



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN ROBOTA PRO ČIŠTĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH ODTAHŮ ZALOŽENÉHO NA TECHNOLOGII TRYSKÁNÍ SUCHÝM LEDEM

DESIGN OF CLEANING ROBOT FOR INDUSTRIAL AIR CONDITIONING BASED ON DRY ICE BLASTING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Viktor Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Štigler

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Viktor Novotný**
Studijní program: Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Štigler**
Akademický rok: 2021/22

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

Design robota pro čištění průmyslových odtahů založeného na technologii tryskání suchým ledem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tryskání suchým ledem je efektivní a ekologická metoda odstraňování deposit a nečistot. Je využitelná přímo na místě, je neabrazivní a nezpůsobuje vznik sekundárních odpadů. Tato metoda je rovněž velmi šetrná k životnímu prostředí. Robotické zařízení pro čištění průmyslových odtahů využívá specifických vlastností suchého ledu. Suchý led je tlakem vzduchu tryskán na povrch, který je určen pro čištění. Nečistoty následně z povrchu odpadají. Zařízení se skládá z robotické části, která vstupuje do potrubí a provádí samotné čištění a dále pak z řídicí jednotky a zásobníku a dávkovače suchého ledu.

Typ práce: vývojová – designérská

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je navrhnout design robotické části soustavy pro čištění průmyslových odtahů s využitím technologie tryskání suchým ledem s důrazem na technologické, ergonomické a estetické inovace.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- zpracovat technologicko–technickou analýzu současného využití suchého ledu pro čisticí procesy a analýzu zařízení určená pro tento typ čištění,
- navrhnout design, který respektuje současné technické a technologické poznatky a estetické hodnoty s výhledem do blízké budoucnosti,
- navrhnout design, který respektuje potřeby pro využití stroje. Příklad musí být snadno přenositelný, lehce omyvatelný a odolný proti špíně i mechanickému poškození,
- navrhnout design, který umožní čištění kulatého potrubí o průměru 400–800 mm a hranatého potrubí od 400 x 400 až po 700 x 700.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, fotografie modelu, fyzický model.

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

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

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

Seznam doporučené literatury:

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

KRÁL, Miroslav. Ergonomie a její využití v technické praxi II: Normativy lidského těla.

Biomechanika a bioenergetika. Ostrava: Alexandr Vávra-Vava, 1998. ISBN 80-86168-04-2.

LIDWELL, William a Gerry MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout design robota pro čištění průmyslových odtahů založeného na technologii tryskání suchým ledem, který bude schopen čistit různé druhy a velikosti potrubí. Univerzality robota bylo dosaženo nastavitelností jednotlivých částí a možností přidat dodatečné komponenty pro vertikální pohyb. Možnost vložit robota do potrubí se vstupními otvory různých velikostí je řešena modulárním systémem. Jednoduchost čištění byla zajištěna zakrytáním trupu. Důraz byl kladen i na ergonomii robota.

KLÍČOVÁ SLOVA

suchý led, robotický čistič, průmyslové odtahy, design

ABSTRACT

The aim of this work is to design cleaning robot for industrial air conditioning based on dry ice blasting technology, which will be able to clean different types and sizes of pipes. The versatility of the robot was achieved by the adjustability of the different parts and the possibility to add additional components for vertical movement. The possibility of inserting the robot into pipes with entrance holes of different sizes is solved by a modular system. Ease of cleaning was achieved by covering the body. Focus was also placed on the ergonomics of the robot.

KEYWORDS

dry ice, cleaning robot, industrial air conditioning, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOTNÝ, Viktor. Design robota pro čištění průmyslových odtahů založeného na technologii tryskání suchým ledem [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139938>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Jaroslav Štigler.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Jaroslavovi Štiglerovi za cenné rady a zástupci firmy Alkion service s.r.o. Dalimilovi Petrilákovi za ochotu zodpovědět technické dotazy.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

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

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1	Designerská analýza	15
2.1.1	Roboti využívající primárně technologie tryskání suchým ledem	15
2.1.2	Roboti využívající jiné technologie než tryskání suchým ledem	18
2.1.3	Stroje pro všeobecně použitelné čištění suchým ledem	23
2.2	Technická analýza	24
2.2.1	Tryskání suchým ledem	24
2.2.2	Tryska	26
2.2.3	Kamera	26
2.2.4	Osvětlení	26
2.2.5	Pohyb	26
2.2.6	Potrubí	30
2.2.7	Zbavování nečistot	30
2.2.8	Kabeláž	31
2.2.9	Schéma Alkion	32
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	33
3.1	Analýza problému	33
3.2	Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše	33
3.2.1	Designové řešení	33
3.2.2	Technické řešení	34
3.3	Cíle práce	35
3.4	Cílová skupina	36
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	36
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	37
3.6.1	Použité výrobní technologie	37
3.6.2	Možný trh	37
3.6.3	Cena	37
4	VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	38
4.1	Inspirační zdroje	38
4.2	Varianty	39
4.2.1	Varianta 1.	40
4.2.2	Varianta 2.	41

4.2.3	Varianta 3.	42
5	TVAROVÉ ŘEŠENÍ	43
6	KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	46
6.1	Popis	46
6.1.1	Modulární řešení	46
6.1.2	Díly trupu	48
6.1.3	Vertikální pohyb	48
6.1.4	Výšková nastavitelnost	49
6.1.5	Roztažitelnost nohou	50
6.1.6	Náklon pásů	51
6.1.7	Monitorování okolí	52
6.1.8	Osvětlení	53
6.1.9	Ofukování světel a kamery	55
6.1.10	Připojení hadic a elektrických kabelů	55
6.1.11	Pásy	56
6.2	Rozměrové řešení	58
6.3	Vnitřní mechanismy a komponenty	60
6.4	Materiálové řešení	60
6.5	Technologie	61
6.6	Ergonomie	61
6.6.1	Přenášení, vkládání, sestavování	61
6.6.2	Utahovací kolečka	63
6.7	Bezpečnost a hygiena	63
6.8	Udržitelnost	64
7	BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	65
7.1	Barevné řešení	65
7.1.1	Barevné varianty	65
7.1.2	Finální barevné řešení	67
7.2	Grafické řešení	68
7.2.1	Název	68
7.2.2	Logotyp	68
7.2.3	Ochranné pole	69
7.2.4	Barevnost logotypu	69
7.2.5	Aplikace logotypu na robotu	70

8	DISKUZE	71
8.1	Psychologická funkce	71
8.2	Sociální funkce	71
8.3	Ekonomická funkce	71
8.4	Marketingová analýza	72
8.4.1	SWOT analýza	72
8.5	Cílová skupina	72
8.6	Cenová hladina	73
9	ZÁVĚR	74
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	76
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	80
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
13	SEZNAM TABULEK	84
14	SEZNAM PŘÍLOH	84
15	PŘÍLOHA – ZMENŠENÉ POSTERY (A4)	86

1 ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje návrhu robota pro čištění průmyslových odtahů založeného na technologii tryskání suchým ledem.

Průmyslové odtahy neboli potrubí, jsou nedílnou součástí mnoha továren či budov, kde plní funkci transportu nejrůznějších látek. Může jít o čistý vzduch, vzduch s příměsí nečistot vznikajících při výrobním procesu (mastnota, saze, gumový prach, prach po obrábění atd.) nebo hmotnější dopravované suroviny např. chemického průmyslu. I nepatrné částice putující potrubím se mohou na jeho povrchu usazovat a za určitý čas znatelně hromadit.

I v situaci, kdy dané potrubí odvádí bezchybně svojí práci a jeví se jako bezúdržbové je potřebné je občasné čistit. Nedostatečně čištěné odtahy mohou mít za následek vzplanutí nečistot usazených v potrubích. V případě vzduchotechniky existuje riziko kumulace nečistot uvnitř odtahů, znemožnění správného proudění vzduchu a dále šíření nebezpečných částic do lidmi dýchaného vzduchu. Nedostatečná cirkulace a kontaminace vzduchu v budovách s sebou nesou vážná zdravotní rizika. Alergiím, bolestem a předčasným úmrtím lze předejít právě čištěním potrubí. [1]

Robotické čištění suchým ledem se jeví v současnosti jako ideální možnost zbavování nečistot. Lidem těžko či vůbec přístupná potrubí široké škály průměrů je možné bez demontáže opravovat, čistit nebo jen provádět inspekci. Tryskání suchým ledem disponuje dostatečnou silou pro odstranění velkého množství typů nečistot, povrch nenarušuje a ekologicky ho zbavuje všech plísní, virů a bakterií.

Cílem této práce je navrhnout princip konstrukčního řešení, které bude fungovat univerzálně v různých typech prostředí a situací, v kterých robot může pracovat. Dále je důležité zohlednit situace stroje před a po čištění potrubí, kdy robot přichází do kontaktu s člověkem. V poslední řadě je nutné se zabývat estetickým designovým řešením, které zohlední funkční požadavky a umožní snadné čištění.

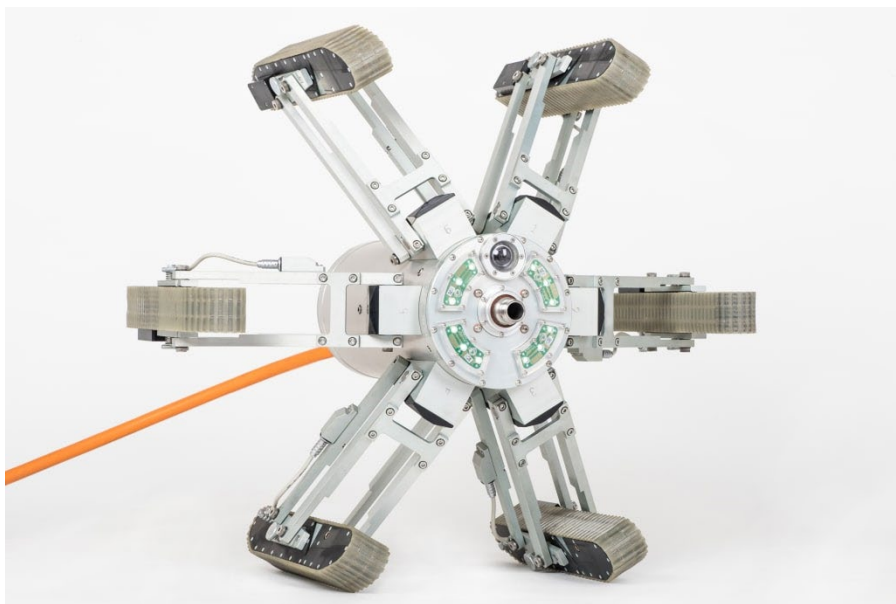
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Designerská analýza

2.1.1 Roboti využívající primárně technologie tryskání suchým ledem

JETTYROBOT 6

Vzhled robota JettyRobot 6 od firmy JettyRobot se odvíjí především od konstrukčního řešení stroje. To znamená funkčnost a jednoduchost komponent bez přidaného krytování nebo tvarování. Barevnost součástí stroje je dána použitými materiály. Celkově robot působí robustně a čistě technické řešení se zde nejeví jako nedostatek, ale vzbuzuje zajímavý futuristický vzhled, který vizuálně doplňuje nově použité technologie a velmi často technicistní prostředí, kde je robot používán.



