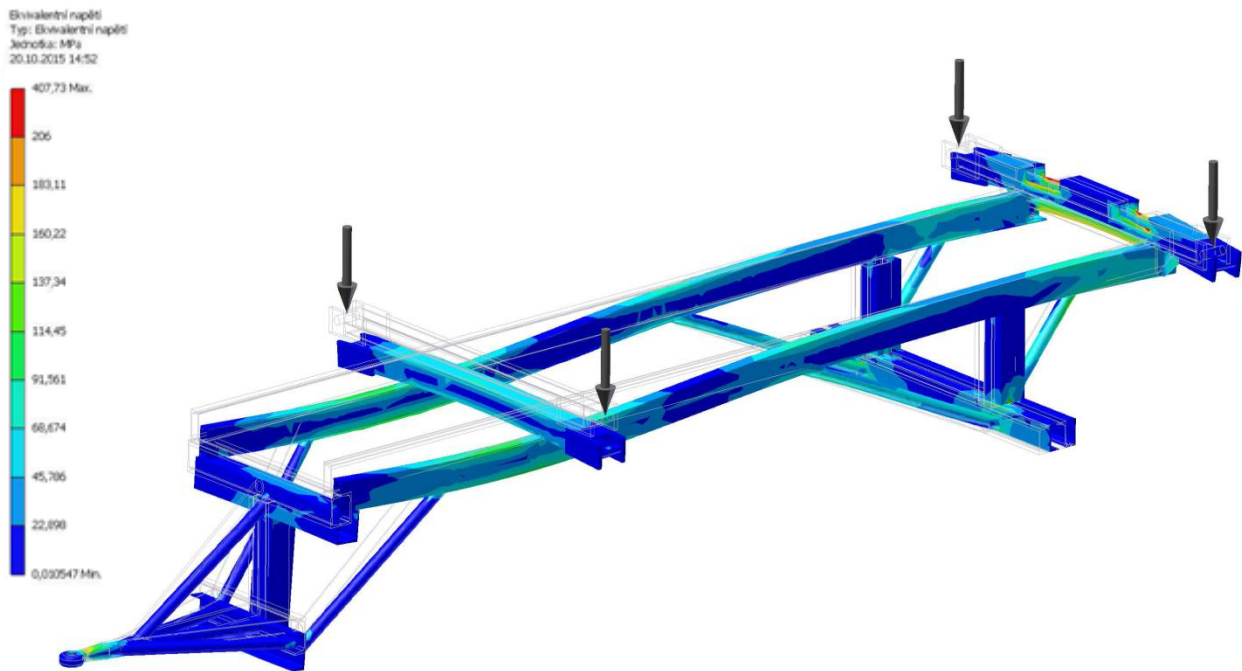
Co se týká zprovoznění nastavby, jednalo se zejména o montáž částí, které byly z důvodu přepravy nebo možného odcizení z nastavby demontovány ve firmě STS Šumperk. Dalšími kroky byla výměna těsnění, kontrola a oprava částí vzduchotechniky, výměna provozních náplní motoru, olejového a vzduchového filtru, vyčištění palivové soustavy a kontrola a opravy na částech elektroinstalace.

Jelikož pro ověřovací zkoušku nastavby nebyl k dispozici automobilový podvozek, bylo rozhodnuto o použití jednoosého technologického podvozku, na kterém byla nastavba umístěna, a který byl zhotoven současně s třetím prototypem nastavby ve firmě STS Šumperk. Tento podvozek původně sloužil pouze pro lepší manipulaci s nastavbou při výrobě, přičemž zajišťoval stejnou pracovní výšku nastavby jako na automobilovém podvozku a také na něm nastavba mohla být pomocí traktoru provizorně přemísťovaná. Na podvozku se tedy provedly změny, které byly nutné k tomu, aby se podvozek dal použít pro zkoušky funkčnosti nastavby a následně i pro zkoušku správného nastavení mycích trysek, zkoušku účinnosti čištění, měření provozní prašnosti a měření hlučnosti. Zmíněné etapy budou dále popsány v této diplomové práci.

První nutnou změnou bylo prodloužení a vyztužení vlečné voje. Voj na jednoosém podvozku byla krátká a v případě manévrování nebo menším rádiu při zatáčení by se zadní kola traktoru dostávala do kontaktu s rámem podvozku. Proto byla vlečná voj podvozku nahrazena za delší a také došlo k jejímu vyztužení.

Další důležitou změnou bylo kompletní vyztužení podvozku. Jelikož byl podvozek určený pouze k lepší manipulaci s nastavbou a eventuálnímu provizornímu přemístění v rámci závodu, nebyl podvozek dimenzován pro možné použití a odzkoušení nastavby s plným provozním obsahem vody. Z tohoto důvodu byla navržena přídatná příhradová konstrukce, která byla z hlediska pevnosti podrobena pevnostní analýze metodou konečných prvků v programu Autodesk Inventor (obr. 30).

Nastavba byla také doplněna přídatným vzduchojemem. Důvodem bylo to, že pro interní zkoušky funkčního vzorku nastavby byl využit jednoosý podvozek, který byl vlečen za traktorem. Objem vzduchu v traktorovém vzduchojemu by byl pro nastavbu nedostatečný a v případě brzdění traktoru by docházelo k přerušení přívodu vzduchu do systému nastavby, což je nežádoucí.



Obr. 30) Vyztužený jednoosý podvozek podroben pevnostní analýze

Po výše popsaných úpravách byla nástavba připravena na jednokolovém podvozku pro možné vlečení za traktorem. V takovéto soupravě proběhla první zkouška v areálu THT, kde se ověřila funkčnost jednotlivých částí a celková mycí a čistící schopnost nástavby. Zároveň se vyzkoušely jednotlivé provozní funkce, jako jsou možnosti zrychlení, brzdění a celková manévrovatelnost s plným obsahem nádrže. Na základě tohoto základního odzkoušení byly připraveny podmínky pro další zkoušky.

4.3 Etapa analýzy FMEA

Pro identifikaci vzniku možných chyb a jejich důsledků, které jsou spojeny s provozem nástavby MySaN, byla provedena analýza FMEA. Na základě této analýzy byla navržena ve vývojové etapě opatření pro zlepšení a omezení možných poruch funkčního prototypu mycí samosběrací nástavby. Jednotlivé kroky analýzy byly navrženy a vytvořeny podle doporučených postupových fází, které jsou popsány v teoretické části této diplomové práce.

4.3.1 Příprava podkladů pro analýzu FMEA

Vytvoření funkčního schématu nástavby

V první části příprav bylo vytvořeno funkční schéma nástavby (obr. 31). Základ funkčního schématu byl nejdříve zhotoven v programu Autodesk Inventor ze skutečného 3D modelu nástavby, kde byl zhotoven řez pláště nádrže. Následně byly provedeny modelové úpravy vnitřních prostor nádrže tak, aby byly viditelné potřebné a hlavní části systému nástavby. Funkční schéma bylo vymodelováno takovým způsobem, aby řezy a komponenty vystihly kompletní funkci a návaznost jednotlivých prvků nástavby. 3D model nástavby byl také doplněn potřebnými prvky pro funkční schéma nástavby, jako jsou vystupující proudy trysek, vodní náplň, sebrané nečistoty, apod.

Poté došlo k úpravám funkčního schématu, kde bylo funkční schéma doplněno šipkami, schématickými značkami a kontrastem jednotlivých prvků pro lepší vizuální představu o funkci nástavby.

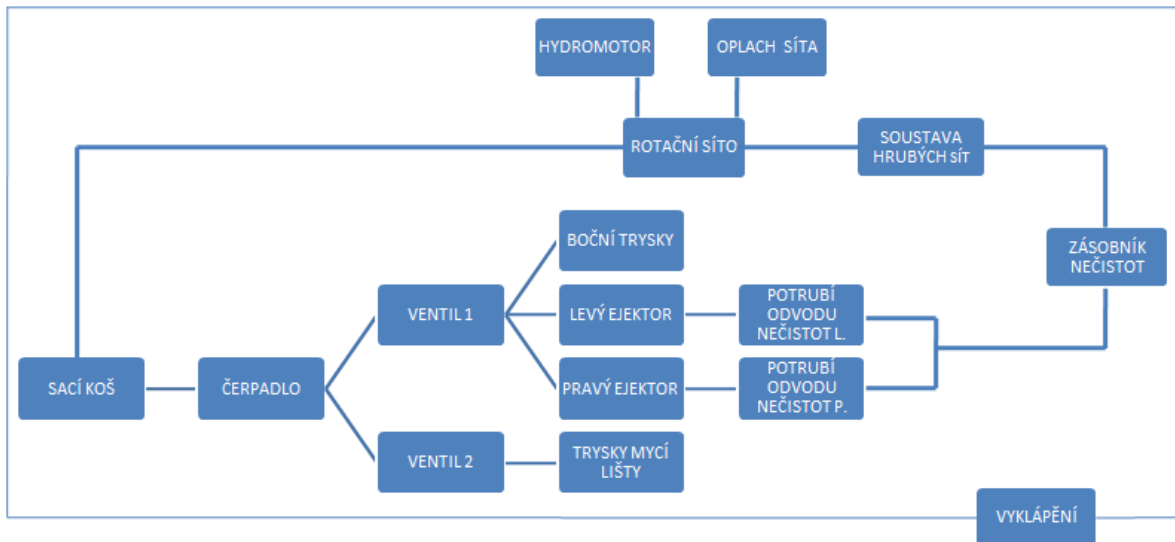
Toto schéma bude využito pro seznámení týmu FMEA s jednotlivými prvky nástavby, jejich návazností a celkovou funkčností nástavby a pro pochopení problematiky nástavby před samotným zahájením analýzy. Další využití tohoto schématu bude pro reklamní účely a seznámení potencionálních zákazníků s funkcí a jednotlivými prvky nástavby MySaN.



Obr. 31) Funkční schéma nástavby MySaN

Blokový diagram

V druhé části příprav pro samotnou analýzu FMEA byl vytvořen blokový diagram nástavby (obr. 32). Do blokového diagramu nástavby byly zahrnuty takové prvky, které jsou pro správnou funkci nástavby klíčové. Dále byly vzaty v potaz takové prvky, které nemají vyvrážděnou technologii, a proto bylo nutné je do analýzy také zahrnout. Jednotlivé komponenty jsou zobrazeny v blokovém diagramu, který vizuálně zachycuje jejich návaznost a u některých částí i případnou vzájemnou činnost komponent na určité funkční skupině. Komponenty jsou v blokovém diagramu zachyceny v takové detailnosti, která byla zhodnocena, že je pro přezkoumání v analýze důležitá.



Obr. 32) Blokový diagram prvků nastavby pro analýzu FMEA

Tabulka hodnocení

V přípravné fázi pro analýzu FMEA byla vytvořena tabulka pro hodnocení závažnosti, výskytu a odhalitelnosti možných způsobů poruch [19, 23].

Všetchna tři uvedená kritéria jsou hodnocena v bodové škále od 1 do 10 (tab. 6), takže číslo RPN může v našem případě nabývat hodnot od 1 do 1000, přičemž prahová hodnota RPN byla určena na hodnotu 125. U všech tří kritérií (závažnost, výskyt, odhalení) byla ke každé skupině bodového hodnocení vytvořena slovní formulace, která odpovídala příslušné kritičnosti. U hodnocení závažnosti byly navíc jednotlivé skupiny bodového hodnocení navázány na příslušné výše finančních ztrát. U hodnocení výskytu byla každá bodová skupina navázána na procentuální frekvenci přítomnosti vady. Připravený návrh kompletní tabulky s kritérii a bodovým hodnocením byl podrobně zkontrolován s vedením, na základě čehož byly provedeny drobné úpravy v jednotlivých slovních popisech a návaznosti bodového hodnocení závažnosti na finanční ztráty.

Tab 6) Tabulka hodnocení

S		Závažnost		O		Výskyt		D		Odhaleni	
Důsledek vady		Popis		Hodnocení		Pravděpodobnost výskytu vady z důsledku dané příčiny vady		Hodnocení		Pravděpodobnost detekce vady z důsledku dané příčiny	
Hodnocení						Popis		Frekvence výskytu vady v %		Popis	
1	1	Velmi malý význam vady	Velmi malé omezení funkce, rozezná pouze odoborník. Finanční ztráta do 100 Kč	1	1	Velice vzdálená pravděpodobnost	Příčina vady se vyskytne velice nepravděpodobně.	< 0,005	1	Velmi vysoké	Vada nebo její příčina bude jistě odhalena.
2	2	Malý význam vady	Malé funkční omezení systému, stačí odstranění při příští plánované údržbě. Finanční ztráta do 400 Kč	2	2	Velmi nízká pravděpodobnost	Příčina vady se vyskytne zřídka, osvědčený návrh.	0,005 - 0,01	2	Vysoké	Je velice pravděpodobné, že příčina vady bude odhalena, kontroly jsou poměrně spolehlivé, např. vícenásobné, na sobě nezávislé.
3	3			3	3			0,01 - 0,05	3		
4	4	Středně vysoký význam vady	Funkční způsobilost systému je omezena, není nutná okamžitá oprava. Finanční ztráta do 2500 Kč	4	4	Střední pravděpodobnost	Příčina vady se občas vyskytne; zkušenosť se srovnatelným řešením naznačuje, že se vada přiležitostně vyskytne.	0,05 - 0,1	4	Středně vysoké	Je pravděpodobné, že příčina vady bude odhalena, kontroly jsou celkem spolehlivé.
5	5			5	5			0,1 - 0,5	5		
6	6			6	6			0,5 - 1	6		
7	7	Vysoký význam vady	Funkční způsobilost systému je silně omezena, nutná okamžitá oprava, funkční omezení důležitých dílčích systémů. Finanční ztráta do 7500 Kč	7	7	Středně vysoká pravděpodobnost	Výrobek bude problematický. Podobná řešení ukazují opakující se vady.	1 - 5	7	Nízké	Je méně pravděpodobné, že příčina vady bude odhalena, kontroly jsou nespolehlivé.
8	8			8	8			5-10	8		
9	9	Velmi vysoký význam vady	Závažné dopady na hlavní funkci výrobku, bezpečnostní riziko, nesplnění zákonných předpisů. Finanční ztráta nad 7500 Kč	9	9	Vysoká pravděpodobnost	Příčina vady se vyskytne velmi často, koncept výrobku je nepoužitelný nebo nevhodný.	10 - 50	9	Velmi nízké	Je nepravděpodobné, že příčina vady bude odhalena; nejsou, nebo nemohou být provedeny žádné kontroly k detekci příčiny vady.
10	10			10	10			> 50	10		

Zapisovací formulář FMEA

Formulář pro zapisování hodnocení jednotlivých způsobů poruch byl vytvořen podle vzorových ukázek v knize The Basic of FMEA [19] a z referenční příručky Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA) [23]. Do formuláře (viz. příloha č. 1) byl zahrnut sloupec aktuálního stavu prototypu a doporučeného stavu, do kterého byla zapsána doporučená preventivní opatření a doporučená opatření pro odhalení možných vad pro snížení čísla priority rizika.