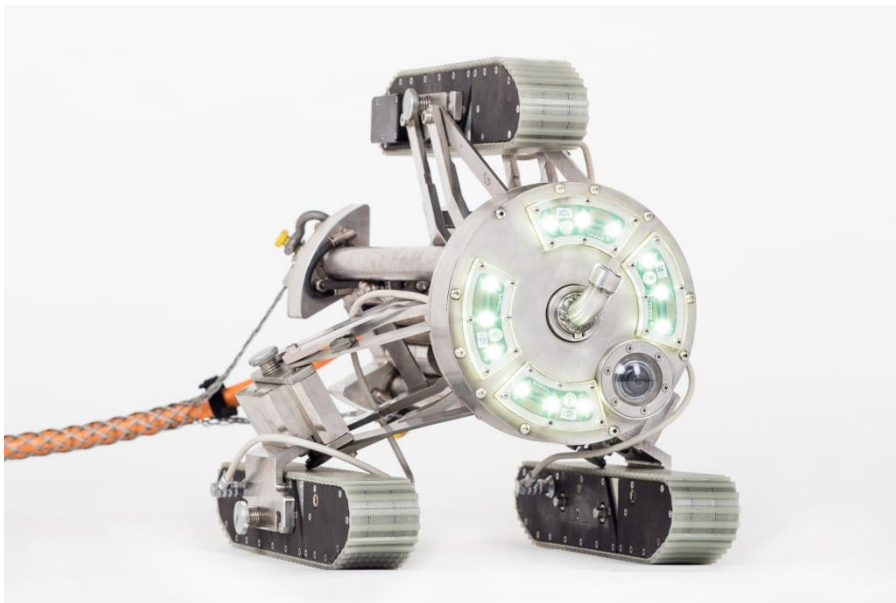
Obr. 2-1 JettyRobot 6. [2]

Šesti ramenná konstrukce s pásy situovanými do kruhu dovoluje robotu projíždět potrubím v horizontálním směru, vertikálním směru i zatáčkami. Symetrické rozpínání ramen je zajišťováno synchronizačním mechanismem poháněným pneumaticky, který je propojen s jednotlivými paralelogramickými rameny. Možnost rozevírání ramen s pásy dovoluje pohyb v potrubí s průměrem od 350 mm do 710 mm. S přídatnými nástavci lze použít robota i v potrubí do průměru 1350 mm. Tvar čištěného nebo kontrolovaného potrubí může být kruhového průřezu, pro ideální průchod čtvercovým nebo obdélníkovým potrubím lze použít na konce čtyř ramen nástavce, které pásy zarovnájí do roviny s povrchem potrubí. Slabinou robota je jeho hmotnost 35 kg, která komplikuje manipulaci. [2] [3]

JETTYROBOT S

JettyRobot S je menším ze dvou robotů, který nabízí společnost JettyRobot. Robot se od své větší varianty liší kromě velikosti i počtem ramen s pásy. Ramena jsou zde pouze 3, což způsobuje menší robustnost oproti šesti ramenné variantě. Dalším rozdílem od JettyRobot 6 je chybějící válcovité zakrytí trupu. Množství viditelných komponent působí složitě a komplikovaně. Stejně jako robotova větší varianta působí čistě technické řešení ucelené střední kruhovou částí díky nevšednosti konstrukce nadčasově. Barevnost vychází z použitých materiálů.

Princip fungování JettyRobot S je s výjimkou menšího počtu ramen a pásů totožný. Menší rozměry robota dovolují průjezd potrubím o průměru od 200 mm do 330 mm a s přidanými nástavci až 540 mm. [2]

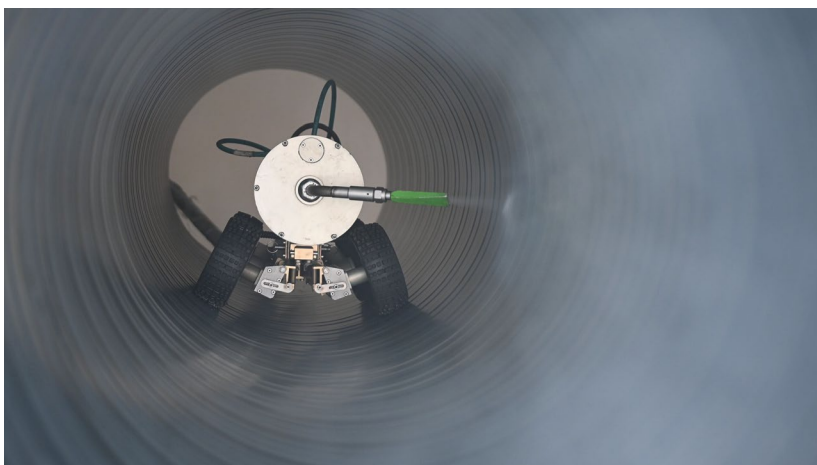


Obr. 2-2 JettyRobot S. [2]

ROBOT C-REX

Vzhled Robotu C-Rex od společnosti Alkion je dán použitými konstrukčními částmi s pouhým funkčním tvarováním. Není zde použité přidané krytování. Designově stěžejním prvkem, který při pohledu ze předu robota uceluje je střední kruhová část s rotující tryskou. Nezakrytovaný trup robota nesoucí kabeláž, rameno osvětlení, čelní stranu s rotující tryskou a podvozek dovoluje snadný přístup k součástem. Absence krytování způsobuje snadné šíření nečistot odstraněných z povrchu potrubí na komponenty robota, což způsobuje nutnost častějšího a složitějšího očišťování.

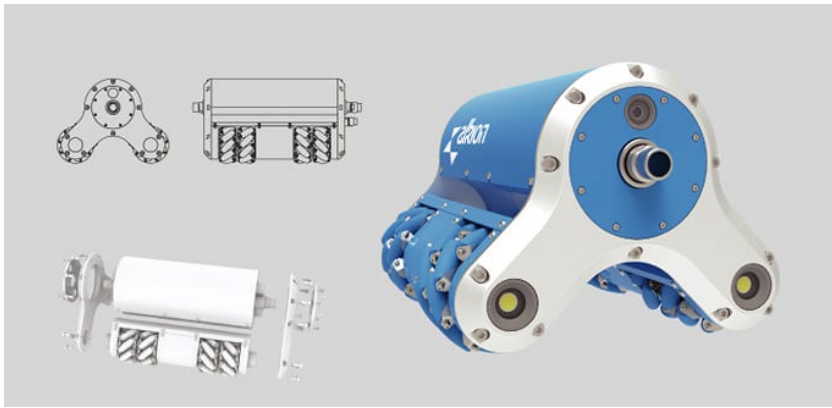
Robot se pohybuje pomocí čtyř gumových kol. Všechna kola je možné sklopit pod úhlem, který bude nejvhodnější pro daný tvar čištěného potrubí. Nastavením naklopení kol se zaručuje maximální styčná plocha mezi potrubím a koly a z toho plynoucí dobrá ovladatelnost, stabilita a dostatečné tření. Robot není pro použitou konstrukci schopen jízdy v potrubí s vyššími úhly náklonu či vertikálními potrubími. [4]



Obr. 2-3 Robot C-Rex. [4]

ALKION KONCEPT

Koncepční designové řešení pro firmu Alkion má specifickou konstrukci, která jednoduše spojuje trup robota a kola mecanum sloužící pro pohyb. Dvě spojovací součásti ve tvaru vidlice dovolují snadné demontování hlavních komponent. Nezvyklé je umístění osvětlení do osy kol, obvyklé je umístění na trupu robota. Barevné řešení robota se skládá z kovově stříbrné barvy vidlic a světle modrého trupu a pohybových částí. Robot působí i při zachování relativně jednoduché konstrukce a tvarování současně, moderně a s přiznanými spojovacími součástmi působí i patričným technickým dojmem. [4]



Obr. 2-4 Koncept pro Alkion. [4]

2.1.2 Roboti využívající jiné technologie než tryskání suchým ledem

Dohledatelných robotů čistících potrubí suchým ledem se na trhu nachází jen malé množství, proto je vhodné analyzovat i roboty, kteří čistí podobná potrubí jinými technikami a technologiemi.

BZJQ-05

Převážně konstrukčně řešený vzhled robotu BZJQ-05 je zajímavý výraznou žlutou barvou na bočních krytech pásů, částech ramene nesoucího čistící kartáč a madlech. Výrazná barva poutající pozornost urychluje představu o aktuálním umístění zařízení a zamezí náhodné kolizi s robotem.

Praktickými součástmi robota jsou žlutá madla umístěná na obou stranách mezi pásy a střední částí, která umožňují snadnější zvedání robota.

Dva pásy s nemožností nastavit polohu dovolují robotu snadný průjezd pouze čtvercovým nebo obdélníkovým potrubím v horizontální poloze. Namísto trysky se suchým ledem se v přední části nachází rotační kartáč strhávající nečistoty před robota, který je spodní přední částí sbírá. [5]



Obr. 2-5 BZJQ-05. [5]

THE LIFA AIR

Řešení robotu THE LIFA AIR je čistě konstrukční převážně v černé barvě. Černou doplňuje stříbrná na discích kol a držáku příslušenství. Jediným barevným ozvláštňením je kartáč v modré barvě.

Robot disponuje úchopem rotačního kartáče s možností nastavení výšky. Té je docíleno pomocí paralelogramu přichyceného ke střední části robotu vystupující z podvozku. K této části je také upevněn držák pro příslušenství (přídavné rameno nesoucí dodatečné osvětlení) a z čelní i zadní strany jsou do ní integrovány kamery.

Čtyři úzká kovová kola s gumovým povrchem umožňují robotu průjezd všemi běžnými typy potrubí do náklonu 45° s průměry od 300 mm do 900 mm. [6]



Obr. 2-6 The LIFA Air. [6]

ANATROLLER™ ARI-10

Technický vzhled robotu ANATROLLER™ ARI-10 od firmy Robotics Design je z převážné části tvořen eloxovaným hliníkem. Je zajímavý netypickým řešením celokovových kol, červeno – šedou barevnou kombinací či celkovým válcovitým tvarem. Středů kol doplňuje červená krytka upevnění kol na osu a na čelní straně kola se po obvodu dvakrát opakuje zapuštěný název robotu. Celkovou čistou a funkční podobu narušují tvarově komplikované osvětlení a nástavec pro příslušenství na vrchu robotu.

ANATROLLER™ ARI-10 se potrubím pohybuje díky dvěma širokým kolům sestavených z množství tenkých ozubených kol. Na kola je možné ve vybraných situacích aplikovat gumové potahy. Magnety, které dovolují pohyb robotu v horizontálním i vertikálním směru v potrubích vyrobených z vybraných materiálů jsou umístěny buď v kolech nebo jinde na spodní ploše těla robotu. Ideálního pohybu potrubím bude dosaženo pouze v potrubích hranatých tvarů, kde budou nepružná kola v maximálním kontaktu s povrchem potrubí.

Kontakt robotu s povrchem potrubí je ve dvou hnaných kolech a zadní noze, která udržuje stálou polohu a brání překlopení.

Čelní strana válcovitého těla robotu je vyčleněna pro dvě osvětlovací diody a kameru, která se nachází mezi diodami. Horní strana nese polohovatelný nástavec pro aktuálně používané čisticí nástroje a přídatné osvětlení. Nástavec lze vyměnit za jiný speciální pro uchycení kamery. [7]



Obr. 2-7 ANATROLLER™ ARI-10. [7]

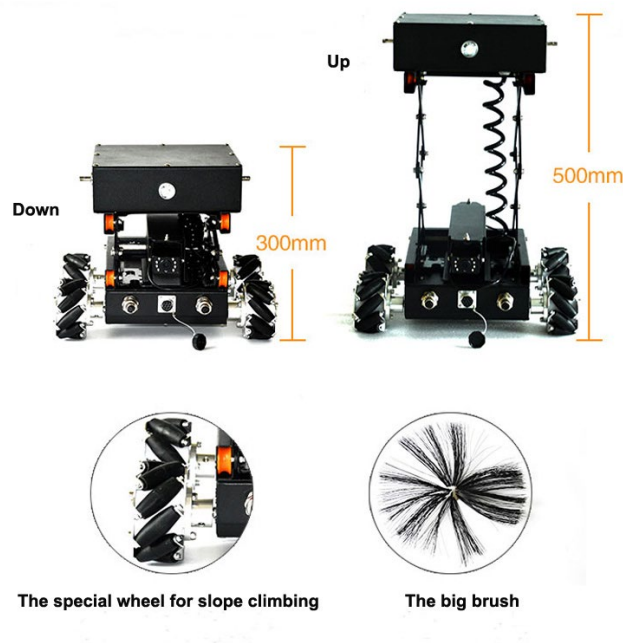
FLX-KT966-28

Robot s označením FLX-KT966-28 je rozdělen na dvě části, které jsou zakrytované do téměř identických černých krabic. Jediným ozvláštňením černých a kovově stříbrných povrchů jsou výrazná oranžová kolečka v místech uchycení pantografu k základnám, která dovolují sblížení konců pantografu. Pantograf tvoří vzájemně pospojované placaté komponenty.

Pantograf zde funguje jako prostředek k výškové nastavitelnosti horní části s čistícím příslušenstvím. Ve složeném stavu je výška robota 300 mm, maximálně pak 500 mm. Z těchto rozměrů plynou rozměry potrubí, které robot dokáže vyčistit. Maximální šířka potrubí je 400 mm, výška potrubí se pohybuje v závislosti na výškovém nastavení robota od 300 do 800 mm.

Horní část robota umožňuje umístění rotačních čistících kartáčů kromě čelní strany i na dvě strany boční. Na čtvrté nevyužitě straně je umístěné osvětlení, stejně tak na čelní straně s kartáčem. Kamery jsou umístěné na čelní straně a prostoru mezi pantografy.

Pohyb je zajištěn čtyřmi koly typu mecanum, což přináší specifické možnosti pohybu, jako kolmou jízdu do stran z klidu či rotaci na místě. Tyto druhy pohybů mohou být použity při nedostatečně velkých rotačních kartáčích k přiblížení robota k čistěnému povrchu a vyšší účinnosti čištění. Kola zaručují schopnost robota stoupat potrubím až do sklonu 70°. [8]



Obr. 2-8 FLX-KT966-28. [8]

MULTIBOT

Multibot od společnosti Teinnova se od ostatních robotů liší komplexním designovým řešením, kde jsou konstrukční části vkusně zakrytovány HDPE (High density polyethylene). Robot je v černo – kovovém barevném provedení. Kryty pásů, horní modulární část a spodní kloub ramene HD kamery jsou opatřeny logem. Snaha o ne čistě funkční podobu je patrná v tvarování krytů pásů nebo ramene nesoucího kameru.

Jedno zařízení Multibot je možné používat pro více způsobů čištění potrubí záměnou jednoho modulu za jiný. Multibot může být vybavený modulem pro dezinfekci, modulem s rotačním centrickým kartáčem ideálním pro potrubí kruhového průřezu, modulem pro aplikaci těsnění, modulem se silikonovými biči vstříkující vzduch nebo modulem čistícím rotačním kartáčem s obvodovým pohybem, který sleduje tvar a velikost potrubí a je tak ideální pro čtvercové a obdélníkové průřezy.

Dva tenké pásy dovolují robotu projíždět kromě hranatého i kruhovým potrubím. Rozměry potrubí mohou nabývat až průměru 1000 mm díky schopnosti elevace přídatných modulů. Zdvhací mechanismus je před nečistotami, které by jej mohli zanést, chráněn pružnou manžetou. [9]



Obr. 2-9 Multibot. [9]

2.1.3 Stroje pro všeobecně použitelné čištění suchým ledem

ICE CLEANER IC 020

Přístroj pro otryskávání suchým ledem ICE CLEANER IC 020 od firmy Eco Stations na první pohled zaujme výraznými laminátovými částmi po bocích v leskle zelené povrchové úpravě. Stejnou barvou je opatřena i tryskáč pistol. Střední pás ponechaný ve stříbrné barvě nerezové oceli nechává vyniknout komponenty pro obsluhu a ovládání. Tvarování stroje založené na zkosování hran působí se zvolenou barevnou kombinací svěže a mezi konkurencí má šanci snadno vyniknout. [10]



Obr. 2-10 Ice Cleaner IC 020. [10]

OTRYSKÁVACÍ PŘÍSTROJ IB 15/120

Otryskávací přístroj firmy Kärcher IB 15/120 byl designován především s ohledem na funkci, ovšem díky preciznímu provedení zde není prostor pro větší tvarové výhrady. Hrany těla stroje jsou tvořeny trubkami, které v některých částech vystupují a vytvářejí tak madla nebo třmeny pro snadný přesun stroje i ve složitých prostředích, kterými mohou být např. schodiště. Přední zkosení hrany vytváří snadno přístupný prostor pro display a ovládací prvky. Barevné řešení vychází použitých materiálů a je doplněné o žlutou barvu. Výrazná žlutá barva je doplňkově použita pouze na spoušti pistole, v logu na čelní straně a okolo přepínače nastavení pro jeho zvýraznění. [11]



Obr. 2-11 Otryskávací přístroj IB 15/120. [11]

2.2 Technická analýza

2.2.1 Tryskání suchým ledem

Suchým ledem se nazývá oxid uhličitý v pevném skupenství. Teplota, při které oxid uhličitý desublimuje je -79°C . Desublimaci jej lze vyrábět přímo na konkrétním místě, kde probíhá čištění potrubí nebo ho je možné používat v předpřipravené podobě. Suchý led se kromě primární výroby získává i z tekutého CO_2 jako vedlejší produkt chemického průmyslu. Vzniká například při výrobě vodíku nebo fosfátových sloučenin.

Použití suchého ledu je ekologický a zdravotně nezávadný způsob odstranění nečistot z povrchů. Kromě hmotných nečistot lze tryskáním suchým ledem odstranit i plísně, bakterie a další nechtěné mikroorganismy.

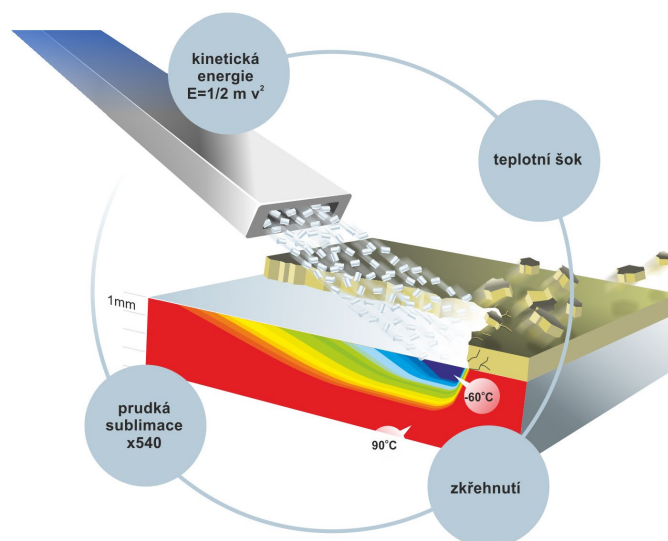


Obr. 2-12 Porovnání povrchu před a po čištění. [2]

Při čištění suchým ledem, nevzniká druhotný odpad a povrch není díky nízké tvrdosti, rovnající se třídě 2 na stupnici tvrdosti, nikterak porušen. Čištění suchým ledem je tzv. neabrazivní způsob čištění, tj. bez abraziv neboli brusných částic. Pelety suchého ledu nejsou elektricky vodivé. Nehrozí tak problémy s elektrickými zařízeními.

Suchý led se k robotu v potrubí dopravuje společně se stlačeným vzduchem hadicí, jejíž běžný vnitřní průměr je 0,75'' až 1''. Tlak v hadici nabývá hodnot od 6 do 15 barů. Po průchodu tělem robotu suchý led putuje do rotační trysky, ze které vystupuje při teplotě $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nadzvukové rychlosti. Suchý led putuje hadicí do robotu a ven tryskou ve formě pelet ve velikosti okolo 2 mm.

Nízká teplota pelet suchého ledu dopadajících na povrch způsobující teplotní šok, vysoká kinetická energie narážejících pelet vyvolávající tlakovou vlnu a až 541násobné zvětšení objemu pelet má za následek zkřehnutí, snížení adheze a uvolnění nečistot. Čím vyšší je teplota čištěného povrchu, tím vyšší teplotní šok nastane při kontaktu pelet suchého ledu s nečistotami a tím snáze se nečistoty od povrchu oddělí. Následně se zvýšením teploty suchý led sublimuje v plynný oxid uhličitý. [10] [2] [12] [4]



Obr. 2-13 Tryskání suchým ledem. [4]

2.2.2 Tryska

Tryska je nástrojem, který distribuuje suchý led na povrch potrubí. Nachází se na ose trupu robotů v rotačním mechanismu. Tryska suchého ledu lze z nástavce vyjmout a nahradit jiným typem trysky pro čištění suchým ledem, tryskami pro jiná čistící média (vodu, sodu, skořápky, vzduch, písek, aj.), kartáči nebo škrabkou. [2]

2.2.3 Kamera

Kamery jsou téměř nezbytnými součástmi robotu, které dovolují operátorovi řídit robota a plynule ho vést potrubím skrze rovné ale i zakřivené úseky potrubí prostřednictvím promítaného obrazu na obrazovku řídicího panelu. Kamery je možné použít pro inspekci a zhodnocení stavu potrubí či při samotném procesu čištění. Kamera nemusí být použita žádná, pouze ve přední části nebo na obou koncích robota. Kamery jsou důležitým nástrojem pro návrat robota k operátorovi v případě, kdy není robot vybaven pamětí zaznamenávající cestu vpřed. Používání kamer je často omezeno zhoršenou viditelností v potrubí zapříčiněnou mlhou složenou ze sublimujícího suchého ledu a odstraňovaných nečistot. [3]

2.2.4 Osvětlení

V případě dlouhých potrubí nebo potrubí se zatáčkami nepostačuje k jejich osvětlení světlo vstupující ze vstupního otvoru. Pro takové případy je nutné přídavné osvětlení, které nese robot. Nejčastější je pro osvětlení použití jedné či více LED diod, které poskytnou dostatečnou svítivost. Počet a umístění osvětlení je spojeno s počtem a umístěním kamer. Každá použitá kamera vyžaduje pro použitelný přenášený obraz dostatečné osvětlení snímaného prostoru.