4.3.2 Aplikace metody FMEA

V první části zahájení analýzy bylo celému týmu představeno funkční schéma nástavby (obr. 35). Na tomto funkčním schématu byla popsána funkce jednotlivých prvků včetně jejich návaznosti až po popis funkčnosti celého systému nástavby.

Následovalo představení blokového diagramu nástavby s jednotlivými komponenty a odůvodnění zamýšleného zahrnutí jednotlivých komponent pro podrobení analýzy. Proběhla otevřená diskuze blokového diagramu, jejímž cílem bylo schválení a případné úpravy blokového diagramu nástavby týmem.

V dalším kroku byla představena již připravená tabulka hodnocení jednotlivých prvků, kde proběhlo vysvětlení navržených kritérií a způsob hodnocení vad včetně následného výpočtu čísla priority rizika. Opět byla zahájena otevřená diskuze celého týmu týkající se jednotlivých bodů kritičnosti pro hodnocení závažnosti, výskytu a odhalení možných vad. Po diskuzi a odsouhlasení finální podoby tabulky hodnocení se přešlo k samotnému hodnocení jednotlivých komponentů nástavby.

Následovalo představení již předvyplněného zapisovacího formuláře. Na prvním prvku, který byl v našem případě sací koš, byl postupně vysvětlen samotný postup přezkoumání včetně bodového hodnocení aktuálního stavu prototypu a navrženého doporučeného stavu pro snížení hodnoty priority rizika způsobu poruchy sacího koše. V moderované, ale otevřené diskuzi, byly postupně přezkoumány všechny prvky nástavby, které byly na základě funkčního schématu a blokového diagramu vybrány pro podrobení analýzy (příloha č. 1). Jednotlivým způsobům poruch byly přiřazeny bodové stupně pro závažnost, výskyt a možnou detekci poruchy současného stavu nástavby. Na základě vypočtené hodnoty RPN současného stavu byla týmem navržena nutná doporučená preventivní opatření a doporučená opatření pro odhalení možných vad. Na základě těchto doporučení proběhlo u jednotlivých prvků opětovně bodové hodnocení kritérií výskytu a odhalení, včetně výpočtu priorit rizika po zavedených opatřeních.

V analýze FMEA bylo týmem určeno 44 možných způsobů poruch, z čehož 33 poruch přesahovalo hodnotu kritické meze čísla priority rizika 125. Doporučená opatření pro snížení způsobů poruch s hodnotou RPN vyšší jak 125 jsou následující:

- Snímače krajních poloh ventilu 1 a 2 s optickou akustickou signalizací na přístrojové desce obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch zavřeného, otevřeného a netěsného ventilu 1 a 2.
- Snímač kontroly průtoku na hadicích odvodu nečistot z ejektorů s optickou akustickou signalizací na přístrojové desce obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch ucpaných a zahlcených ejektorů a jejich snížené odsávací funkce.

- Úprava konstrukce ejektorů pro možnost rychlého vyčištění. Tímto byla snížena hodnota RPN způsobu poruch ucpaných ejektorů.
- Jemný filtr před vstupem do pohonu trysek mycí lišty, bočních trysek a vnitřních oplachových trysek. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch ucpaných a částečně ucpaných mycích, oplachových a bočních trysek.
- Kontrola tlaku výtlaku čerpadla s optickou akustickou signalizací na přístrojové desce obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch ucpaných nebo částečně ucpaných oplachových trysek a nízkého tlaku proudu oplachových trysek. Ucpání a částečné ucpání trysek mycí lišty. Nefunkčnost, ztráta požadovaného tlaku a netěsnost čerpadla. Malé množství vody v čisté zóně. Ucpané a částečně ucpané rotační síto.
- Kontrola podtlaku v sání čerpadla s optickou akustickou signalizací na přístrojové desce obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch částečně ucpaného sacího koše a ztráty požadovaného tlaku čerpadla.
- Kamerový systém zaměřený na čištěný pruh s online přenosem v kabině obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch zahlcení a ucpání ejektorů, ucpání a částečné ucpání trysek mycí lišty.
- Měření výšky nečistot zásobníku se zobrazením aktuálního stavu na přístrojovém panelu obsluhy. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch přeplnění zásobníku nečistot, ucpání a částečné ucpání potrubí odvodu nečistot.
- Měření výšky hladiny v čisté zóně. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch malého množství vody v čisté zóně, nefunkční filtrace v zóně hrubých sít, snížené sedimentace a hrubé filtrace nečistot.
- Kontrola tlaku oleje hydromotoru s optickou signalizací na přístrojové desce. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch nefunkčního, netěsného hydromotoru a jeho snížené účinnosti.
- Doplnění prvku ručního zapnutí hydromotoru pro otáčení rotačního síta. Tímto byly sníženy hodnoty RPN způsobů poruch poškozeného, ucpaného a částečně ucpaného rotačního síta.

Doporučená nutná opatření, která budou uvedena v návodu pro obsluhu nástavby:

- Každé 3 měsíce proběhne tlaková zkouška opotřebení tělesa ventilu 1 a 2, kontrola výstupního proudu oplachových trysek, trysek mycí lišty, bočních trysek, kontrola těsnosti čerpadla a kontrola vnitřního prostoru rotačního koše.
- Každý měsíc proběhne kontrola stavu a napnutí řemenů pohonu čerpadla, kontrola opotřebení potrubí odvodu nečistot a kontrola stavu hydromotoru a přívodních hadic oleje.
- Po 8 hodinové směně proběhne kontrola stavu rotačního síta a kontrola hladiny oleje hydromotoru.
- Po vyprázdnění nečistot ze zásobníku proběhne kontrola čistoty a stavu těsnění zadního čela, kontrola čistoty hrubých sít a rotačního síta, kontrola pracovní polohy hrubých sít, kontrola vyprázdnění v prostoru zadního zásobníku, hrubých sít a čisté zóny.
- Pravidelná výměna ucpávky dle výrobce čerpadla.

- Výměna olejové náplně hydromotoru dle výrobce.
- Doporučené provozní rychlosti pro různou intenzitu znečištění.
- V zimním období nutné odvodnění čerpadla po provozu nástavby.

Na základě výše doporučených preventivních opatření a doporučených opatření pro odhalení možných vad, byly všechny hodnoty kritičnosti možných způsobů poruch sníženy pod kritickou mez 125. Provedení jednotlivých doporučených opatření již bude dále řešeno samostatně.

4.4 Etapa optimalizace úhlu mycích trysek

Pro správnou funkčnost a účinnost čištění je zapotřebí, aby usměrněný proud vody z mycích trysek dopadal na čištěný povrch vozovky pod správným úhlem. Dopadající proud vody se od vozovky odráží a pomocí kinetické energie strhává nečistoty z povrchu vozovky. Nečistoty jsou společně s proudem vody vymrštěny do ejektorů, pomocí kterých jsou nasáty a odvodním potrubím dopraveny do zásobníku nečistot.

Kontrola správného úhlu nastavení mycí lišty s tryskami byla provedena pomocí pořízených záznamů z vysokorychlostní kamery Olympus i-speed TR. Pro kvalitní obraz záznamu bylo nutné, aby snímané místo bylo dobře osvětlené. Tento parametr byl dosažen pomocí dvou vysoce svítících led diodových světel a jedné halogenové lampy (obr. 33). Všechna světla byla umístěna na samostatných stativcích, takže bylo možné nastavení správné polohy jednotlivých světel vůči snímanému místu. Kontrola nastavení správného úhlu mycí lišty proběhla na čistém asfaltovém povrchu a jednotlivá úhlová nastavení byla snímána při rychlosti 5, 15 a 25 km/hod. Pro přesné určení rychlosti byla v kabině traktoru umístěna GPS navigace, podle které řidič traktoru přesně dodržoval požadovanou rychlost. Záznamy nastavených úhlů byly ihned vyhodnocovány a na základě výsledků byl úhel upraven. Po upravení úhlu lišty s mycími tryskami byly při výše uvedených rychlostech provedeny opětovné záznamy a opět proběhlo vyhodnocení. Tento stejný postup byl zopakován ještě třikrát, přičemž poslední záznam sloužil pouze jako kontrola po nastavení optimálního úhlu lišty mycích trysek. Optimální a chybné nastavení úhlu lišty mycích trysek je patrné z obr. 34. Dále byl také proveden záznam na zadní část nástavby, kde bylo možné vidět všechny mycí trysky a jednotlivé vystupující proudy (obr. 35). Na základě tohoto záznamu proběhla kontrola správného natočení trysek kolem své osy a také vzájemného překrytí vystupujících proudů.



Obr. 33) Snímací stanoviště



a)

b)

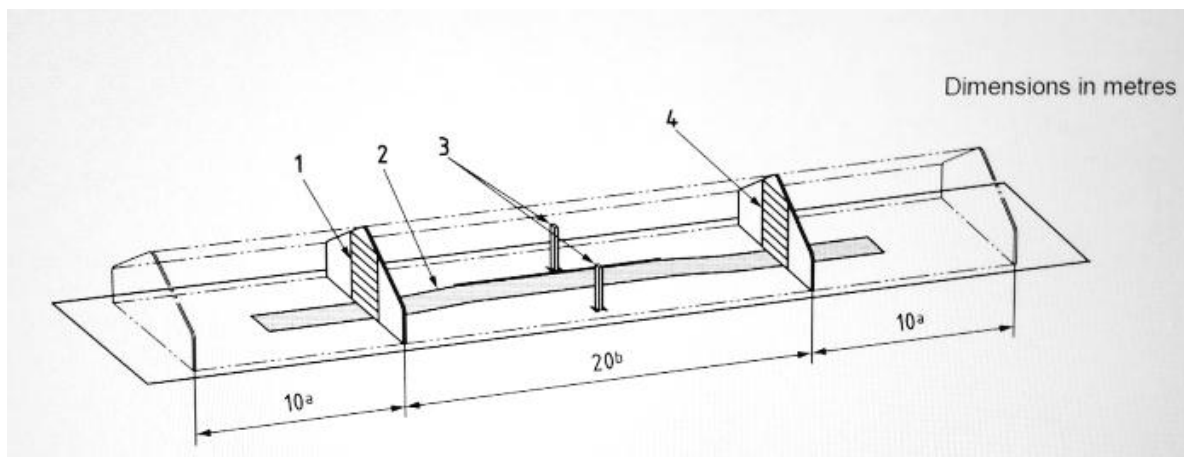
Obr. 34) a) Chybně nastavený úhel, b) Optimální nastavení úhlu



Obr. 35) Zadní pohled na mycí lištu

4.5 Etapa zkoušky účinnosti mytí

Pro přípravu zkoušky účinnosti mytí se vycházelo z normy ČSN EN 15429. Norma je zaměřena na čisticí stroje a metody jejich testování se zaměřením na měření prašnosti částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} . Ve třetí části se norma zabývá účinností sběru částic materiálu, kde popisuje zkoušení a vyhodnocení. V normě je pro testování uveden asfaltový povrch o doporučené délce dráhy 20 m (min. 10 m) a šířce pruhu s nečistotami, která by měla být 60 % šířky záběru vozidla. V normě je také uveden tvar testovací dráhy (obr. 36) s časovými intervaly otevírání a zavírání vstupních a výstupních vrat. Uprostřed testovací dráhy by měl být také umístěn obrubník o definované výšce, šířce a délce. Dále norma uvádí procentuální složení čištěné směsi. Směs by se měla skládat z 65 % písku o frakci menší než 2 mm, 15 % šterku o frakci v rozmezí 2 - 8 mm a 20 % jemných částic. Množství směsi by mělo být $0,7 \text{ kg/m}^2$ [31].



Obr. 36) Schéma testovací plochy [30]

4.5.1 Zkoušení účinnosti čištění

Pro naše měření účinnosti čištění byla zvolena asfaltová plocha letiště. Na letišti byla naměřena a značkovacím sprejem vyznačena tři jednotlivá čištěná pole. Pole byla o velikosti $20 \times 1,5 \text{ m}$ a byla umístěna v dostatečném rozmezí od sebe po celé šířce letiště. Čištěná pole byla po předchozím testu a tedy několikanásobném průjezdu nástavby pro správné nastavení úhlu mycí lišty umytá a zbavená nečistot, takže nemohlo dojít k počátečnímu ovlivnění množství sbíraných nečistot. Na pole byla rovnoměrně rozmístěna směs písku, šterku a lomového prachu v jednotlivých velikostech frakce a procentuálním složením dle normy (obr. 37). Jednotlivé složky byly měřeny v objemovém množství z důvodu neurčité vlhkosti vstupní směsi a také kvůli možnému porovnání se směsí, která zbyla na čištěném poli po průjezdu mycí nástavby s neurčitou vlhkostí. Postup výpočtu je patrný ze vzorce (3, 4, 5) a výsledné vypočtené hodnoty pro jednotlivé intenzity jsou zaznamenané v tabulce 7.

Obsah čištěného pole

$$S_p = a \cdot b \text{ [m}^2\text{]}, \quad (3)$$

$$S_p = 20 \cdot 1,5 \text{ [m}^2\text{]},$$

$$S_p = 30 \text{ m}^2,$$

kde: a - délka čištěného pole [m],
b – šířka čištěného pole [m].