2.2.5 Pohyb

Analyzovaní zástupci čistících robotů používají pro pohyb potrubím různé typy pohybových prostředků. Pokud je robot navrhován pro průjezd hranatým i kruhovým potrubím, jsou pro pojezdový systém vhodné komponenty, které pro kruhová potrubí změní náklon kol či pásů vůči povrchu potrubí a docílí tak maximálního možného kontaktu, a tak i stability a tření.

Vertikální čištění je možné i v případě, kdy to nedovoluje přímo konstrukce pojezdového systému. Ve velkém množství čistěných vertikálních potrubí je možné použít pro vstup do potrubí otvor nacházející se na horním konci potrubí. V takovém případě je možné robota vsadit do nástavce vymezující jeho polohu v potrubí. Robot i s nástavcem je pak potrubím za pomoci lana spouštěn dolů.

KOLA

Konstrukčně nejjednodušším způsobem pro hladký pohyb robota potrubím je použití kol. Minimálním počtem kol jsou kola tři. Malorozměrová kola jsou bezdušová, s plným gumovým povrchem.

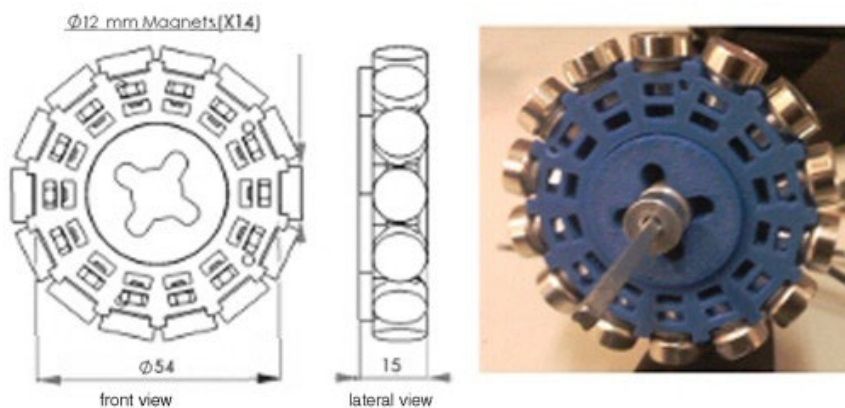
Kola s minimem komponent s sebou nesou malé riziko zanášení nečistotami a s tím související komplikace.

Řízení směru pohybu robota s koly funguje na stejném principu jako u pásového pojezdu, kdy se zpomalením jedné skupiny a zrychlením druhé skupiny kol docílí rotace. Druhou možností je měnit směr natočením kol okolo vertikální osy.

V případě většiny robotů jsou kola poháněna elektromotory, které se narozdíl od pneumatického pohonu snadněji a přesněji ovládají a každé kolo nevyžaduje přívod hadičky vedoucí vzduch.

MAGNETICKÁ KOLA

Magnetická kola dovolují použití robota i pro prudší či vertikální stoupání robota potrubím vyrobeného z feromagnetického materiálu. Základní konstrukční principy magnetických kol jsou umístění množství permanentních magnetů po obvodu kola nebo použití jednoho či více magnetických disků, jejichž obvodová strana přichází do kontaktu s potrubím. Poslední možností je využití kola bez magnetických součástí s magnetem umístěným na těle stroje a nepřicházejícím do kontaktu s potrubím. Magnetická kola lze použít jako pomocná v kombinaci s konstrukčně složitějšími koly typu mecanum nebo omni wheel. [13] [14]



Obr. 2-14 Kola se samostatnými magnety po obvodu. [14]

PÁSY

Pásky mohou být dva umístěné po bocích stroje nebo v počtu od tří výše umístěné po obvodu těla robota.

Použití pásů po obvodu přináší oproti dvěma pásům hlavní výhodu v možnosti pohybovat s robotem jak v horizontálním, tak vertikálním směru. Další výhodou je vycentrované umístění trupu robota v potrubí, což má za následek konstantní čištění povrchu potrubí.

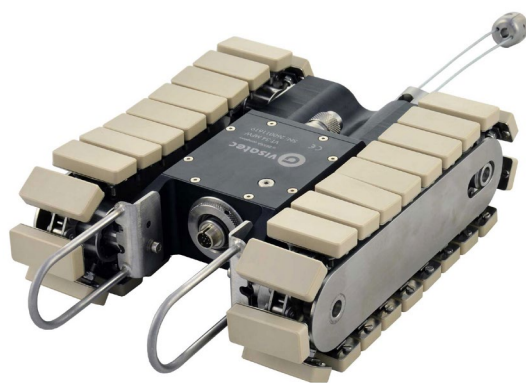
Pro zatočení robota je nutná vzájemná změna rychlosti jednotlivých pásů. V případě dvoupásového robota je pro změnu orientace třeba, aby pohon pásu na straně, kam se má zatočit, zpomalil, zastavil se či se začal otáčet na opačnou stranu.

Nejzákladnější konstrukčním řešením je napnutí smyčky pásu z pružného materiálu přes dvě kola posazená v rozestupu za sebou. Tímto řešením vznikne z bočního pohledu oválný tvar. Jiné tvary, které jsou vhodnější pro překonávání překážek, vzniknou vymezením pásu pomocí většího množství menších či větších kol v různých vzájemných polohách.

Relativně velké množství komponent pásů se může zanášet nečistotami z potrubí. Znečištění může vyvolávat komplikace jako nesprávné fungování nebo rychlejší opotřebování komponent pásu. Je proto důležité množství a složitost komponent co nejvíce snížit či použít adekvátní zakrytování.

MAGNETICKÉ PÁSY

Magnetické pásky stejně jako magnetická kola dovolují robotu překonávat strmá stoupání či vertikální potrubí. Pásky mohou být nemagnetické s vedlejší přítomností magnetu na těle robota. Dalším konstrukčním řešením může být pás jehož celý povrch je tvořen plochami magnetů nebo běžný gumový pás s integrovanými magnety. [15]

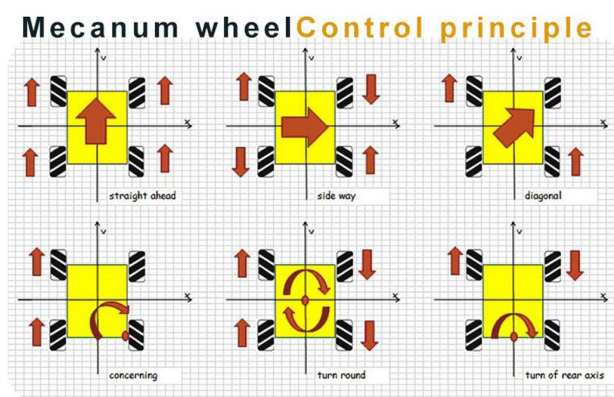


Obr. 2-15 Robot Dekra. [15]

KOLA MECANUM

Kola typu mecanum jsou kola složená z množství po obvodu umístěných válců, které jsou vůči ose rotace samotného kola nakloněné pod úhlem 45° . Samotné válce nejsou poháněné. Stroje využívající pro pohyb tento typ kol nevyužívají zatačení pomocí otáčení některých kol okolo vertikální osy. Změna směru pohybu je řešena rozdílným směrem otáčení kol. Dle vzájemné kombinace směrů otáčení jednotlivých kol se zařízení může při nejběžnějším použití čtyř kol pohybovat z klidu přímo na kteroukoli stranu, rotovat na místě okolo středu stroje, jednoho kola nebo středu spojnice mezi dvěma koly či kombinovat pohyby jízdy a rotace. [16]

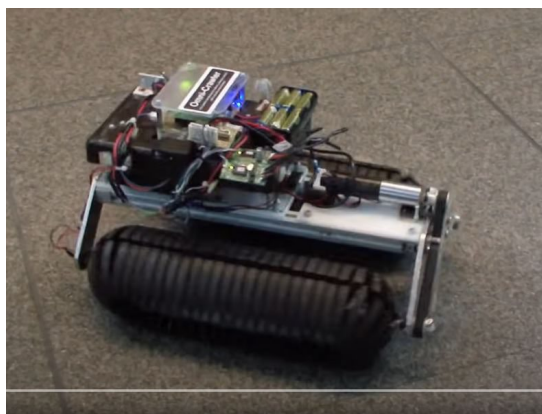
Do kategorie kol podobné konstrukce spadají kola typu omni wheel. Narozdíl od kol mecanum nemají omni wheel pevně daný princip konstrukce. Po obvodu kola se vždy nachází válce s osou otáčení kolmou na osu rotace kola. Válce mohou být v různých počtech umístěné vedle sebe i v několika řadách pod různými úhly pootočení.



Obr. 2-16 Schéma možných pohybů kol mecanum. [16]

OMNI PÁSY

Tento typ pojezdového principu využívá specifické pásy tvaru připomínající válec s maximálními rádiusy. Systém dovoluje rotaci pásů v podobě běžně pozorovatelné u pásových vozidel typu tanku a současně okolo pomyslné osy spojující středy dvou koulí na koncích pásu. Pojezdový mechanismus umožňuje z klidu jízdu do všech horizontálních směrů včetně rotace a kombinace těchto pohybů. [17]



Obr. 2-17 Omni pásový robot. [17]

2.2.6 Potrubí

Čištěné potrubí je primární prostředí, kde se robot bude nacházet. Vlastnosti uvažovaných typů potrubí ovlivňují správné konstrukční řešení robota.

Pro potrubí jsou využívány různé materiály, které splňují požadavky pro ideální vedení dané látky. Mezi nejpoužívanější materiály průmyslových potrubí patří pozinkovaný plech. Typem plechového potrubí je tzv. spiro potrubí, na jehož povrchu se díky falcování nachází spirálovitá drážka. Dalším hojně používaným materiálem pro potrubí jsou plasty, především polypropylen, polyvinylchlorid a polyetylen. Mezi používané materiály dále patří sklolaminát, nerezová ocel, litina, hliník nebo měď. [18] [19] [20] [21]

Cesta potrubí je často konfrontována s okolním prostředím, což má za následek nutné změny směru v horizontální či vertikální rovině, změnu velikosti průměru při ponechání tvaru potrubí nebo transformaci nejen rozměrů ale i tvaru průřezu potrubí. V potrubí se mohou objevovat překážky v podobě šroubového nebo nýtového spojení dvou částí potrubí.

Průjezd zatáčkami potrubí komplikuje vlečená hadice přivádějící stlačený vzduch, jejíž tuhost změnu směru komplikuje.

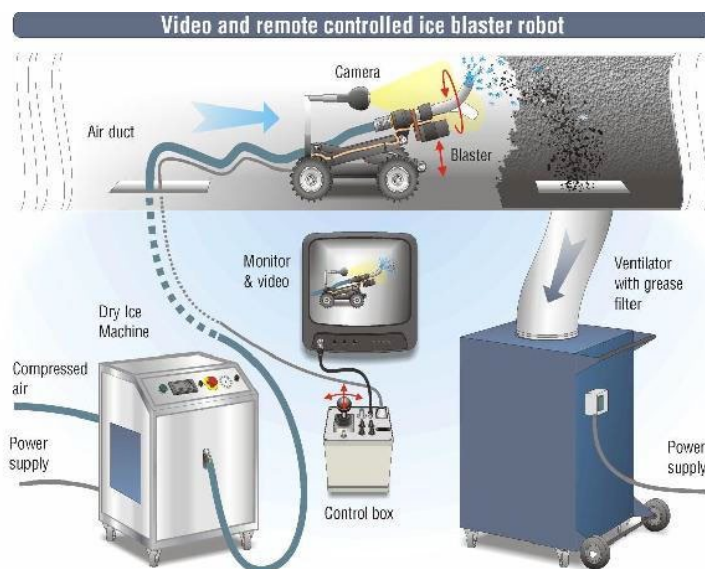
Vstupní otvory do potrubí se mohou nacházet mimo člověkem komfortně dosažitelnou úroveň pro vkládání těžkého břemene, kterým robot obvykle je (váha 10 – 35 kg). Otvor pro vkládání robota je pro uvažovaná potrubí 300 na 400 mm.

2.2.7 Zbavování nečistot

Prvním způsobem, jak zbavit potrubí uvolněných nečistot je integrovaný vysavač umístěný pod trupem robota, který potrubí nečistot zbavuje přímo v okamžiku čištění. Nevýhodou tohoto principu je nutnost další hadice vedoucí do robota, která bude nečistoty vyvádět z potrubí. Takováto hadice ještě více přidá na váze a tuhosti hadice se suchým ledem. [5]

Druhou možností je uvolnění nečistot v prvním kroku a výměna trysky za vysavač s opětovným průjezdem potrubím v kroku druhém. Tento postup zvyšuje časovou náročnost čištění potrubí. [2]

Poslední možností je vytvoření podtlaku za použití otvoru v potrubí, který se nachází před čištěným úsekem, s připojeným ventilátorem nasávajícím nečistoty ven z potrubí. Výhodou je odstraňování nečistot z potrubí současně s jejich uvolňováním z povrchu potrubí. [22]



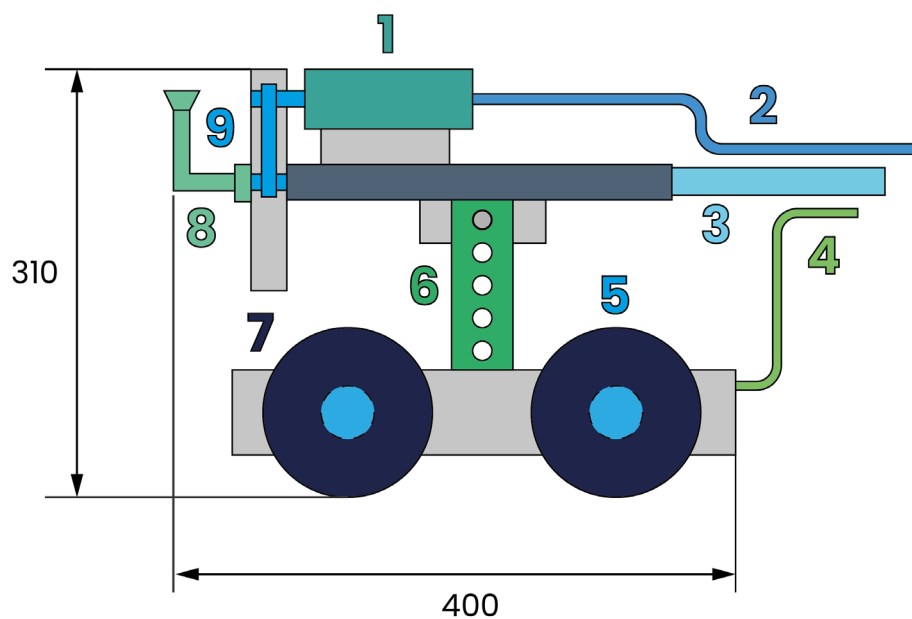
Obr. 2-18 Odvod nečistot z potrubí. [22]

2.2.8 Kabeláž

Ze zadní části robota vede hadice, která přivádí do trysky robota stlačený vzduch s peletami suchého ledu a elektrické dráty pro pohon motorů pojzdového systému, napájení osvětlení, přenos kamerového záznamu a dálkového ovládání komponent.

Tlak v hadici se pohybuje okolo 7 Bar. Průtok vzduchu se suchým ledem hadicí je 3 m³/min. Hadice podstatně komplikuje schopnost robota plynule zatáčet díky její tuhosti. Druhým problémem plynoucím z hadice suchého ledu je její váha 1 kg/m, což vyžaduje schopnost robota pohybovat nejen sám se sebou ale i s hadicí, jejíž hmotnost s rostoucí délkou potrubí výrazně roste.

2.2.9 Schéma Alkion



Obr. 2-19 Schéma komponent robotu C-Rex.

1. Pneumatický nebo elektrický pohon rotace trysky
2. Přívod vzduchu
3. Hadice se suchým ledem
4. Elektrické dráty pro pohon elektromotorů kol
5. Elektromotory pohánějící kola
6. Výškové nastavení trysky
7. Pneumatiky
8. Tryska
9. Převodovka

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Častá složitost tvarů potrubí, kdy se střídají rovné úseky se zatáčkami, změnami průměrů a stoupáními vyvolávají otázku, jak docílit co nejjednoduššího a nejfunkčnějšího způsobu pro projíždění robota odtahy za všech situací. Navíc je nutné uvažovat komplikaci, kterou je nutnost tažení tuhé těžké hadice.

Dalším problémem je chybějící možnost ergonomického uchopení robota člověkem pro přenášení, zvedání a umístování do potrubí, při možné konstrukční komplikovanosti a váze stroje.

Roboti nacházející se na trhu nesou převážně konstrukční vzhled, který nezohledňuje možnost zanešení komponent robota nečistotami odstraňovaných z potrubí a následné čištění robota.

Používání kamer a osvětlení umístěných na robotu sloužících ke sledování putování robota potrubím a jeho řízení může být při čištění určitých typů odtahů znemožněno po zanešení osvětlení a kamer nečistotami uvolněnými z povrchu potrubí stejně tak jako při samotném čištění díky vznikající mlze.

3.2 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše

3.2.1 Designové řešení

Design většiny analyzovaných robotů se odvíjí od tvarů konstrukčních částí. Podrobnějšímu tvarování strojů z estetického hlediska nebyla výrobci věnována větší pozornost. Hlavním důvodem tohoto přístupu může být dojem, že zařízení, které se velkou část svého pracovního času nachází v potrubí, je skryto lidským očím a pokud ne tak je pokryto vrstvou nečistot nebo se nachází v technicistním prostředí, které na vzhled neklade nároky. V případě robotů Jetty v čistě konstrukčním řešení nelze pozorovat z estetické stránky větší problém. Jednoduché tvarování s komponentami nacházejícími se okolo válce v jedné dominující barevnosti působí velmi čistě, futuristicky a zároveň patřičně k prostředí, ve kterém robot pracuje. U většiny ostatních robotů podoba není tvarově, materiálově ani barevně sjednocená a konstrukční řešení nepřináší mnoho výhod.

Válcovitá těla robotů Jetty a C-Rex spolu s čelní kruhovitou stranou působí adekvátně vzhledem k rotačnímu pohybu trysky vycházející ze středu těchto trupů.

Větší důraz na design by robotům prospěl, nejen s ohledem na estetiku, ale i snadnější údržbu a ergonomii. Tvarově složitá řešení robotů nedovolují snadné čištění nečistot usazených v úzkých prostorech a spárách.

S výjimkou jednoho analyzovaného robota u ostatních není řešen kontakt člověka s robotem při manipulaci, zvedání a vkládání či vyndávání do potrubí. Chybějící možnost pohodlně uchopit robota s ohledem na váhu, která se nejčastěji pohybuje přibližně od 10 kg do 30 kg, a s ohledem na typ manipulace je pro obsluhu znatelnou komplikací při práci s robotem.

Vstupní otvory do potrubí se nejčastěji nachází z boku nebo z průřezu. Běžná je i nutnost zvednutí robota člověkem nad úroveň hlavy. Je nutné při navrhování počítat s oběma variantami vkládání do potrubí i při maximální výšce zvedání člověkem.

Velkou hmotnost robota je možné kompenzovat modulárním řešením, kdy je robot rozložený na více lehčích částí, které se snadněji vkládají do potrubí a kde jsou následně kompletovány v celek.

3.2.2 Technické řešení

POJEZDOVÝ SYSTÉM

Volba pojezdového systému se odvíjí především od požadovaných schopností od robota. Závisí na očekávání od robota. Zda se očekává průjezd pouze úseky s minimálním stoupáním, výraznějším stoupáním, jízda vertikálním potrubím za pomoci lana nebo samostatná jízda vertikálním potrubím.

Současné systémy dovolující samostatnou prostupnost kterýmkoliv typem potrubí mají na rozdíl od ostatních druhů robotů komplikovanou konstrukci, což vyvolává podstatně vyšší hmotnost, vyšší náklady na výrobu nebo větší množství komponent zanesitelných nečistotami nebo potenciálně větší množství poruch.

Naopak pojezdová řešení, která sama o sobě dovolují průjezd maximálně do sklonu v menších desítkách stupňů jsou konstrukčně jednodušší, levnější, snadnější na údržbu a v kombinaci s přidaným lanem a nástavcem vymezující polohu robota v potrubí je možné ve vertikálním potrubí s vrchním přístupovým otvorem spouštět a povrch potrubí čistit podobně jako při použití robota pohybující ho se vertikálně samostatně.

Maximální stoupací či klesací úhly robota lze ve feromagnetických potrubích zvýšit použitím magnetů. Je otázkou, zda by bylo použití magnetů možné jako řešení samostatného vertikálního stoupání robota po magnetickém povrchu při součtu váhy samotného robota s váhou hadice, kterou za sebou robot táhne. Udržení robota i s proměnnou délkou hadice v klidu ve vertikálním potrubí by za použití silných nedymových magnetů možné bylo, problém by mohl být hladké překonání této magnetické síly použitými motory. [23]

Ze všech analyzovaných možností pro pohyb robota jednoznačně pro použití vypadávají všechny kola nebo pásy typu mecanum či omni. Tento typ může najít využití u robotů používající k čištění mechanické kartáče, kdy se pojížděním robota do stran docílí bližšího kontaktu kartáče s potrubím, ovšem při čištění suchým ledem, kdy suchý led dopadá do různě vzdálených míst, schopnost robota vykonávat z místa pohybu do všech směrů nepřináší kromě vyhýbání překážkám větší výhody, ale spíše komplikace se zanášením pohyblivých komponent, ze kterých se kola nebo pásy skládají.