Celková hmotnost směsi

$$m_1 = S \cdot I \text{ [kg]}, \quad (4)$$

$$m_1 = 30 \cdot 0,7 \text{ [kg]},$$

$$m_1 = 21 \text{ kg},$$

kde: S – obsah čištěného pole [m²],
I – míra intenzity znečištění [kg/m²].

Objem směsi

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho} \text{ [m}^3\text{]}, \quad (5)$$

$$V_1 = \frac{21}{1500} \text{ [m}^3\text{]},$$

$$V_1 = 0,014 \text{ [m}^3\text{]} = 14 \text{ litrů},$$

kde: m₁ – celková hmotnost směsi [kg],
ρ – objemová hmotnost kameniva [kg/m³].

Tab 7) Množství jednotlivých složek

	intenzita 0,7 kg/m ²		intenzita 3,5 kg/m ²	
	množství [kg]	množství [l]	množství [kg]	množství [l]
65% písek	13,65	2,10	68,25	45,50
20% lomový prach	4,20	9,10	21,00	14,00
15% štěrk	3,15	2,80	15,75	10,50

Následně byla směs rovnoměrně rozmístěna po celé ploše příslušného pole. Jednotlivá pole měla být čištěna při provozních rychlostech 5, 10, 15, 20, 25 km/hod. Po průjezdu nástavby měla být jednotlivá pole vyfocena, aby byly vizuálně zdokumentovány zbytkové nečistoty. Následně měly být všechny zbylé nečistoty z jednotlivých polí sebrány pomocí jemného smetáku a průmyslového vysavače s nádobou. Sebrané nečistoty z jednotlivých polí měly být vysypány do připravených pytlů a popsány průjezdovou rychlostí čištění daným polem. Stejný postup měl být proveden u všech polí při výše uvedených průjezdových rychlostí. Ve druhé části tohoto testu mělo dojít k opakovanému čištění při výše uvedených

rychlostech, takže by ve výsledku nečistoty byly sebrány při každé rychlosti třikrát. Tímto způsobem by byly částečně eliminovány možné chyby nepřesnosti měření vstupních nečistot, sběru a vysátí zbytkových nečistot a následného měření množství sebraných zbytkových nečistot. Intenzita znečištění byla zvolena na $3,5 \text{ kg/m}^2$, což je pětinásobné množství proti požadovanému množství $0,7 \text{ kg/m}^2$ dle normy. Důvodem zvýšení úrovně znečištění bylo to, že pokud bude větší intenzita znečištění pruhu, tak po průjezdu čistícího nástavby a následném vyčištění zbytkových nečistot bude větší rozdíl mezi objemem nečistot před čištěním a objemem nečistot po čištění. Druhou variantou by také mohl být větší zůstatek zbytkových nečistot po průjezdu nástavby. Obě uvedené varianty jsou lepší z hlediska možného zanesení chyby při měření objemu vstupních nečistot a zbytkových nečistot. Dalším z důvodů zvýšení úrovně znečištění bylo to, že nástavba měla být vyzkoušena v podmínkách, které jsou blíže k vyššímu znečištění, a které se běžně na komunikacích vyskytuje např. při jarním úklidu, nebo po intenzivnějších deštích. Co se týče vyhodnocení testu, tak měl být po zkouškách zaznamenán objem zbytkových nečistot a následně měly být vzájemně porovnány nečistoty při různých pracovních rychlostech nástavby. Dále mělo být provedeno také přesátí jednotlivých vzorků podle vstupní frakce na štěrky, písek a prach. Tímto by bylo zjištěno, jestli se náhodou nevyskytuje nějaká závislost rychlostí čištění s přibýváním či ubýváním určité frakce oproti ostatním dvěma frakcím. Na základě těchto výsledků by byla určena optimální rychlost čištění nástavby a také například doporučené pracovní rychlosti pro čištění povrchu s viditelnou převahou určité frakce.



Obr. 37) Připravená pole s nečistotami

Zkoušky však nemohly být provedeny podle plánu, protože při prvním průjezdu čistěním polem při rychlosti 5 km/hod došlo po přibližně pěti metrech čištění k úplnému zahlcení ejektorů tak, že nedocházelo ani k odsávání vody od mycích trysek. Jelikož mají ejektory při zahlcení samočisticí účinek, díky čistému proud vody, který je do ejektorů neustále přiváděn a strhává obsažené nečistoty uvnitř ejektoru, nebyl problém s nutným rozebráním a následným ručním čištěním. Po obnovení odsávací funkce ejektorů byla zkouška čištění provedena opětovně s tím rozdílem, že se pracovní rychlost snížila na 2 km/hod . Výsledek čištění byl však stejný, akorát k zahlcení ejektorů došlo až přibližně po osmi metrech. Následovaly opětovné průjezdy přes jednotlivá pole, kde byl zkoušen vliv pracovní rychlosti na zahlcení ejektorů. Na obrázku 38 je vidět pravé pole bez průjezdu, prostřední pole

po jednom průjezdu nástavby a levé pole po dvou průjezdech. Po opakovaných průjezdech přes jednotlivá pole se nakonec podařilo povrch zbavit nečistot.



Obr. 38) Pole s různými počty průjezdů

Na základě těchto pokusů bylo v první fázi zamýšleno, že špatná funkce ejektorů je spjata s velkou posypovou vrstvou. Příčinou by mohlo být to, že mycí trysky naplaví během velmi krátké doby tak velké množství nečistot do komory ejektorů, která se zahltí natolik, že již nemohou odvést naplavené množství nečistot. Z toho důvodu bylo provedeno opětovné rozmístění posypového materiálu na jedno pole ve snížené intenzitě $0,7 \text{ kg/m}^3$. Následovala opětovná zkouška čištění při rychlosti $1,5 - 2 \text{ km/hod}$. I po tomto pokusu se však ukázala stejná vada a ejektory se opět přibližně po osmi metrech zahltily (obr. 39). Tímto pokusem se zkoušky čištění ukončily a začala se hledat příčina nedostatečné odsávací funkce a následného zahlcení ejektorů.

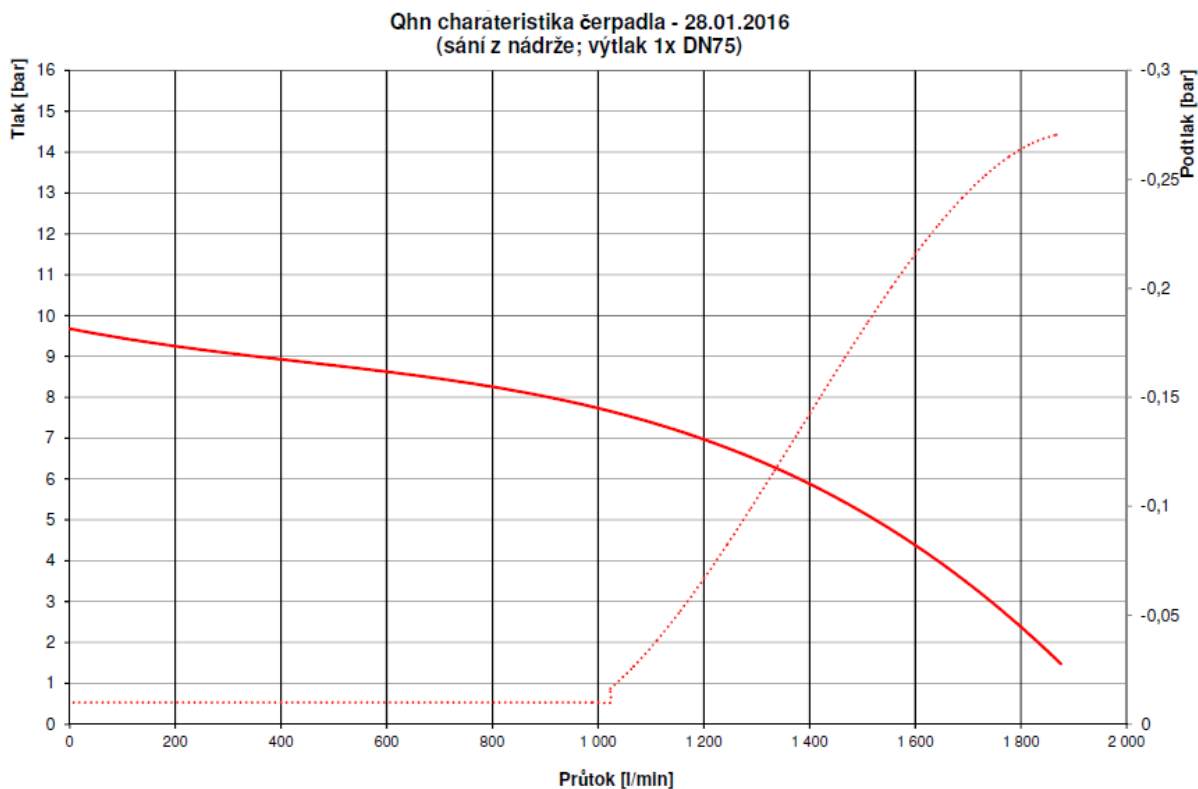


Obr. 39) Zahlcení ejektorů

4.5.2 Měření výstupního tlaku

Na základě zkoušek účinnosti čištění bylo navrženo vytvoření odběrných míst pro měření tlaku. Odběrná místa se nacházela u klíčových prvků nastavby. Jedno z odběrných míst se nacházelo za čerpadlem a sloužilo pro měření výchozího tlaku z čerpadla, další bylo před vstupem do mycí lišty, aby byl vidět případný úbytek tlaku na vedení, dále bylo odběrné místo před ejektory a také před čerpadlem pro měření podtlaku v sání.

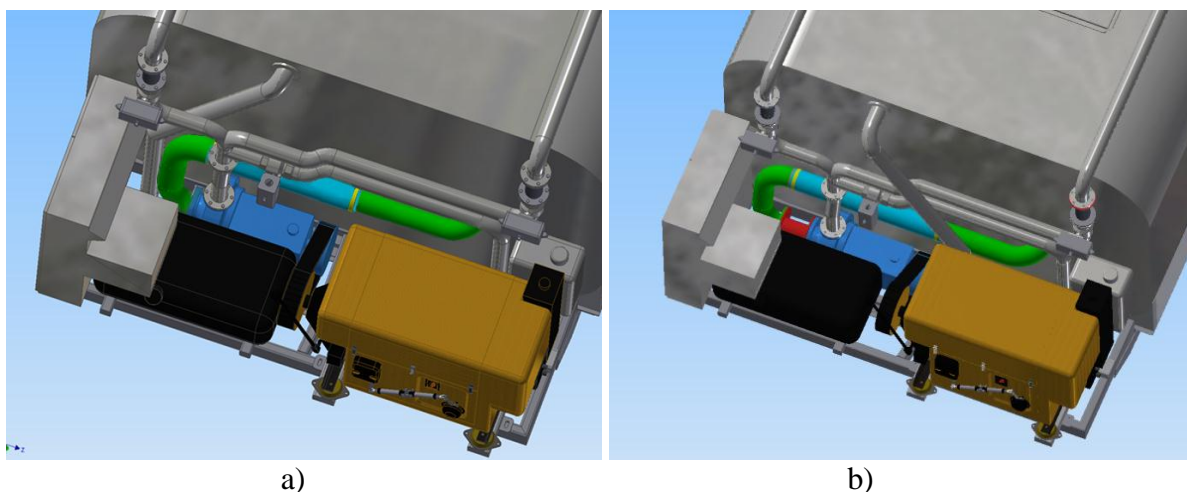
Po provedené zkoušce měření výchozího tlaku za čerpadlem byla okamžitě jasná příčina špatné funkce nastavby. Výchozí tlak ihned za čerpadlem byl změřen na hodnotě 2,4 bar (obr. 40) místo 7,5 bar, který by správně mělo čerpadlo vytvořit při průtoku 1800 l/min, a na který byla navržena nastavba pro správnou účinnost mytí a odsávání nečistot pomocí ejektorů. Na dalších odběrných místech byl také zkontrolován aktuální tlak, podle čehož se potvrdilo, že nedochází ke ztrátě tlaku na vedení. Podtlak v sání čerpadla do průtoku 1000 l/min nebyl naměřen, vzhledem k nátoku vody do čerpadla s převýšením. Měření probíhalo při plynulém škrcení průtoku na výtlaku. Podle naměřených hodnot byl také panem Ing. Švecem proveden kontrolní výpočet schopnosti sání ejektorů, pomocí kterého bylo potvrzeno zahlcení ejektorů v případě naplavení již malého množství nečistot. Naměřený tlak 2,5 bar je podle kontrolního výpočtu schopný odsát pouze naplavenou vodu s velmi nízkým množstvím nečistot. Jakmile tedy došlo k naplavení většího množství nečistot, tak ejektory neměli dostatečný výkon pro dopravení nečistot do zásobníku a tím pádem došlo k jejich zahlcení.



Obr. 40) Charakteristika čerpadla při původním řešení sacího potrubí.

Na základě výše uvedených poznatků byl problém projednán s výrobcem čerpadla ISH PUMPS OLOMOUC a.s., který uvedl, že pro správnou funkci čerpadla je dle návodu nutné, aby sací potrubí bylo o průměru DN 150 a před čerpadlem se nacházela rovná část sacího potrubí dlouhá 750 mm. Na prototypu bylo však potrubí o průměru pouze DN 100 a před vstupem do čerpadla se nacházela dvě kolena (obr. 41 a). Na základě poskytnutých informací o současném stavu sacího potrubí bylo výrobcem potvrzeno, že čerpadlo nemůže dosáhnout požadovaného tlaku, protože dvě kolena, která jsou umístěná těsně za sebou, roztočí čerpanou kapalinu v opačném smyslu, než jsou otáčky oběžného kola čerpadla. Díky tomu se zvýší ztráty na vstupu do oběžného kola a tím pádem čerpadlo nemá takovou sací schopnost a hltnost. Výrobcem bylo také navrženo opatření pro doplnění rovné části, která bude mít v ose proudění umístěné žebro a celková délka této části bude alespoň 100 mm. Uprostřed umístěné žebro v rovném mezikusu by mělo sloužit pro usměrnění proudu vstupující kapaliny a tedy zamezení tvorby roztočení kapaliny.