Nejjednodušší je pro pohyb použití 4 kol, které při dostatečné velikosti a podhuštění přicházejí s povrchem do dostatečného kontaktu. Konstrukčně složitější je použití dvou pásů. Při využití konstrukce, kterou používají tanky, je umožněno snadné čištění pásů a překonávání drobných překážek (šrouby, nýty, jiné spoje) bez výkyvu robota.

OSVĚTLENÍ A KAMERY

Použití kamery se jeví jako samozřejmá možnost pro operátorovu představu o stavu potrubí před robotem a jako nástroj pro správné vedení robota potrubím. Kamera je bezproblémově využitelná pro inspekci potrubí, ovšem pro orientaci při samotném čištění není její využití vždy stoprocentní, díky mlze kombinující páru sublimujícího suchého ledu a prach z odstraňovaných nečistot, která velmi snižuje viditelnost. Je pravděpodobné, že v blízké době se spolu s vývojem autonomních vozidel budou rozvíjet i technologie dovolující předávat informace o podobě prostředí, které je pro běžné kamery či senzory skryto v těžko proniknutelné mlze. U zmiňovaných automobilů jsou to situace, kdy se nachází v husté mlze, dešti nebo sněžení. Ale i v případě, kdy se operátorovi dostane čitelný obraz prostředí před robotem, stále je třeba řešit problém zanesení samotných čoček či zakrytování senzorů. Čištění je třeba řešit i u osvětlení vhodného pro ovládání bez kamery i s kamerou.

3.3 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout robotický čistič průmyslových odtahů využívající technologii tryskání suchým ledem, který přinese řešení přinejmenším na některé z následujících požadavků s ohledem na estetické působení zařízení.

Seznam cílů:

- Řešení umožňující snadný úchop, pohodlnou manipulaci s robotem a jeho vkládání do potrubí
- Vzhled v souladu s technickým řešením
- Schopnost robota překonávat strmá stoupání
- Schopnost robota pohybovat se vertikálně
- Řešení pro snadné čištění
- Ochrana snadno znečistitelných součástí

- Odolné konstrukční řešení
- Zamezení zanešení kamery a osvětlení nečistotami uvolněnými při čištění, zlepšení viditelnosti skrze mlhu sublimujícího suchého ledu a nečistot
- Kompatibilita tvaru trupu robota s rotačním pohybem trysky
- Univerzální možnost centrovat polohu trysky vzhledem ke stěnám potrubí
- Modularita

3.4 Cílová skupina

Cílovou skupinou robotického čističe je primárně firma Alkion neboli zaměstnanci, kteří budou robota obsluhovat. Obsluhou jsou dospělé osoby schopni pohybovat s těžšími břemeny.

Očekávání obsluhy je práce se zařízením, které se bude ovládat přímočaře, bude přiměřené váhy, ergonomicky uzpůsobené přenášení či zvedání a očistitelné od nečistot za co nejkratší dobu s vynaložením co nejmenšího úsilí.

3.5 Základní parametry a legislativní omezení

Velikost robota omezuje velikost vstupního otvoru potrubí s rozměry 300 na 400 mm.

Maximální povolená hmotnost břemene pro časté přenášení a zvedání je pro muže 30 kg a pro ženu 15 kg. Při občasné přenášení a zvedání břemene jsou možné maximální hmotnosti pro muže 50 kg a pro ženy 20 kg. Hmotnost JettyRobot 6 je bez hadice a kabelu 35 kg, což vylučuje ženy z možnosti obsluhovat robota a mužům dovoluje s robotem manipulovat jen občasně.

Další legislativní omezení se týkají použití elektromotorů, pneumatik případně hydrauliky. Ty nejsou ale vzhledem k obecnému navrhování podoby podstatné.

Od robota se vyžaduje schopnost projíždět a čistit kruhová potrubí s průměrem 400 až 800 mm a hranatá 400 na 400 mm do 700 na 700 mm. [24]

3.6 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

3.6.1 Použité výrobní technologie

Vzhledem k uvažovanému menšímu počtu vyrobených kusů přichází v úvahu především cenově nízko nákladové technologie (absence sériové výroby). Při potřebě lehkých komponent nebo zakrytování robota přichází vhod některá z metod 3D tisku s případnou povrchovou úpravou. Díly vyžadující vyšší pevnost je možné vyrobit obráběním nebo jiným upravením některých z předem vyrobených kovových prvků.

3.6.2 Možný trh

Navržený robot by teoreticky našel uplatnění pouze jako součást zařízení sloužících k přímému vykonávání zakázek firmou nebo by se licenčně poskytoval i ostatním zájemcům. Trhem jsou v každém případě firmy zabývající se čištěním vzduchotechniky či jiným typem potrubí.

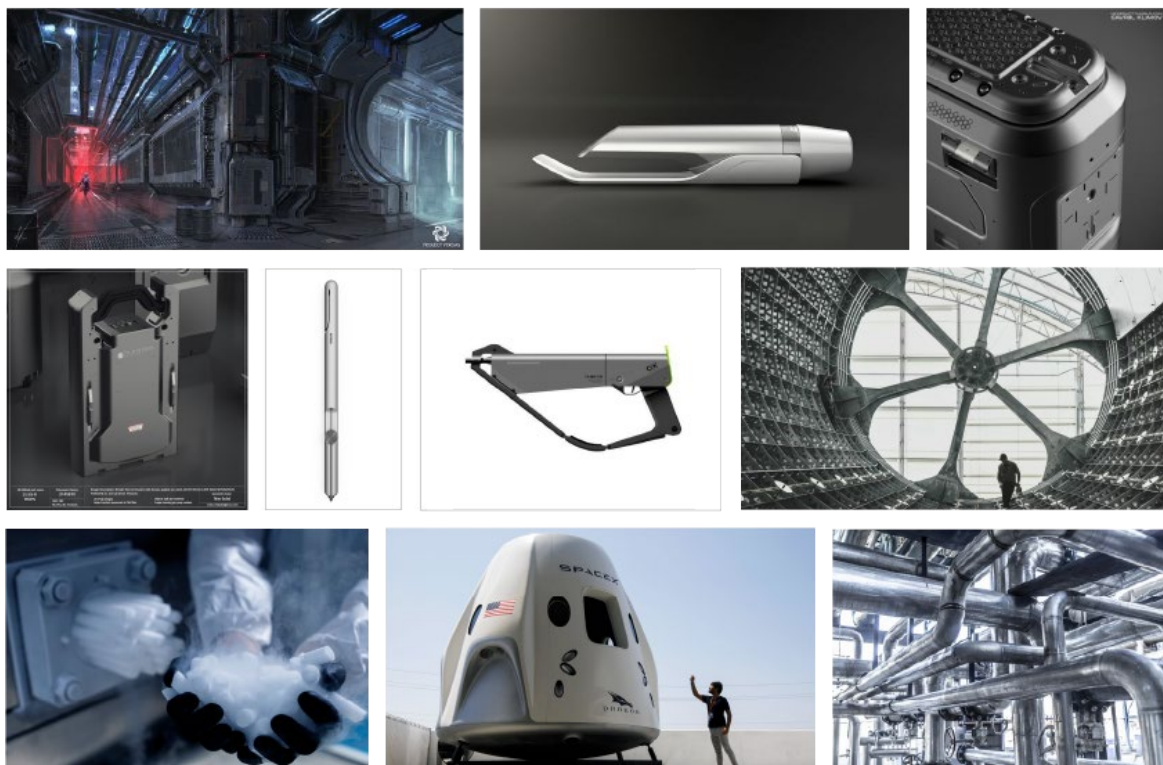
3.6.3 Cena

Ceny analyzovaných produktů se pohybují na široké škále. Prodejní cena robotů využívající pouze mechanické čištění se pohybuje okolo stotísic Kč, cena robotů využívající suchý led, například řady Jetty, se pohybuje přibližně od jednoho do třech mil. Kč. Vysoká cena je zapříčiněná kusovou výrobou v malých počtech nepodporující automatizaci.

4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

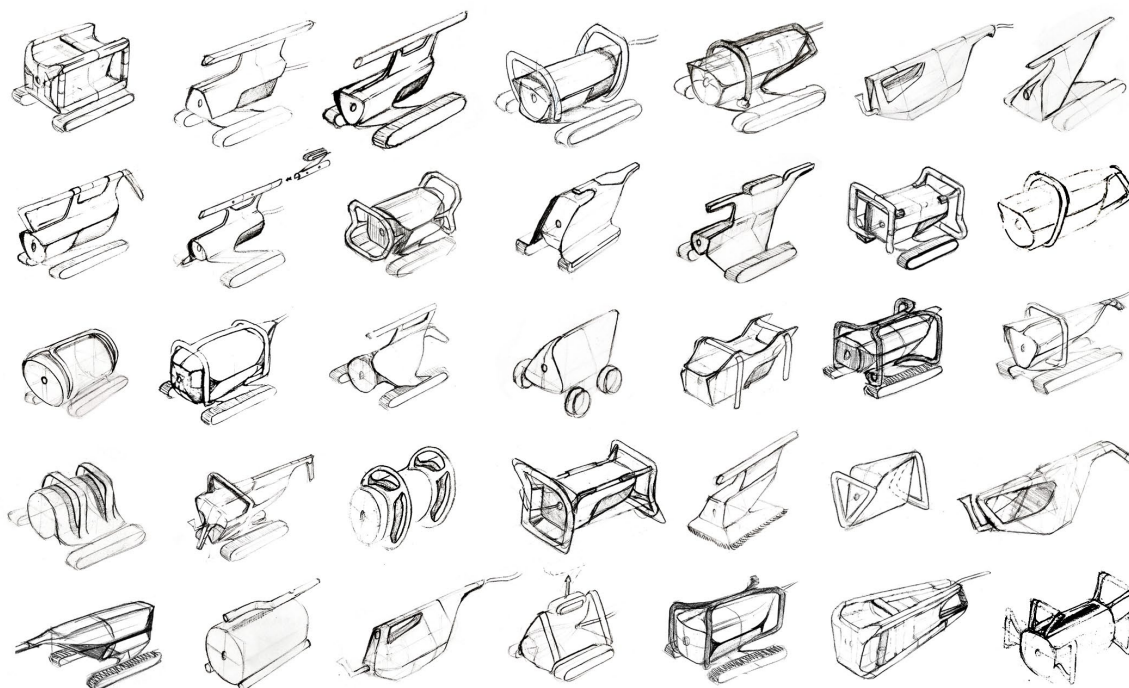
4.1 Inspirační zdroje

Obrázky, ze kterých se skládá inspirační koláž, spojuje futuristické působení, moderní technologie nebo tvarová čistota.



Obr. 2- 1 Inspirační koláž. [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33]

4.2 Varianty



Obr. 4-1 Soubor vybraných skic.