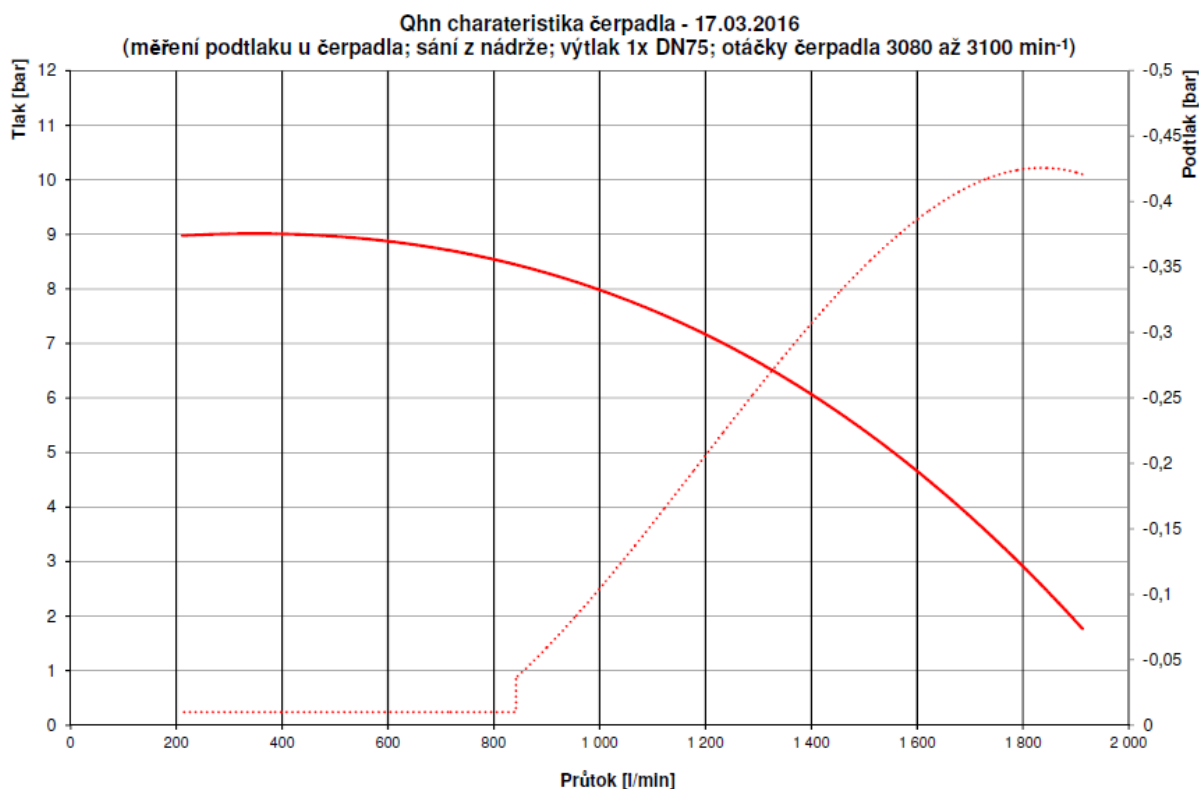
Podle výše navrženého doporučení od výrobce čerpadla byla zahájena příprava nutných změn. Pomocí 3D modelové dokumentace byla navržena co nejjednodušší a nejméně nákladná úprava prostoru pro možné zakomponování usměrňovacího mezikusu (obr. 41 b) První změna se týkala posunutí skříňového rozvaděče, ve kterém je obsažena elektroinstalace a vzduchové rozvody nástavby. V druhé nutné úpravě proběhlo odstranění plnicího potrubí nádrže, protože plnicí potrubí bylo původně vedeno mezi skříňovým rozvaděčem a dvěma navazujícími koleny sacího potrubí z nádrže, které vstupovali ihned do čerpadla. Zároveň proběhl také návrh změny plnicího potrubí nádrže, aby bylo možné v případě osvědčení úpravy sacího potrubí pomocí mezikusu, vhodným způsobem zakomponovat plnicí vedení do nádrže. Poslední úpravou bylo prodloužení pružné hadice sacího potrubí. Po těchto změnách bylo možné umístění usměrňovacího mezikusu s žebrem v celkové délce 160 mm, čímž se zvýšila účinnost usměrnění proudu vstupované kapaliny do čerpadla proti 100 mm, které byly doporučeny výrobcem čerpadla. Na usměrňovacím mezikusu bylo také vytvořeno odběrné místo pro měření podtlaku v sání čerpadla.



Obr. 41) a) Původní řešení sacího potrubí (zelené), b) Sací potrubí (zelené) po doplnění usměrňovacího mezikusu (červený)

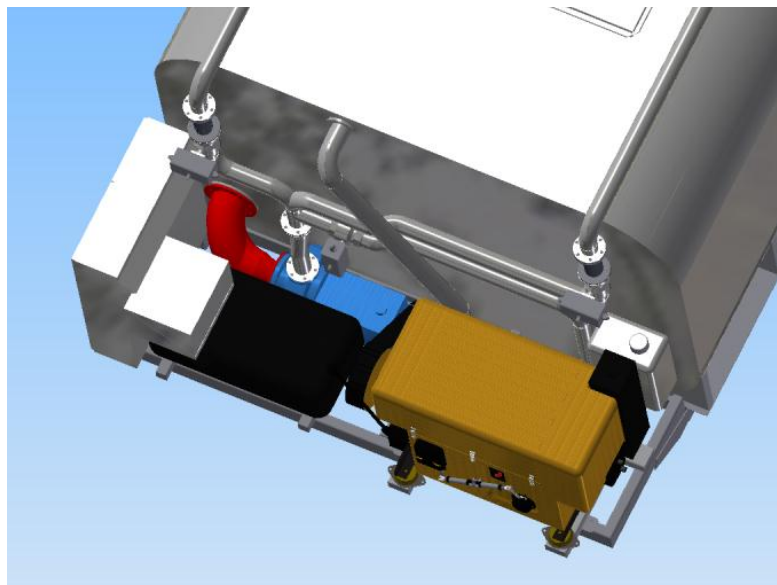
Po provedené změně sacího potrubí proběhla za stejných podmínek opětovná zkouška výstupního tlaku čerpadla, a také byl změřen podtlak v sání čerpadla na usměrňovacím

mezikusu. Výstupní tlak z čerpadla byl při průtoku 1800 l/min změřen na hodnotě 2,9 bar, při podtlaku v sání – 0,41 bar (obr. 42). Podle naměřených hodnot je patrné, že úprava sacího mezikusu nepřinesla požadovaný efekt a došlo pouze k malému zlepšení výstupního tlaku. Hodnotu podtlaku v sání tohoto měření nelze porovnávat s předchozím měřením, protože odběrné místo bylo z důvodu původního tvaru sacího potrubí umístěné na vrchním kolenu. Zde hrála roli vzdálenost od vstupu do čerpadla a také v případě proudící kapaliny není tlak v celém kolenu rovnoměrný. Z tohoto důvodu došlo k určitému zkreslení měřené hodnoty podtlaku sání v původním řešení sacího potrubí.



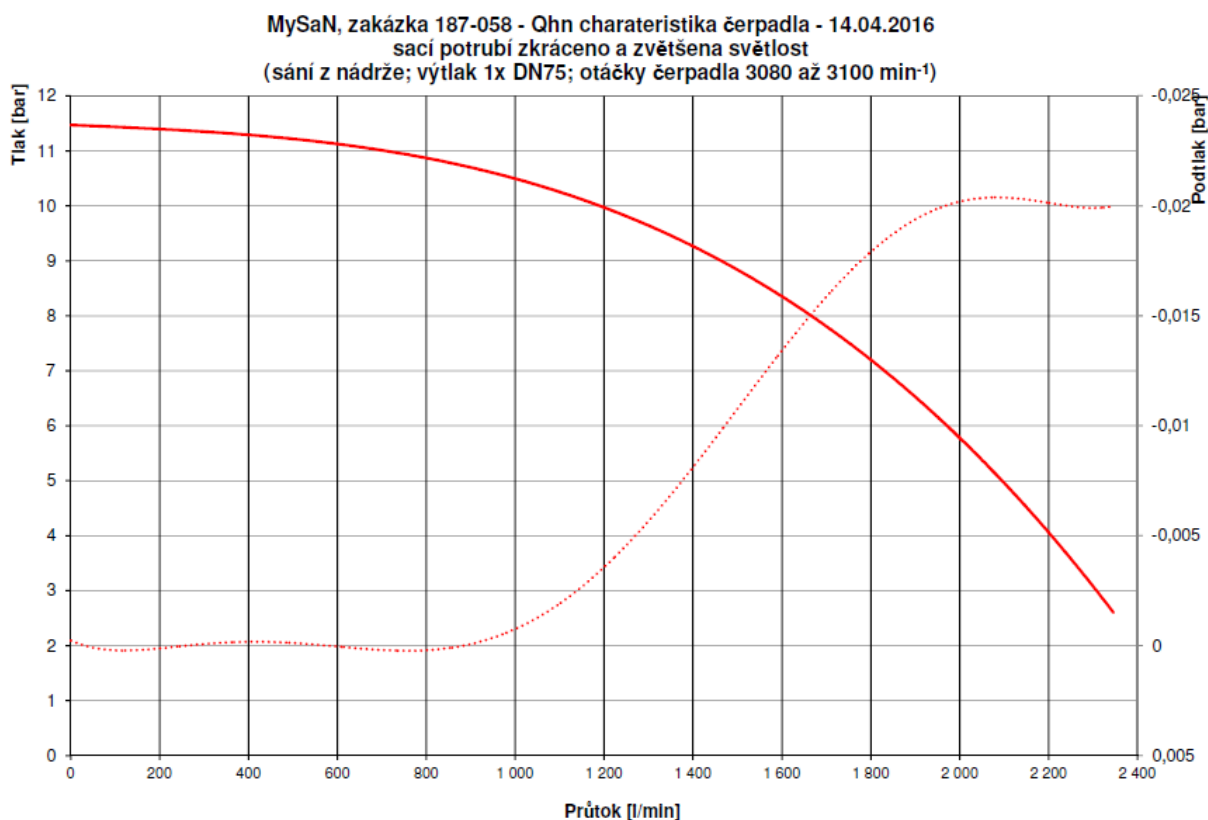
Obr. 42) Charakteristika čerpadla po doplnění usměrňovacího mezikusu na sacím potrubí

Po výše uvedených zkouškách začal opětovný vývoj na možných úpravách sacího potrubí. Bylo rozhodnuto o změně celé koncepce sacího vedení, které bylo nově vytvořeno v předepsaném průměru DN 150. Změny se také týkaly celkové délky a členitosti vedení sacího potrubí. Nově navržené sací potrubí bylo proti stávajícímu téměř o polovinu kratší se třemi koleny uvnitř nádrže a jedním plynulým kolenem, které přes usměrňovací mezikus vstupovalo přímo do čerpadla (obr. 43). Díky tomuto řešení odpadly vstupní ztráty kapaliny, které byly zapříčiněny průměrem, délkou a významnou členitostí na původním řešení sacího potrubí.



Obr. 43) Nová koncepce sacího potrubí o průměru DN 150 (červené)

Po provedených úpravách proběhla za stejných podmínek opětovná zkouška výstupního tlaku čerpadla, a také byl změřen podtlak v sání čerpadla na usměrňovacím mezikusu. Z třetího grafu je patrné výrazné zlepšení a dosažení požadovaných hodnot. Výstupní tlak z čerpadla byl při průtoku 1800 l/min změřen na hodnotě 7,2 bar a podtlak v sání byl na hodnotě – 0,018 bar (obr. 44).



Obr. 44) Charakteristika čerpadla po nové koncepci sacího potrubí

Pokud porovnáme naměřené výsledky s hodnotami, které byly naměřeny po úpravě potrubí s usměrňovacím mezikusem, je viditelné nejen výrazné zlepšení výstupního tlaku z čerpadla, ale také velmi podstatné snížení hodnot podtlaku sání. K tomuto výraznému zlepšení došlo z toho důvodu, že se zvyšující se rychlostí průtoku, narůstají ztráty s druhou mocninou, a proto se tak významně projevil průměr potrubí.

4.5.3 Ověření funkčnosti čištění

Po dosažení požadované hodnoty výstupního tlaku z čerpadla, která byla ověřena měřením, proběhla zkouška funkčnosti čištění. Zkouška byla provedena na asfaltovém povrchu s intenzitou znečištění $3,5 \text{ kg/m}^3$. Směs, vytvářející znečištění, byla vytvořena ze stejných složek a ve stejném procentuálním poměru, jako je popsáno v kapitole 5.6.1. Délka a šířka čištěného pruhu byla také $20 \times 1,5 \text{ m}$.

Na základě provedení této zkoušky se již potvrdila předpokládaná účinnost mytí (obr. 45). Na nástavbě se již neprojevovaly žádné náznaky zahlcování ejektorů a kvalita očisty byla z vizuálního hlediska výborná.

Vzhledem k potvrzení účinnosti mytí bude provedeno dokončení sacího potrubí. Následně budou provedeny další nutné úpravy vyplývající z analýzy FMEA a provedených zkoušek. Po těchto úpravách proběhne opětovné odzkoušení účinnosti mytí podle původního plánu, který je popsán v kapitole 5.6.1.



Obr. 45) Správná funkce Mycí samosběrací nástavby

4.6 Etapa měření hlučnosti

Podmínky pro zkoušky měření hlučnosti byly připraveny dle vzoru normy ČSN ISO 11094. Požadavek na hluk pozadí je takový, že naměřená hladina akustického tlaku vyvolaná hlukem pozadí by podle doporučení měla být pod hladinou měřeného akustického tlaku stroje o více jak 10 dB. Co se týká požadavku klimatických podmínek, rychlost větru by neměla být vyšší jak 8 m/s, ale doporučení je, aby byla nižší jak 5 m/s. Pokud je rychlost větru vyšší jak 1 m/s, je nutné doplnit mikrofon ochrannými kryty dle výrobce. Teplota vzduchu okolního prostředí nesmí být nižší jak 5°C [34].

Pro naše orientační měření byl použit zvukoměr Extech HD 600 druhé třídy s měřícím rozsahem 30 – 130 dB a přesností 1,4 dB. Před skupinou měření a po měření byla vždy provedena kalibrace zvukoměru pomocí akustického kalibrátoru Extech Ex407766. Akustický kalibrátor je navržen tak, aby vydával známou hladinu akustického tlaku při správném použití se zvukoměrem. Skutečná kalibrace byla provedena uchycením kalibrátoru na mikrofon zapnutého zvukoměru a následně zapnutí kalibrátoru, který v našem případě vydával stálou hladinu akustického tlaku 94 dB, což odpovídá hodnotě 1 Pa při frekvenci 1 kHz, kde všechny frekvenční koeficienty mají stejnou citlivost. V případě zobrazení jiné hodnoty na displeji zvukoměru proběhlo pomocí šroubku jemné seřízení citlivosti zvukoměru tak, že se zobrazovaná hodnota na displeji shodovala s hodnotou akustického tlaku, který byl vydáván kalibrátorem. Tímto způsobem bylo zajištěno, že všechna naměřená data byla získána správně a že se během měření nezměnily vlastnosti zvukoměru. Povětrnostní podmínky a topografie měřených oblastí nebyly z důvodu orientačního měření brány v potaz [32].

Mycí samosběrací nastavba MySaN

Měření hlučnosti mycí samosběrací nastavby probíhalo jak při nastavování úhlu mycí lišty, tj. bez mytí viditelných nečistot, tak i při mytí nečistot, kde byla intenzita znečištění 3,5 kg/m² a mytí nečistot, kde byla intenzita znečištění 0,7 kg/m². Měření a kalibrace přístroje byla provedena při teplotě 10 °C za oblačného počasí. Akustický tlak prostředí byl změřen na hodnotě 62,4 dB. Měření probíhalo ve vzdálenosti 3 m za nastavbou ve výšce cca 160 cm nad povrchem vozovky. Tyto vzdálenosti byly určeny dle normy 11094 a také z toho důvodu, aby nedocházelo k ovlivnění hladiny akustického tlaku nastavby, protože mycí samosběrací nastavba byla vlečena za traktorem. Hodnoty jednotlivých měření jsou patrné z tab. 8.

Tab 8) Naměřené hodnoty akustického tlaku Mycí samosběrací nastavby

Mycí samosběrací nastavba						
číslo měření	1	2	3	4	5	6
Naměřené hodnoty L _A F _{max} [dB]	89	87,8	94	90	94,6	93,5

Korekce hluku pozadí pro odečtení od hladiny akustického tlaku měřeného při provozu není brána v potaz, protože rozdíl mezi hladinou akustického tlaku při provozu a hladinou samotného akustického tlaku pozadí je větší jak 10 dB.

Výpočet hladiny akustického tlaku A:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pAi}} \right] \text{dB}, \quad (6)$$

kde:

$\overline{L_{pA}}$ je energeticky průměrovaná hladina akustického tlaku A na ploše v decibelech [dB],

L_{pAi} je hladina akustického tlaku A, v i-tém měřicím místě, která je podle potřeby korigována na hluk pozadí nebo jiné vlivy [dB],

N celkový počet měření [33].

Výsledná hodnota akustického tlaku nástavby MySaN:

$$\overline{L_{pA}} = 92,23 \pm 1,5 \text{ dB}$$

Samosběrací zametací nástavba

Měření hlučnosti samosběrací zametací nástavby probíhalo jak při čištění povrchu bez viditelných nečistot, tak také při zametání nečistot, kde byla intenzita znečištění $3,5 \text{ kg/m}^2$ a zametání nečistot, kde byla intenzita znečištění $0,7 \text{ kg/m}^2$. Měření a kalibrace přístroje byla provedena při teplotě $6 \text{ }^\circ\text{C}$ za oblačného počasí, kterému předcházely výrazné ranní dešťové srážky. Akustický tlak prostředí byl změřen na hodnotě 55 dB. Měření probíhalo ve vzdálenosti 3 m za nástavbou ve výšce cca 160 cm nad povrchem vozovky pro zachování stejných podmínek jako při měření nástavby MySaN. Hodnoty jednotlivých měření jsou patrné z tab. 9.

Tab 9) Naměřené hodnoty akustického tlaku samosběrací zametací nástavby

Samosběrací zametací nástavba						
číslo měření	1	2	3	4	5	6
Naměřené hodnoty L_{AFmax} [dB]	90	92	90,2	94	95	92

Korekce hluku pozadí pro odečtení od hladiny akustického tlaku měřeného při provozu není brána v potaz, protože rozdíl mezi hladinou akustického tlaku při provozu a hladinou samotného akustického tlaku pozadí je větší jak 10 dB.

Výsledná hodnota akustického tlaku zametací nástavby:

$$\overline{L_{pA}} = 92,58 \pm 1,5 \text{ dB}$$

Cílem tohoto orientačního měření bylo zjištění, zda u Mycí samosběrací nástavby nedochází k výrazně vyšší hodnotě akustického tlaku oproti klasické samosběrací zametací nástavbě. Tato obava byla zejména v oblasti zadních ejektorů, kde vstupující proud vody z trysek společně se sebranými nečistotami dopadá na stěnu ejektorů, začíná rotovat a následně vstupuje do hadic odvodu nečistot do zásobníku. V případě nadměrné hodnoty akustického tlaku by muselo být například navrženo konstrukční opatření odhlučnění ejektorů.

Po provedených měřeních a následných výpočtech je však možné konstatovat, že hodnoty nástaveb se od sebe významně neliší, a dokonce střední hodnota akustického tlaku

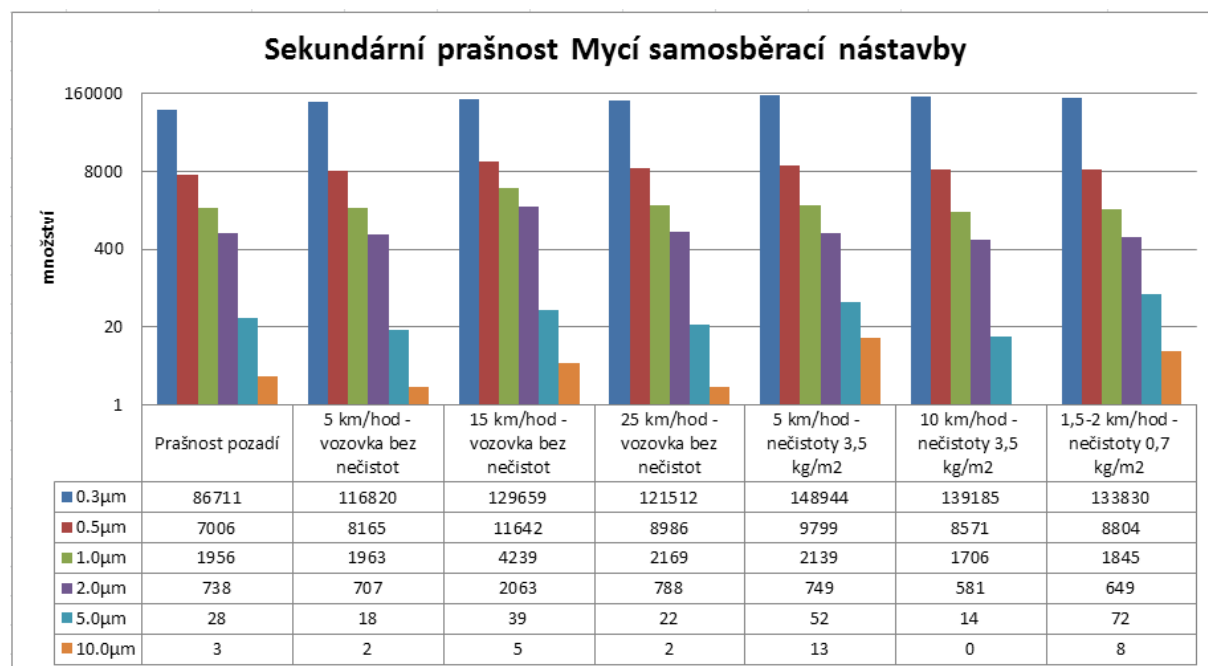
Mycí samosběrací nastavby je nižší než hodnota akustického tlaku samosběrací zametací nastavby.

4.7 Etapa měření sekundární prašnosti

Pro měření prašnosti se opět vycházelo z normy ČSN EN 15429, jak již bylo popsáno v kapitole 5.5 Etapa zkoušky účinnosti mytí. Měření však neprobíhalo v uzavřených prostorech tak, jak je popsáno v normě, ale bylo zvoleno pouze jako orientační k porovnání se sekundární prašností, kterou vytváří běžné zametací stroje. Měření bylo uskutečněno pomocí přístroje Fluke 985 Particle counter, který může sloužit pro certifikaci ISO třídy 5-6 pro kritické oblasti. Přístroj je vybaven snímačem částic, který měří jednotlivé množství částic v rozmezí 0,3 až 10 μm . Přesnost měření přístroje je dle normy ISO 21501 pro částice velikosti 0,3 μm 50 % a pro částice o velikosti větší jak 0,45 μm 100 %. Před samotnými měřeními byla vždy provedena kalibrace přístroje pomocí filtru.

Mycí samosběrací nastavba - MySaN

První část měření proběhla na letišti na zkoušené nastavbě MySaN. Měření prašnosti probíhalo současně s nastavováním optimálního úhlu mycí lišty s tryskami a při zkoušení účinnosti čištění. Měření a kalibrace přístroje byla provedena při teplotě 10 °C za oblačného počasí, kterému předcházely dešťové dny. Měření probíhalo vždy po dobu jedné minuty ve vzdálenosti cca 3 m za nastavbou ve výšce 150 cm nad povrchem vozovky. V první řadě byla změřena prašnost pozadí a poté následovalo měření sekundární prašnosti nastavby při rychlosti 5, 15 a 25 km/hod při nastavování optimálního úhlu mycí lišty, tj. na čistém povrchu bez posypového materiálu. Následovalo měření prašnosti při zkoušení účinnosti čištění při rychlosti 5 a 10 km/hod, kdy intenzita posypu byla 3,5 kg/m^2 a při rychlosti 1,5 až 2 km/hod, kdy intenzita posypu byla 0,7 kg/m^2 . Naměřené hodnoty jsou patrné z grafu (obr. 46).



Obr. 46) Sekundární prašnost Mycí samosběrací nastavby

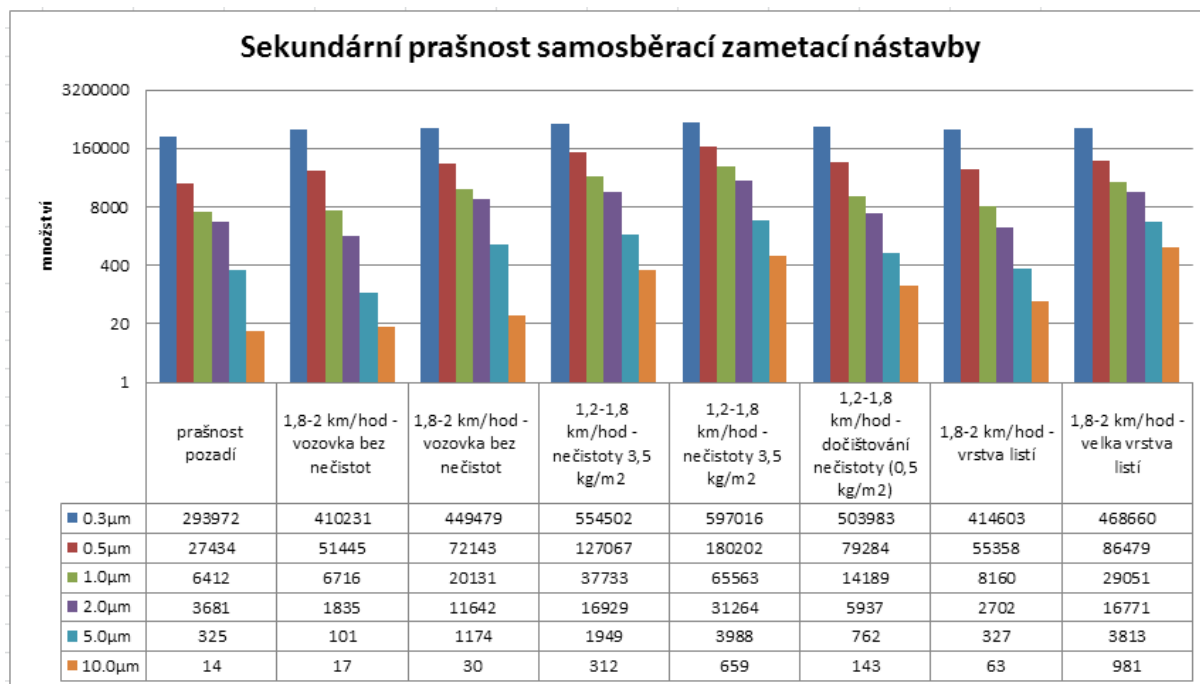
Podle naměřených hodnot vidíme, že při mytí vozovky bez viditelné vrstvy nečistot se sekundární prašnost neprojevuje a dokonce u částic v rozmezí velikosti 2 - 10 μm byly naměřené hodnoty při rychlosti 5 km/hod ještě nižší, než při měření samotné prašnosti pozadí. Co se týká měření prašnosti při mytí nečistot, tak v případě intenzity znečištění 3,5 kg/m^2 není výrazné zvýšení hodnot v rozmezí 0,5 – 10 μm , ale u velikosti částic 0,3 μm jsou hodnoty o řád vyšší proti naměřeným hodnotám prašnosti pozadí. V případě intenzity znečištění 0,7 kg/m^2 jsou hodnoty prašnosti obdobné s hodnotami prašnosti, které byly naměřené při intenzitě znečištění 3,5 kg/m^2 . Na základě naměřených hodnot se dá předpokládat, že na množství prachových částic nemá vliv ani pracovní rychlost nástavby.