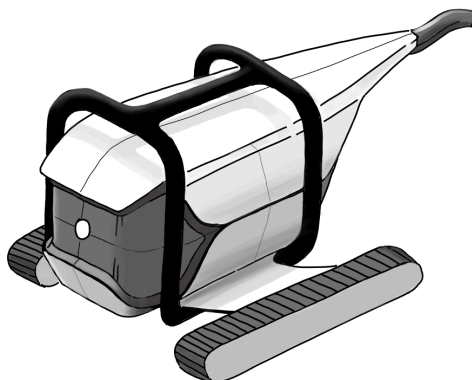
Níže popisovaná variantní řešení jsou navrhována se snahou o co nejsnadnější konstrukční řešení, které umožní jednoduchou výrobu a údržbu. Žádná z variant není kvůli jednoduchosti konstrukčně uzpůsobena pro samostatný pohyb ve vertikálním směru potrubím. Tento zdánlivý nedostatek je alespoň částečně kompenzován možností přichytit k robotu třetí nohu při potřebě čištění vertikálních potrubí. Při takovémto čištění je robot po laně spuštěn horním otvorem dolů a přídatná třetí noha vymezuje robotovu polohu v potrubí.

Za pohybový prostředek byly zvolené pásy, díky jejich velké ploše, která zvyšuje tření mezi pásy a potrubím. Díky tření se zvyšují i úhly náklonu, které dokáže robot překonat.

Všechny tři varianty dále spojuje použití jednoduše ohýbaného plechu spolu s kontrastními částmi z plastu.

Odlišnosti ve variantách lze nalézt především v ergonomickém řešení, které zároveň i udává směr zbylému tvarování.

4.2.1 Varianta 1.



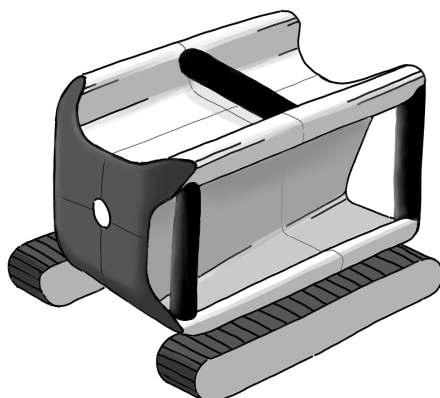
Obr. 4-2 Varianta 1.

Ergonomie úchopu první varianty je řešena pomocí ohýbaných trubek, které vytvářejí čtyři místa k úchopu po bocích robota a svým spojením i jednu podélnou možnost chycení na horní straně. Při vkládání robota do potrubí přes boční otvor se předpokládá uchopení dvou navzájem diagonálních madel z boku robota, při vkládání do potrubí skrze průřez se uchopí opět vzájemně diagonálně protilehlá madla ovšem ze zadní strany robota.

Tvar trupu následuje tvar oblého čtverce, který vytvářejí trubky. Směr pohybu robota naznačuje ostře zkosená zadní část, jejíž konec plynule ústí do vedené kabeláže. Boky robota ozvláštňují dva cípovitě zářezy tvořené zúženou délkou plechů. Cípy propojuje linka. Přední část stroje se směrem k trysce zužuje. Dvě strany zúžení překrývá ohnutý plech dodávající robotu výraz. Spodnější plech z boku ohnutím vytváří plynulé spojení trupu robota s jeho pásy.

Podélná trubka nad horní stranou umožňuje nejen uchopit robota jednou rukou pro přenášení, ale i dodatečnou instalaci vymežovacího třetího pásu.

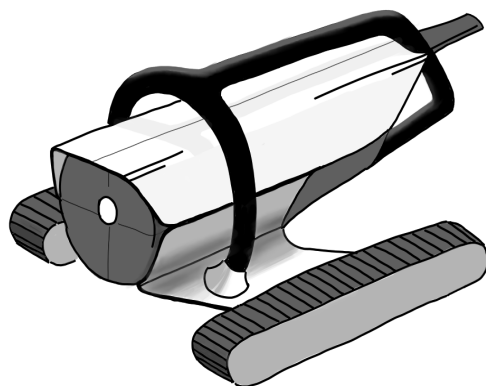
4.2.2 Varianta 2.



Obr. 4-3 Varianta 2.

Varianta číslo dva využívá pro úchop a vkládání robota do potrubí stejný konstrukční princip jako varianta 1, s tou výjimkou, že zde jsou namísto zohýbaných trubek použita jednotlivá madla vsazená do prostorů vymezených samotným tvarováním trupu robota. Tělo robota má čtvercovitý tvar se čtyřmi vystouplými hranami. Vzájemné směřování vystouplých hran se směrem dozadu nemění, hmota mezi hranami se ovšem směrem v zad zmenšuje za účelem nabourat těžkopádné a krabicovité působení. Toto působení potlačují i výrazná zaoblení hran. Čelní strana je odlehčena zaoblenými vystouplými hranami. Uprostřed horní strany se nachází madlo pro jednoruční přenášení. Robot je po celém obvodu obalen zohýbaným plechem.

4.2.3 Varianta 3.



Obr. 4-4 Varianta 3.

Poslední varianta využívá k uchopení a vkládání do odtahů systém s redukovanými možnostmi uchopení. Možnosti uchopení z každé strany ve přední části zůstávají, ovšem v zadní části se nachází pouze jedna, a to madlo ležící na podélné ose a naklopné vrchem směrem dopředu. Spojením předního madla a toho zadního vzniká část pro jednoruční přenášení. Kruhový tvar předního madla dovoluje široké možnosti uchopení po celém obvodu.

Zadní část robota je odlehčena zkosením jak zezadu, tak ze spodu a částečně chybějící plechovou slupkou, což vede k odhalení nevýrazné tmavé plastové části.

Válcovitost trupu je narušena zploštělou vrchní stranou. Zploštění znamená více místa pro uchopování podélné tyče nebo je vhodné pro instalaci třetí nohy.

Čelo robota je kryto malým kšiltem z protaženého plechu, který má za cíl alespoň nepatrně přispět ochraně osvětlení či kamer proti zanešení padajícími nečistotami.

5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Finální tvarové řešení navazuje na variantu č. 3. Tvar trupu robota vychází z komolého kuželu se zkosenou částí pláště. Tento jehlan je ze spodní části vykrojený a hrany vzniklé po vykrojení se sbíhají směrem dolů a tvoří černou část sloužící k výškové nastavitelnosti. Zbytek po vykrojení jehlanu je kovový plášť robota, jehož horní konce vyčnívají a s otvory slouží jako madla. Trup robota se směrem dozadu zužuje, což je jeden z důvodů dynamického působení. Barevné a tvarové rozdělení trupu tělo robota vizuálně odlehčuje.

Čelní strana má kruhový tvar, který vychází z rotačního pohybu trysky, která je umístěná ve středu čela. Tmavá část trupu se z kruhového průřezu směrem dozadu zužuje kvůli potřebě malé šířky trupu v oblasti spojení trupu s nohama pomocí spojovací hřídele.

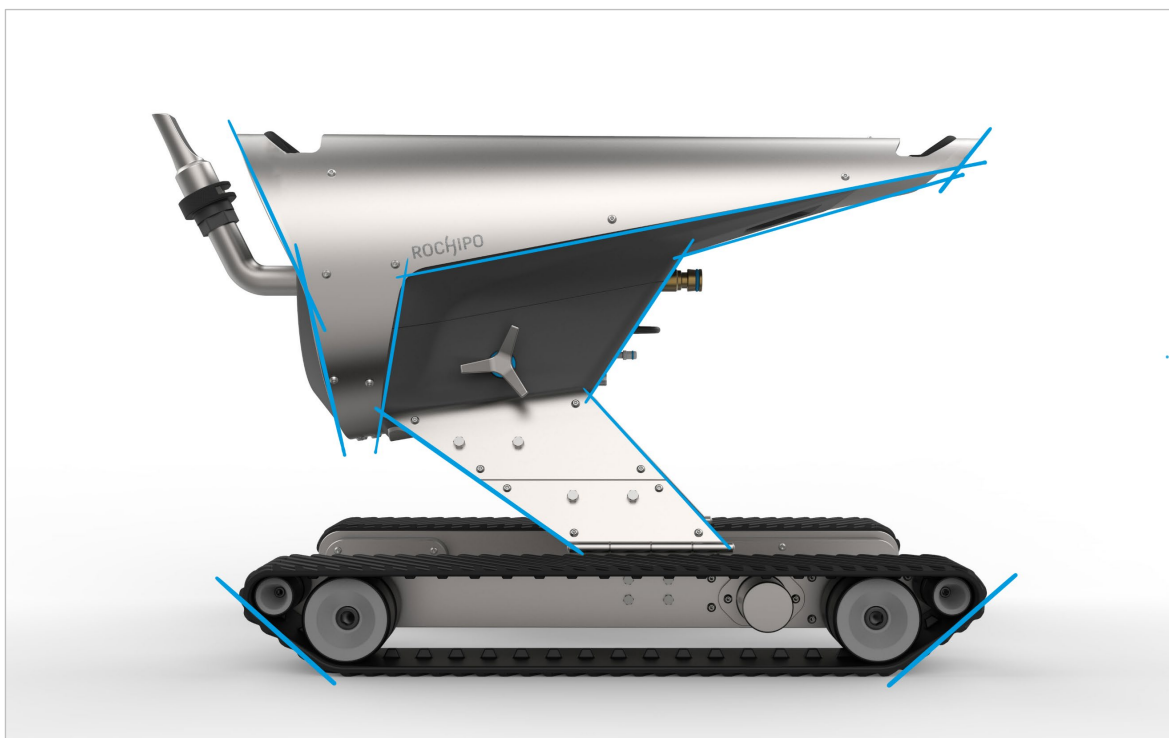
Při bočním pohledu se pomyslné linky černé spodní části trupu lámou směrem dozadu a pokračují dolů v definování tvaru nohou. Nohy jsou tvořeny dvěma ohýbanými plechy, mezi nimiž je černá plastová kontrastní část. Nohy se na konci spojují s pásy, jejichž konce při bočním pohledu sledují tvar zkosení převisů plechové části trupu. Šikmý vzorek pásů vychází z celkového dopředného směřování stroje. Linie definující tvar robota celkově působí dynamicky a naznačují, který směr je pro pohyb robota hlavní.

Osvětlení na přední straně sleduje kruhový tvar průřezu trupu a může připomínat oči. Zadní osvětlení je tvarováno odlišně podle prostoru vymezeným plechovým pláštěm. Boční strany krytu osvětlení na zadní straně a krytu kamery se senzory na obou stranách jsou definovány protažením boční linie nohou při pohledu zepředu či zezadu.

Funkční a zároveň dekorativní jsou utahovací kolečka. Trojramenná kolečka ožívají svým vystupováním do prostoru jinak ploché tvarové řešení.



Obr. 5-1 Perspektivní pohled.



Obr. 5-2 Základní linie.



Obr. 5-3 Perspektivní pohled zezadu.