Samosběrací zametací nástavba

Druhá část měření proběhla při blokovém čištění v Brně na ulici Vodová na čistícím zametacím zařízení od technických služeb FALKY (obr. 47). Měření a kalibrace přístroje byla provedena při teplotě 6 °C za oblačného počasí, kterému předcházely výrazné ranní dešťové srážky. Jednotlivá měření probíhala opět po dobu jedné minuty ve vzdálenosti cca 3 m za čistícím vozem ve výšce cca 150 cm nad povrchem vozovky. V první fázi byla změřena prašnost pozadí na ulici Vodová. Následovalo měření sekundární prašnosti za vozidlem, které bylo v pracovním režimu. Mělo spuštěný jak boční, tak středový čistící kartáč s odsáváním smetků do zásobníku včetně spuštěných skrápěcích trysek, ale na povrchu nebyly žádné viditelné nečistoty. Poté bylo připraveno stejně velké pole s procentuálním obsahem jednotlivých složek nečistot dle normy v intenzitě 3,5 kg/m^2 jako bylo použito pro nástavbu MySaN. V průběhu čištění bylo zapnuté skrápění kartáčů ke zmírnění sekundární prašnosti. Jelikož se po prvním průjezdu na vozovce ještě nacházela směs s nečistotami, byl nutný opětovný průjezd vozem, při kterém byla změřena sekundární prašnost vozem. Zbytková směs, která se nacházela na vozovce, byla přibližně v množství 0,5 kg/m^2 , u tohoto průjezdu byly také změřeny hodnoty sekundární prašnosti, takže je možné orientační porovnání s nástavbou MySaN při čištění 0,7 kg/m^2 . Jelikož měření sekundární prašnosti bylo provedeno ve volné pauze blokového čištění spadaneho listí při podzimním úklidu, bylo využito těchto podmínek a proběhlo změření sekundární prašnosti při čištění mokrého spadaneho listí (obr. 47 b). Naměřené hodnoty jsou patrné z grafu (obr. 48).



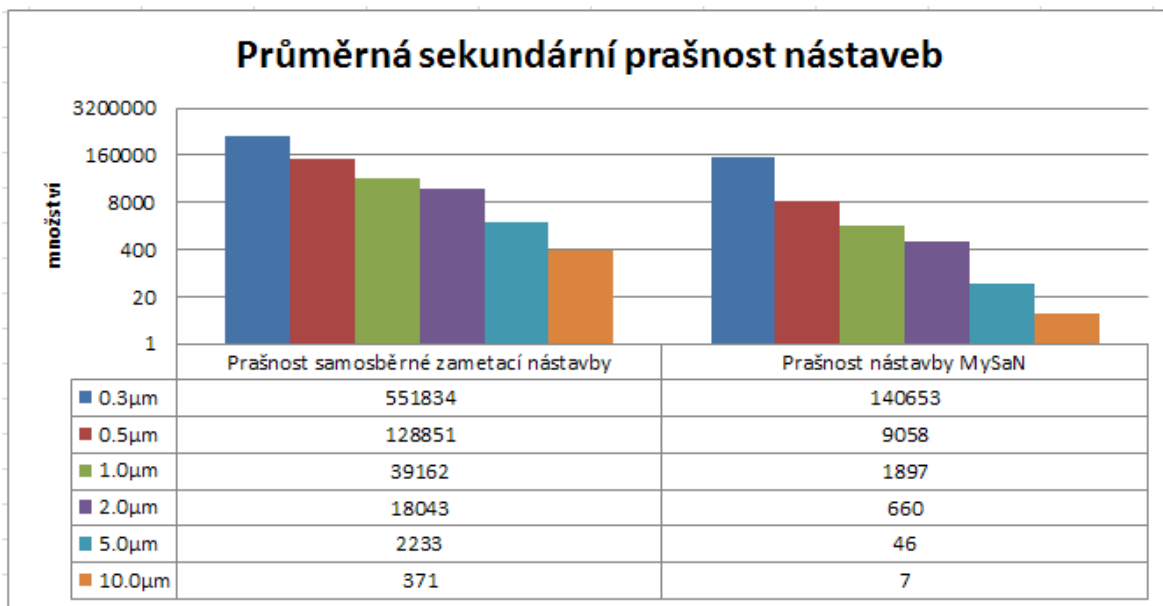
Obr. 47) a) Samosběrací zametací nástavba, b) Čištění vrstvy mokrého listí



Obr. 48) Sekundární prašnost samosběrné zemetací nástavby

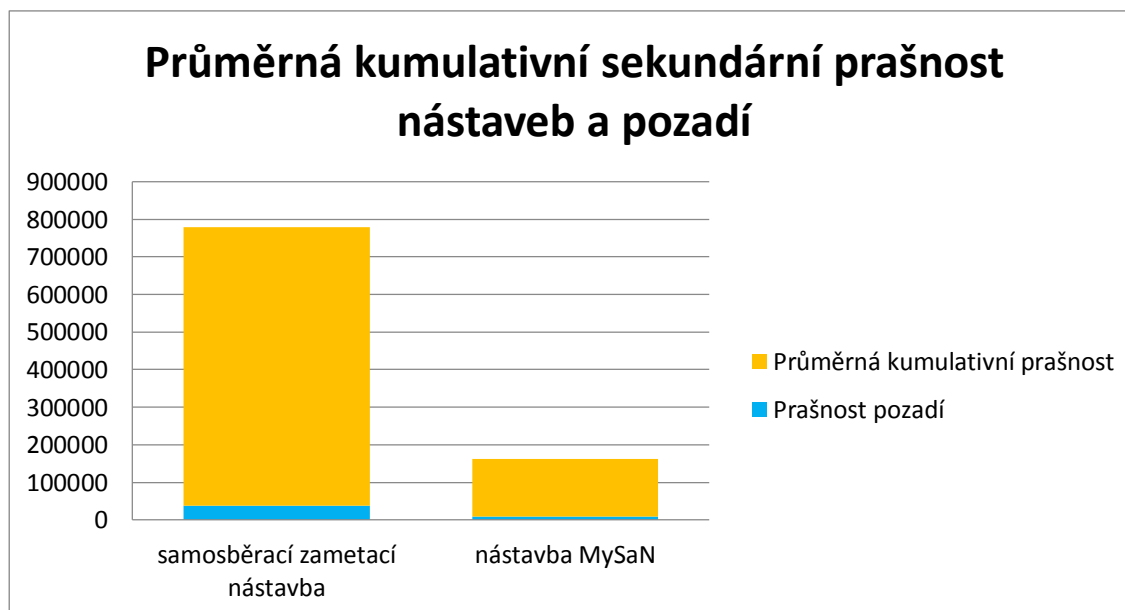
Z výše uvedeného grafu je patrné, že ke zvýšení sekundární prašnosti zemetací nástavby při porovnání s prašností pozadí dochází již při zemetání vozovky bez viditelných nečistot. Při čištění vozovky s intenzitou znečištění 3,5 kg/m² je patrný nárůst sekundární prašnosti, který je u částic velikosti 0,5 – 10 µm více jak desetinásobný a u částic velikosti 0,3 µm přibližně dvojnásobný proti hodnotám, které charakterizují prašnost pozadí. Při čištění vozovky s intenzitou znečištění 0,5 kg/m² jsou hodnoty u částic velikosti 10 µm také desetinásobné a hodnoty v rozmezí 0,3 – 5 µm jsou přibližně zdvojnásobené oproti prašnosti pozadí. Co se týká hodnot sekundární prašnosti, které byly naměřeny při čištění spadaneho listí, tak v případě čištění malé vrstvy (obr. 47 b) nejsou hodnoty o mnoho vyšší proti hodnotám při čištění vozovky bez viditelných nečistot. V případě velké vrstvy listí jsou naměřené hodnoty řádově stejné s čištěním povrchu, kde intenzita znečištění byla 3,5 kg/m².

Pokud porovnáme výsledky měření samosběrací zemetací nástavby, což je zástupce nejvíce používaného stroje pro běžné čištění komunikací, s výsledky měření nástavby MySaN, tak je na první pohled patrný výrazný rozdíl. U samosběrné zemetací nástavby bylo použito skrápění kartáčů. Čištění proběhlo za vlhkého okolního prostředí, kterému předcházely výraznější dešťové srážky, a čištěná směs byla také s výrazným obsahem vlhkosti, takže nedocházelo k viditelnému prášení, jak je známo při jarních úklidech. I přes tyto velmi pozitivní podmínky pro snížení sekundární prašnosti byla naměřená sekundární prašnost nástavby velmi výrazná. Naopak nástavba MySaN splnila svá očekávání a předpoklady. Podmínky měření byly velmi podobné jako v případě samosběrací zemetací nástavby, ale sekundární prašnost byla výrazně nižší. V následujících grafech je pro porovnání vyhodnocena průměrná prašnost každé nástavby při intenzitě znečištění 3,5 kg/m² (obr. 49) a pro lepší vizuální představu průměrná kumulativní prašnost obou nástaveb (obr. 50).



Obr. 49) Porovnání průměrného množství částic při znečištění

Z vypočtených hodnot (Obr. 49) je patrné, že množství částic velikosti 0,5; 2; 5 a 10 μm je o dva řády vyšší u samosběrné zmetací nástavby proti samosběrné nástavbě MySaN. Hodnoty jemných částic o velikosti 1 μm jsou o řád vyšší a částice o velikosti 0,3 jsou přibližně ve čtyřnásobném množství proti nástavbě MySaN.



Obr. 50) Porovnání průměrného kumulativního množství částic

Na obrázku 50 je viditelný markantní rozdíl průměrné kumulativní sekundární prašnosti nástaveb, přičemž Mycí samosběrná nástavba vykazuje výrazně nižší průměrnou kumulativní prašnost proti klasické samosběrné zmetací nástavbě.

I když realizovaná zkouška měla pouze orientační charakter, dá se prohlásit, že způsob funkce Mycí samosběrné nástavby je z hlediska víření prachu a vzniku sekundární prašnosti šetrnější než klasické zametače, mohl by proto představovat konkurenční výhodu.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zpracování rešerše v oblasti diplomové práce, týkající se vývoje prototypu Mycí samosběrací nástavby. Dalším dílčím cílem bylo navrhnout zkoušky pro měření klíčových ukazatelů, identifikace možných rizik spojených s provozem nástavby a navrhnout opatření pro zlepšení k odstranění možných rizik.

Úvodní část byla zaměřena na problematiku čištění vozovek z hlediska znečištění. Bylo zjištěno, že požadavky na čistotu komunikací jsou dány zejména dopravní důležitostí a společenským významem. Proces čištění je obecně velmi významná činnost, jež klade důraz na její kvalitu a četnost. Zanedbání těchto požadavků vede k nežádoucím následkům. V první řadě se může jednat o estetický pohled, který je ovlivněn špínou, odpadky, pachem z důsledku zvýšení živočišných odpadů v závislosti na místních společenských zvycích. V druhé řadě se jedná o znečištění přírodních vodních cest a ovzduší. Vysoká koncentrace nečistot ve vodách a ovzduší ohrožuje zdraví lidí, zvířat a rostlin. Velmi významnou a aktuální problematikou je polévatý prach a s ním spojená sekundární prašnost. Sekundárním zdrojem prašnosti jsou již jednou usazené částice, které jsou opět zviřeny do atmosféry. Závažným problémem je to, že částice polévatého prachu na sebe vážou škodlivé látky. Částice o velikosti nižší jak $2,5 \mu\text{m}$ se pak dostávají přímo do plic a částice, které jsou menší jak $1 \mu\text{m}$, se přes plicní sklípky mohou dostat až do krevního řečiště, kde přispívají ke vzniku kardiovaskulárních chorob.

Vzhledem k tomu, že se jedná o vývoj zcela nové koncepce stroje, který zatím nebyl ještě dosud sériově vyráběn, byly v rešeršní části zpracovány zástupci používaných strojů pro čištění silnic, jejich principy a vhodnost použití. Z této části vyplývá, že největšími zástupci pro čištění komunikací jsou samosběrné zametací stroje, které z čištěného povrchu dokáží sbírat nečistoty různé zrnitosti, objemové hmotnosti a různého množství nečistot v čištěném pruhu samosběrného vozu s vysokou účinností. V posledních letech se již téměř upustilo od mechanické dopravy smetků do zásobníku, ale dopravení je řešeno podtlakovým nebo přetlakovým pneumatickým systémem. Všechny typy samosběrů musí mít účinné odsávání prachu od kartáčů s důkladnou filtrací vyfukovaného vzduchu, protože by neměly být zdrojem sekundární prašnosti. Vzniká však problém, jako u vysávacích strojů, s dostatečným vyčištěním a vrácení použitého vzduchu zpět do atmosféry. Tyto stroje navíc nemají velkou účinnost na jemný sediment nebo prach. V ulicích, kde je velký výskyt jemných částic nebo prachu umožňující navázání pozitivně nabitých znečišťujících látek, jako jsou kationty těžkých kovů, není zametací samosběr vhodným nástrojem pro čištění.

Mnohdy je jediným řešením k odstranění jemných částic a současně zamezení a tvorbě sekundární prašnosti použití prostých splachovacích strojů. Tyto stroje uvolňují nečistoty z povrchu čištěného pruhu, pomocí pohybové energie splachovacího proudu, který je usměrněn tryskami na vozovku. Tento typ čištění je vhodný tam, kde je možné splachovat nečistoty do odvodňovacích pruhů, kde jsou následně nečistoty po odtoku vody sebrány samosběrem. Toto však není v mnoha případech možné a proto nelze tyto stroje vždy využít.

Mycí samosběrací nástavba, která je předmětem této diplomové práce, je v tomto ohledu bezkonkurenčním řešením. Její koncepce využívá energii splachovacího proudu usměrněného pomocí trysek na čištěný povrch vozovky, kde strhává nečistoty a unáší je do páru ejetorů, pomocí kterých jsou nečistoty včetně mycího proudu dopraveny do zásobníku nástavby. Zde dochází k prvotní sedimentaci a hrubé filtraci. Následně jsou nečistoty z vody pomocí

čisticího systému sít odfiltrvány. Vyčištěná voda je čerpána a opětovně použita na čištění povrchu vozovky.

Pro identifikaci možných rizik spojených s provozem Mycí samosběrací nástavby byla vybrána metoda FMEA. Po provedení této analýzy se ukázalo, že 33 ze 44 poruch přesahovalo hodnotu kritické meze čísla priority rizika. Na základě toho vznikla série doporučených konstrukčních opatření a také byla navržena opatření, která budou zaznamenána v návodu pro obsluhu.

Pomocí navržených a provedených zkoušek bylo prokázáno, že se na prototypu nástavby vyskytují závažné chyby, které způsobují nesprávnou funkci stroje. Byly navrženy nutné konstrukční změny, po jejichž provedení se dosáhlo požadovaných parametrů nástavby. Pomocí zkoušky ověření funkčnosti čištění se již potvrdila předpokládaná účinnost čištění. Po dalších provedených zkouškách se ověřila hladina akustického tlaku nástavby, která je srovnatelná s běžnými samosběrnými zametacími stroji. Jedním z nejdůležitějších klíčových parametrů se však prokázala velmi nízká sekundární prašnost nástavby. Tato prašnost byla také porovnána se zástupcem zametacích vozů, kde byly naměřené hodnoty vzájemně porovnány. Zejména při porovnání průměrné kumulativní sekundární prašnosti nástaveb je viditelný markantní rozdíl mezi nástavbami.

Výsledkem diplomové práce je funkční prototyp Mycí samosběrací nástavby. Pomocí zkoušek se podařilo ověřit mycí schopnost a kvalitu čištění při velmi nízké sekundární prašnosti. Právě tato vlastnost je klíčovým parametrem, který dosud nemá v této oblasti konkurenci. Vzhledem ke zvyšujícím se požadavkům na snížení prašnosti může být tato nástavba jedním z významných řešení tohoto globálního problému. Díky tomu, že nástavba má propracovaný filtrační systém, je možné použít běžnou užitkovou vodu, která je pouze zbavena hrubých nečistot. Tímto by došlo k výrazně nižším nákladům na provoz a tedy i na samotné čištění. V případě nutnosti může být tato nástavba také využita pro přepravu vody nebo hašení. Výhodou nástavby je konstrukční řešení týkající se snadné montáže na kontejnerový podvozek nákladního automobilu a tedy možné i další využití podvozku. Nástavba může být také použita k čištění komunikace i za deště, kdy nedochází ke snížení kvality čištění a navíc se zvyšuje pracovní radius stroje. Perspektivou využití je také možnost použití nástavby v zimním období, kdy při použití solanky nebo vody s obsahem močoviny je možné čištění komunikací od zbytkového sněhu. Toto uplatnění nástavby by zároveň přineslo výrazné úspory nákladů týkajících se posypu a jarního čištění s kladným vlivem na životní prostředí v okolí komunikací.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DNEBOSKÝ, Luděk. *Čištění městských komunikací: příručka*. Praha: Tisková, ediční a propagační služba, 1989.
- [2] BY ROBERT BRINKMANN, Graham A. Tobin. *Urban Sediment Removal The Science, Policy, and Management of Street Sweeping*. Boston, MA: Springer Verlag, 2013. ISBN 9781461355922.
- [3] MUSIL, Jiří. *Údržba a čištění komunikací ve městech a obcích*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Řada stavební literatury.
- [4] AGROMETALL s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.agrometall.cz>
- [5] Služby ŠVARC s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.sluzbysvarc.cz/Cistení-komunikaci-traktorovym-zametacem>
- [6] KOBIT SZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.kobitsz.cz/detail.php?id=70&typ=7>
- [7] WAYNE SWEEPERS, LLC [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.waynesweepers.com/>
- [8] ELGIN SWEEPER COMPANY [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.elginsweeper.com>
- [9] Auto SAS s.r.o. [online]. [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://www.autosas.cz/cs/hako-Citymaster-zametaci-stroj-zametac>
- [10] BUCHER municipal [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.sweeper.buchermunicipal.com/de/node/113765/?c=germany>
- [11] KOBIT SZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://www.kobitsz.cz/detail.php?id=57&typ=4>
- [12] KOBIT, spol. s r.o. [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: <http://kobit.cz/datasheet.php?vyr=156>
- [13] CHYTKA, Michal. *Technologie odsávání MTS* [online]. In: HUTIRA-BRNO s.r.o. [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/efektivni-vyklizeni-stavebni-suti-pri-rekonstrukci-technologie-odsavani-mts/>
- [14] MTS Mobile Tiefbau Saugsysteme GmbH [online]. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.saugbagger.com/>
- [15] KOBIT SZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: <http://www.kobitsz.cz/detail.php?id=63&typ=4>
- [16] KOBIT, spol. s r.o. [online]. [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: http://kobit.cz/fotka.php?f=0054_1.jpg&vyr=5

- [17] VYHLÁŠKA 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. In: Portál veřejné správy [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=45313&fulltext=Vyhlaska~20104~2F1997~20Sb&rpp=15#local-content>
- [18] FAILURE MODE EFFECTS AND ANALYSIS. In: *PSTC* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <https://www.pstc.org/files/public/August02.pdf>
- [19] MCDERMOTT, Robin E., Raymond J. MIKULAK a Michael R. BEAUREGARD. *The basics of FMEA*. 2nd ed. New York: Productivity Press, 2009. ISBN 978-156-3273-773.
- [20] PROCEDURE FOR FAILURE MODE. In: *FMEA Info Centre* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/19700076494_1970076494.pdf
- [21] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní systémy řízení jakosti: quality management*. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2002. ISBN 80-726-1071-6.
- [22] ČSN EN 60812: Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). UNMZ, 2007.
- [23] *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka*. 4. vyd. Překlad Ivana Petrašová. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [24] Metoda FMEA. In: *Komora KHK* [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/12-neustale-zlepsovani/12-2-fmea.pdf>
- [25] VANK, Michal. *Problematika polétavého prachu s důrazem na území města Brna*. Brno, 2015. Bakalářská práce. MASARYKOVA UNIVERZITA.
- [26] ŠUBRT, Michal. *VLIV POLYMERŮ NA SNÍŽENÍ PRAŠNOSTI*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [27] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.portal.chmi.cz>
- [28] ŠPIRKOVÁ, Marie. *PRŮMYSL A EKOLOGICKÁ STABILITA V OSTRAVSKÉ AGLOMERACI*. Brno, 2015. MASARYKOVA UNIVERZITA.
- [29] *European Environment Agency* [online]. [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/exceedances-of-air-quality-objectives-1>
- [30] KOTEK, Luboš. *Pokročilé metody managementu rizik: Učební materiály. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky*.
- [31] ČSN EN 15429 - 3. Sweepers - Part 3: Efficiency of particulate matter collection - testing. 2015.

- [32] ČSN ISO 1996 - 1. Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí: Základní veličiny a postupy pro hodnocení. 2004.
- [33] Ústní sdělení pana Josefa Janečka, řešitele a majitele patentu návrhu Mycí samosběrací nástavby, 8. 1. 2016
- [34] ČSN ISO 11094. Akustika - Zkušební předpis pro měření hluku šířeného vzduchem: vyzářovaného motorovými žacími stroji, žacími a zahradními traktory, profesionálními žacími stroji a žacími a zahradními traktory a příslušenstvím. 1997.

SEZNAM SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
a	Délka čištěného pole	[m]
b	Šířka čištěného pole	[m]
D	Klasifikace detekce	[-]
I	Míra intenzity znečištění	[-]
L_{pA}	Energeticky průměrovaná hladina akustického tlaku A	[dB]
L_{pAi}	Hladina akustického tlaku A, v i-tém měřicím místě	[dB]
m_1	Celková hmotnost směsi	[kg]
N	Celkový počet měření	[-]
O	Klasifikace pravděpodobnosti výskytu	[-]
R	Obecný vztah potencionálního rizika	[-]
RPN	Číslo priority rizika	[-]
S	Klasifikace závažnosti	[-]
S_p	Obsah čištěného pole	[m ²]
SOD	Nearitmetická kombinace hodnot závažnosti, výskytu a detekce	[-]
SD	Ukazatel součinu závažnosti a výskytu	[-]
V_1	Objem směsi	[m ³]
ρ	Objemová hmotnost kameniva	[kg/m ³]

Seznam tabulek

Tab 1)	Patnáct různých situací s RPN = 360.....	44
Tab 2)	Rozdíl mezi RPN, SOD a SD.....	45
Tab 3)	Úroveň závažnosti a následek poruchy.....	46
Tab 4)	Pravděpodobnost výskytu poruchy.....	46
Tab 5)	Matice rizika/kritičnosti.....	46
Tab 6)	Tabulka hodnocení.....	59
Tab 7)	Množství jednotlivých složek.....	65
Tab 8)	Naměřené hodnoty akustického tlaku Mycí samosběrací nástavby.....	73
Tab 9)	Naměřené hodnoty akustického tlaku samosběrací zemetací nástavby.....	74

Seznam obrázků

Obr. 1)	Schéma přezkoumání postupů a protokolů pro čištění ulic v kontextu fyzického prostředí a prostředí člověka [2].....	18
Obr. 2)	Mezní křivky zrnitosti pouličních nečistot [3]	19
Obr. 3)	Rozložení stop kol vozidel (1) a množství nečistot v příčném profilu vozovky (2) [3]	19
Obr. 4)	Průměrné roční hodnoty koncentrace PM ₁₀ v roce 2013 [28,29].....	22
Obr. 5)	Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM ₁₀ , 2010-2014 [27].....	23
Obr. 6)	Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM _{2,5} , 2010-2014 [27].....	23
Obr. 7)	Vývoj celkových emisí PM ₁₀ , 2007-2013 [27].....	24
Obr. 8)	Upevnění zametače do předního třibodového závěsu [5]	25
Obr. 9)	Upevnění zametače do zadního třibodového závěsu [5].....	26
Obr. 10)	Uložení zametače na ramenech nakladače [4].....	26
Obr. 11)	Chodníkový samosběr firmy Hako [9].....	27
Obr. 12)	a) Tříkolový zametací samosběr firmy Elgin, b) Funkční princip zametacího stroje Elgin Pelican [8].....	28
Obr. 13)	a) Zametací samosběr na automobilovém podvozku, b) Funkční princip samosběru Optifant [9].....	29
Obr. 14)	Zametací vůz vlečný [11]	30
Obr. 15)	Zametací vůz vlečný bez vlastního zásobníku [12]	30
Obr. 16)	a) Plastový válcový kartáč [3], b) Agresivní ocelový kartáč [6].....	31
Obr. 17)	Vysavač na automobilovém podvozku [14].....	32
Obr. 18)	Chodníkový splachovač na podvozku Multicar [16]	33
Obr. 19)	Velký silniční splachovač na podvozku Man [16]	33
Obr. 20)	Prototyp s názvem „Mycí stroj na komunikace“ [33].....	35
Obr. 21)	Prototyp s názvem „Mycí samosběr na komunikace“ [33].....	36
Obr. 22)	3. Prototyp s názvem „Mycí samosběrací nástavba“ (MySaN) [33].....	38
Obr. 23)	Vztah mezi způsoby poruchy a důsledky poruchy v hierarchii systému [22].	42
Obr. 24)	Formulář metody FMECA	47
Obr. 25)	Vývojový diagram analýzy FMEA.....	48
Obr. 26)	Systémová struktura výrobku [24].....	50
Obr. 27)	Mapa procesu od rámcové po podrobnou [23].....	52
Obr. 28)	Mycí samosběrací nástavba.....	54
Obr. 29)	Mycí samosběrací nástavba na podvozku tatra	54
Obr. 30)	Vyztužený jednoosý podvozek podroben pevnostní analýze.....	56
Obr. 31)	Funkční schéma nástavby MySaN.....	57

Obr. 32) Blokový diagram prvků nastavby pro analýzu FMEA	58
Obr. 33) Snímací stanoviště	63
Obr. 34) a) Chybně nastavený úhel, b) Optimální nastavení úhlu	63
Obr. 35) Zadní pohled na mycí lištu	63
Obr. 36) Schéma testovací plochy [30].....	64
Obr. 37) Připravená pole s nečistotami.....	66
Obr. 38) Pole s různými počty průjezdů	67
Obr. 39) Zahlcení ejektorů	67
Obr. 40) Charakteristika čerpadla při původním řešení sacího potrubí.	68
Obr. 41) a) Původní řešení sacího potrubí (červené), b) Sací potrubí (zelené) po doplnění usměrňovacího mezikusu (červený)	69
Obr. 42) Charakteristika čerpadla po doplnění usměrňovacího mezikusu na sacím potrubí	70
Obr. 43) Nová koncepce sacího potrubí o průměru DN 150 (červené).....	71
Obr. 44) Charakteristika čerpadla po nové koncepci sacího potrubí.....	71
Obr. 45) Správná funkce Mycí samosběrací nastavby	72
Obr. 46) Sekundární prašnost Mycí samosběrací nastavby	75
Obr. 47) a) Samosběrací zametací nastavba, b) Čištění vrstvy mokrého listí.....	76
Obr. 48) Sekundární prašnost samosběrné zametací nastavby	77
Obr. 49) Porovnání průměrného množství částic při znečištění	78
Obr. 50) Porovnání průměrného kumulativního množství částic.....	78

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Analýza FMEA

Příloha č. 1 – Analýza FMEA

Název: MySaN		Zodpovědná osoba: Kamil Vraspír		Verze: 1/3		Aktuální stav				Doporučený stav						
č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
1	SACÍ KOŠ zamezení tvorby víru, sání vody do čerpadla	částečně ucpaný	nízký přítok vody k čerpadlu, snížení tlaku, přívod znečištěné vody do čerpadla - nadměrné opotřebování částí čerpadla, potrubí, ventilů, trysek, částečné ucpání trysek	4	poškozené rotační síto, částečné ucpání uvolněním části z vnitřního prostoru rotačního síta	4			9	144	pravidelná kontrola rotačního síta obsluhou na konci směny, kontrola vnitřního prostoru rotačního koše po 3 měsících	2	pravidelná kontrola rotačního síta obsluhou na konci 8 hod směny, kontrola podtlaku v sání čerpadla na přístrojové desce - optická akustická signalizace	3	Umístění sacího koše v nejnižším bodě nádrže, přidání čerpadla pro odvod jemného kalu do hrubého zásobníku.	24
2	ČERPADLO vytváření tlakové vody	nefunkčnost	nevytvoření tlakové vody	9	nefunkční pohon čerpadla, roztržení v případě mrazu	5			7	315	pravidelná kontrola těsnosti po 3 měsících, výměna ucpávky čerpadla dle výrobce, odvodnění čerpadla v případě zimního období, kontrola napnutí a stavu řemenů pohonu po 1 měsíci provozu	3	ukazatel výchozího tlaku za čerpadlem a kontrola podtlaku v sání čerpadla na přístrojové desce - optická akustická signalizace	3		81
		ztráta požadovaného tlaku	nižší tlak v systému	6	opotřebení, snížení průtoku sacího potrubí	5			9	270		5		3		90
		netěsnost	ztráta vody	5	uvolněné spojení přírub, poškozené těsnění, poškozená ucpávka	6				7	210		4		4	

Č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
3	VENTIL 1 otevírání tlakové vody k pohonu ejektorů	zavřený	zamezení průtoku vody - nefunkčnost ejektorů, neúplné otevření ventilu - menší průtok vody k pohonu ejektorů - snížení výkonu e.	9	přidření tělesa ventilu vlivem nečistot, malý tlak vzduchu v ovládacích válcích, ztráta tlaku vzduchu, netěsnost vlivem opotřebení	7			7	441	snímače krajních poloh ventilu, kontrola opotřebení tělesa ventilu pomocí zkoušky tlaku po 3 měsících	4	kontrolka krajních poloh ventilu na přístrojové desce - optická akustická signalizace	3	Zvážení jemnější zrnitosti rotačního síta, změna polohy V1 a V2	108
		otevřený	neuzavření průtoku vody - samospádné vytékání vody po vypnutí čerpadla, neúplné zavření ventilu - zbytkový průtok vody, ztráta vody	8		7	7	392	4	3		96				
		netěsný	průtok vody, ztráta vody	2		5	7	70	3	6		36				
4	VENTIL 2 otevírání tlakové vody k mycí liště	zavřený	zamezení průtoku vody - nefunkčnost mycí lišty, neúplné otevření ventilu - menší průtok vody k mycí liště - nižší mycí schopnost	9	přidření tělesa ventilu vlivem nečistot, malý tlak vzduchu v ovládacích válcích, netěsnost vlivem opotřebení	7			7	441	snímače krajních poloh ventilu, kontrola opotřebení tělesa ventilu pomocí zkoušky tlaku po 3 měsících	4	kontrolka krajních poloh ventilu na přístrojové desce - optická akustická signalizace	3	Uzavírání V2 (pro pohon mycí lišty) dříve než V1 (pro pohon ejektorů)	108
		otevřený	neuzavření průtoku vody - samospádné vytékání vody po vypnutí čerpadla, neúplné zavření ventilu - zbytkový průtok vody, ztráta vody	8		7	7	392	4	3		96				
		netěsný	průtok vody, ztráta vody	2		5	7	70	3	6		36				

č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
5	BOČNÍ TRYSKY mytí nečistot od kraje čištěného pruhu, naplavování nečistot do středu vozovky	ucpané	ztráta vody, nedopravení nečistot od krajnice do čištěného pruhu	6	nedokonalé vyčištění vody	4			5	120	filtr před vstupem do pohonu trysek mycí lišty, bočních trysek a vnitřních oplachových trysek	4	kamerový systém zaměřený na boční trysky a kvalitu bočního čištění s online přenosem v kabině obsluhy,	3	Vyústění hadice k bočním tryskám z přívodu vody k mycí liště (ne z přívodu vody k ejektorům).	72
		částečně ucpané	špatná kvalita čištění od krajů	5		5			5	125		4		3		60
		špatně usměrněný proud	ztráta vody, nedopravení nečistot od krajnice do čištěného pruhu	4	opotřebení trysek	4			7	112	3	5		60		
		chybné natočení trysek	ztráta vody, nedopravení nečistot od krajnice do čištěného pruhu	4	nesprávná poloha vzduchového válce, nízký tlak vzduchu	3			7	84	3	5		Více poloh natočení trysek. Úhel vyklopení pomocí mechanického dorazu, natočení trysek krokovým motorem.	60	
6	LEVÝ/ PRAVÝ EJEKTOR sběr nečistot z levé/pravé poloviny čištěného pruhu	zahlcení	neodsání nečistot a vody z čištěného pruhu, ztráta vody	8	malý průtok vody v ejektorech, nadměrné množství nečistot (listí, jarní údržba...), nevhodně zvolená rychlost vůči množství nečistot	6			8	384	doporučené provozní rychlosti	4	kamerový systém zaměřený na čištěný pruh s online přenosem v kabině obsluhy, kontrola průtoku na hadicích odvodu nečistot za ejektory - optická akustická signalizace na přístrojové desce	3		96
		snížení odsávací funkce	snížená účinnost odsávání, ztráta vody	7	malý průtok vody v ejektorech, velké množství nečistot	7			8	392		5		3		105
		ucpání	neodsání nečistot a vody z čištěného pruhu, ztráta vody	9	nasátí předmětu (igelitová taška, petlahev, apod.)	4			8	288	4	3		108		
		netěsnost	ztráta vody	3	netěsnost jednotlivých dílů ejektorů	4			5	60	3	5		45		

Č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
7	TRYSKY MYCÍ LIŠTY usměrnění proudu vody na čišťený pruh, mytí a naplavování nečistot do ejektorů	ucpání	nefunkční naplavování a mytí nečistot	8	nedokonalé vyčištění vody	4			7	224	filtr před vstupem do pohonu trysek mycí lišty, bočních trysek a vnitřních oplachových trysek	2	kamerový systém zaměřený na čišťený pruh s online přenosem v kabině obsluhy, kontrola tlaku výtaku čerpadla na přístrojové desce - optická akustická signalizace	6		96
		částečné ucpané	špatná kvalita čištění, ztráta vody, nedokonalé naplavení nečistot a vody do ejektorů	6		6			8	288		2		6		72
		nízký mycí tlak		5	nízký tlak vody	3			7	105		3		3		45
		špatně usměrněný proud		4	opotřebení trysek	6			8	192		4		4		64
8	POTRUBÍ ODVODU NEČISTOT L/P doprava nečistot od ejektorů do zásobníku	ucpané	nefunkční odvod nečistot z L/P ejektoru do zásobníku, zahlcení L/P ejektoru, ztráta vody	8	přeplnění zásobníku hrubých nečistot	4			7	224	kontrola výšky nečistot v zásobníku	3	měření výšky nečistot zásobníku - zobrazení aktuálního stavu na přístrojovém panelu obsluhy	4	Nutný vhodný způsob měření výšky nečistot.	96
		částečné ucpané	snížený odvod nečistot z L/P ejektoru do zásobníku, zahlcení L/P ejektoru	8		5			7	280		3		4		96
		prasknutí	ztráta vody	7	3	7			147	2		7		98		
		netěsnost	ztráta vody	4	opotřebení hadice, prasknutí hadice	3			7	84		2		7		56

č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
9	ZÁSOBNÍK NEČISTOT zadržení nečistot	přeplnění	přetečení nečistot do čisté zóny nádrže, ucpání hadic přívodu nečistot od ejektorů	8	velké množství nečistot, včasné nevysypání zásobníku	5			8	320		3	měření výšky nečistot zásobníku - zobrazení aktuálního stavu na přístrojovém panelu obsluhy	4	Co v případě prudkého brždění? Nepřetečou nečistoty do č.z. ? - Nutné provozní odzkoušení.	96
		netěsnost	ztráta vody	4	nedovření zadního čela, poškozené těsnění, nečistoty mezi těsněním a čelem	4			7	112	kontrola čistoty a stavu těsnění po vyprázdnění zásobníku, případný oplach tlakovou vodou	3	kontrola čistoty těsnění po vyprázdnění zásobníku, kontrola těsnosti zadního čela po naplnění	4		48
10	SOUSTAVA HRUBÝCH SÍT sedimentace a vyčištění vody	snížená sedimentace a hrubá filtrace nečistot	zhoršená filtrace, přetečení nečistot přes síta do čisté zóny	5	velké množství nečistot, ucpání síta, síta ve špatné poloze po vyklopení	5			9	225	kontrola pracovní polohy a čistoty sít po vyprázdnění nečistot	4	kontrola výšky hladiny v čisté zóně	3	Kontrola výšky hladiny v zóně hrubých sít?	60
		nefunkční filtrace v zóně hrubých sít	přítomnost hrubých nečistot v čisté zóně,	7	síta ve špatné poloze po vyklopení	5			7	245		4	3	84		
		malé množství vody v čisté zóně	nedostatečné množství vody pro činnost	7	zaseknutí sít	5			7	245		4	kontrola výšky hladiny v čisté zóně, ztráta tlaku na čerpadle - optická akustická signalizace na panelu obsluhy	3		84
		zaseknutí sít v provozní poloze	neumožňující vyklopení nečistot z prostoru hrubých sít a čisté zóny	5	zaseknutí sít v provozní poloze vlivem nečistot	5			6	150		kontrola polohy sít při vyklápění	4	4		80

Č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
11	ROTAČNÍ SÍTO jemná filtrace vody	ucpané	nedostatečný přívod vody k sacímu koši	6	nefunkční vnitřní oplach síta, nadměrné množství nečistot, přeplněný zadní zásobník, nefunkční filtrace hrubými síty	4			7	168	po 8 hod směně kontrola stavu rotačního síta, doplnění prvku ručního zapnutí hydromotoru pro otáčení síta	4	ztráta / pokles tlaku na výtlaku čerpadla - optická akustická signalizace na přístrojové desce, kontrola čistoty síta po vyprázdnění nečistot	4		96
		částečně ucpané		4	7	7			196	5		5	100			
		poškozené	nedokonalá filtrace - přítomnost nečistot v čerpadle - vysoké opotřebení čerpadla, trysek, zacpání trysek	8	protrhnutí, prodření nebo jiné poškození síta	3			7	168		2	kontrola stavu rotačního síta po 8 hod směně	4		64
12	HYDROMOTOR pohon rotace rotačního síta	nefunkční	nefunkční oplach síta po celém obvodu	7	nefunkční olejové čerpadlo, nízký tlak oleje, nedostatečné množství oleje v systému, snížení viskozity oleje	3	chlazení oleje přes nádrž s vodou		8	168	každý měsíc kontrola stavu hydromotoru, přívodních hadic oleje, po 8 hod směně kontrola hladiny oleje hydromotoru, výměna olejové náplně dle výrobce hydromotoru	2	kontrola stavu hydromotoru a přívodních hadic oleje každý měsíc, kontrola tlaku oleje - optická akustická signalizace na přístrojové desce obsluhy	4		56
		netěsný	ztráta oleje - kontaminace vody	8	vysoký tlak oleje - prasknutí hadice, netěsnost	4			8	256		3	4	96		
		snížená účinnost	snížený oplach síta po obvodu, nízká rychlost otáčení síta	6	nedostatečné množství oleje v systému, snížení viskozity oleje	5			8	240		4	4	96		

č.	Prvek systému a funkce	Způsob poruchy	Důsledek vady	S	Příčina Vady	O	Preventivní opatření	Opatření pro odhalení	D	RPN	Doporučená preventivní opatření	O	Doporučená opatření pro odhalení	D	Poznámka	RPN po zavedení opatření
13	OPLACH SÍTA oplachování nečistot ze síta	ucpané/částečně ucpané oplachové trysky	zanesení rotačního síta, nedostatečné vyčištění síta - malý přítok vody k sacímu koši	7	nečistoty oplachovací vody	6			8	336	kontrola výstupního proudu oplachových tryskek každé 3 měsíce, filtr před vstupem do pohonu tryskek mycí lišty, bočních tryskek a vnitřních oplachových tryskek	3	Kontrola tlaku výtlaku čerpadla na přístrojové desce - optická akustická signalizace	4		84
		nízký tlak proudu oplachových tryskek		6	částečně ucpané přívodní potrubí	5			8	240		3		4		72
14	VYKLÁPĚNÍ vysypání nečistot ze zásobníku a ostatních částí nádrže	zaseknutí nečistot / ulpění nečistot	zmenšení prostoru zásobníku pro nečistoty, zmenšení objemu nádrže pro vodu	4	neotevření prostoru zásobníku za hrubými síty, ulpění nečistot na vnitřních stěnách nádrže	5	mycí lišta uvnitř nádrže v přední části s přívodem tlakové vody z vnějšího zdroje pro dokonalé vypláchnutí nečistot, možnost otevření přepážky mezi čistou zónou a zásobníkem hrubých nečistot		4	80	kontrola vyprázdnění prostoru zadního zásobníku, hrubých sít a čisté zóny	4	kontrola vyprázdnění prostoru zadního zásobníku, hrubých sít a čisté zóny	4	Na přání zákazníka doplnění nastavyby elektro-čerpádlem (24V) a zásobníku na vodu pro případ možného vypláchnutí vnitřního prostoru nádrže na skládce bez připojení na vnější zdroj vody.	64
		neúplné vyprázdnění	4	7		196			4	4		64				
		nevyprázdnění prostoru za hrubými síty / u rotačního síta	4	7		196			4	5		80				
		porucha bezpečnostního tlačítka vyklápění	poranění obsluhy stroje, nevyklopení zásobníku	9		nedodržení pracovního postupu, porucha bezpečnostního tlačítka vyklápění			3	vyklápění zásobníku pomocí bezpečnostního dvoutlačítkového provedení		2		54		2