6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

6.1 Popis

6.1.1 Modulární řešení

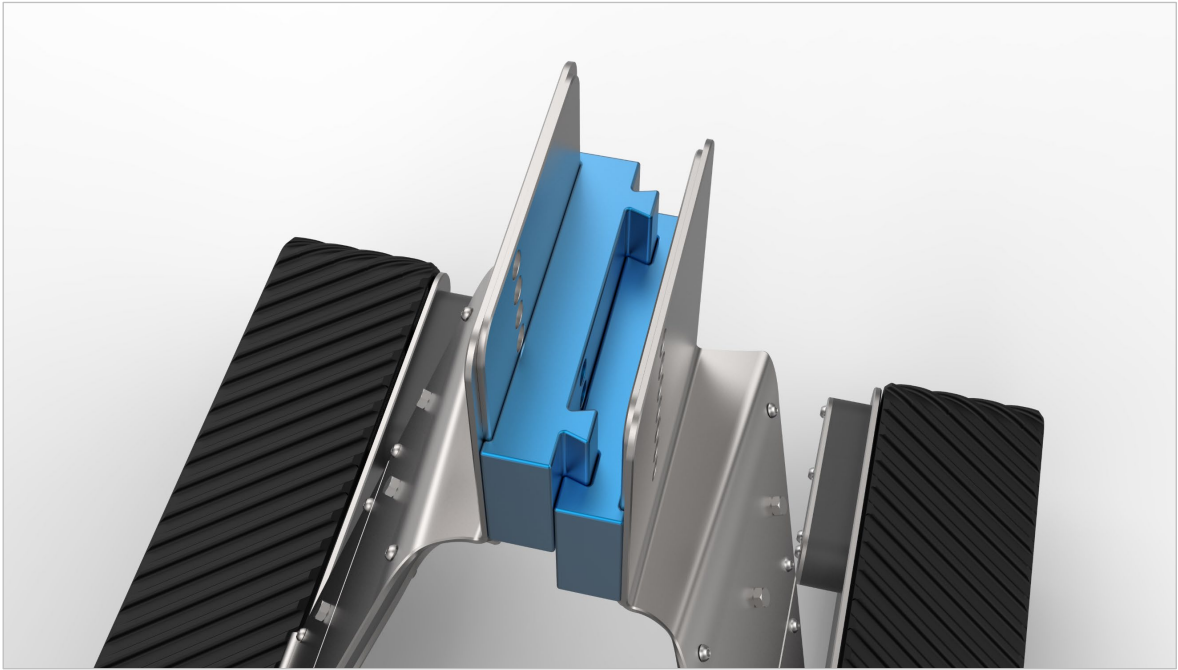
Z důvodu omezené velikosti vstupního otvoru do potrubí a snahy snížit váhu, kterou je obsluha povinna vynést, byla zvolena modulární konstrukce. Robot se skládá ze dvou noh a trupu.

Nejprve se do potrubí postupně vloží obě nohy s pásy. Nohy se následně spojí pomocí vzájemného zasunutí do drážek. Poloha nohou se vůči sobě pojistně zafixuje integrovanými neodvymými magnety.

Následně se na spojení noh nasune trup robota, ponechá se v základní poloze nebo se pozvedne a jeho poloha se zafixuje kolíkem s utahovacími kolečky.



Obr. 6-1 Robot rozložený na části.



Obr. 6-2 Spojení nohou.



Obr. 6-3 Magnety na drážkách.

6.1.2 Díly trupu

Trup robota se skládá ze čtyř hlavních dílů tvořících povrch, které je možné při potřebě rozdělit a získat přístup k vnitřním komponentám. Mezi díly patří kruhová čelní strana, plechový plášť, spodní polovina zužující se plastové části a její horní polovina. Plastová zužující se část trupu je rozdělena plochou rovnoběžnou s liniemi plechového pláště pod logem na boku.

6.1.3 Vertikální pohyb

Jednoduchost finálního konstrukčního řešení nedovoluje robotu samostatně projíždět vertikálními či strmými úseky potrubí.

Robot je ovšem připraven pro spouštění vertikálním potrubím za pomoci přidavné nohy a spouštěcího lana. Třetí nohu, která by v případě spouštění robota pomáhala centrovat polohu trysky vůči stěnám potrubí, je možné uchytit pomocí šroubů do předpřipravených závitových děr na horní straně trupu v okolí vyjíždějícího madla. Spouštěcí lano je možné uchytit k oku nacházejícímu se na zadní straně trupu u přívodu suchého ledu, stlačeného vzduchu a elektřiny.

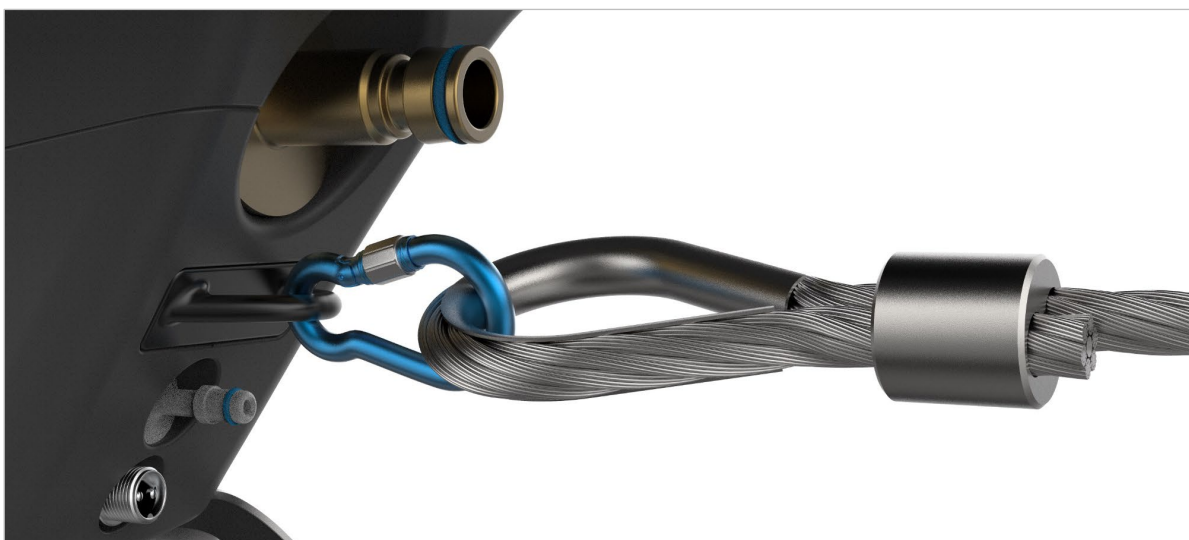
Druhá funkce oka na zadní straně trupu je možnost připoutání kabelů a hadic, u kterých by při pohybu robota mohlo hrozit vytržení z konektorů a spojek.



Obr. 6-4 Třetí noha a lano.



Obr. 6-5 Detail třetí nohy.

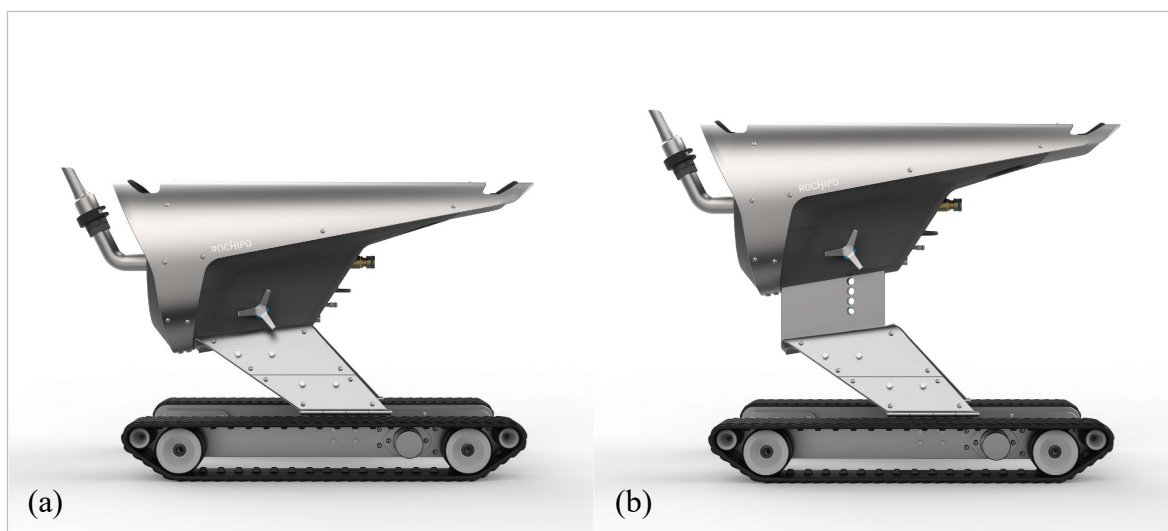


Obr. 6-6 Uchycení spouštěcího lana.

6.1.4 Výšková nastavitelnost

Od robota se vyžaduje schopnost čistit potrubí o různých rozměrech. Ideálního čištění je docíleno, pokud se osa, okolo které tryska rotuje, nachází ve středu potrubí.

Výška trupu se reguluje zvedáním či spouštěním trupu podél plechů vycházejících z nohou. Poloha se aretuje pomocí kolíku procházejícím jak trupem robota, tak některým z otvorů v nohách dle požadovaného nastavení. Kolík se zajišťuje pomocí tříramenných utahovacích koleček.



Obr. 6-7 Výška trupu; (a) minimální, (b) maximální.

6.1.5 Roztažitelnost nohou

Ze spodní části každé nohy se nachází dva ocelové pásy tvořící paralelogram. Ten umožňuje oddalování jedné poloviny nohy spolu s pásem od druhé poloviny při zachování rovnoběžnosti pásu s osou robota. Oddálení pásů zvyšuje stabilitu robota a díky náklonu paralelogramu se zvyšuje i výška robota. Ocelové pásy je možné dle potřeby vyměnit za delší. Oddalování pásů od trupu robota spolu s třetí přídavnou nohou dokáže robota vycentrovat a stabilizovat v potrubí při vertikálním spouštění.



Obr. 6-8 Roztažené nohy s nejkratšími pásy paralelogramu.



Obr. 6-9 Ocelové pásy paralelogramu.

6.1.6 Náklon pásů

Od robota se očekává projíždění potrubím o hranatých i kruhových průřezech. Při průjezdu hranatým potrubím mohou pásy zůstat v základní poloze, ovšem v kruhovém potrubí by ponechání pásů v základní poloze omezilo kontakt povrchu potrubí s pásy a mohlo způsobit špatnou manévrovatelnost, stabilitu nebo prokluzování pásů. Řešením je možnost nastavení úhlu pásu vůči potrubí. Pásy a nohy spojuje pant, který natáčení umožňuje. Přesné nastavení úhlu a jeho aretace je řešena skrze mechanismus skrytý pod nohou. Aktuální náklon ve stupních lze přibližně odečíst ze zářezů na přední straně rotačního mechanismu.



Obr. 6-10 Natáčecí mechanismus.



Obr. 6-11 Natočené pásy pro kruhová potrubí.

6.1.7 Monitorování okolí

Sestava pro monitorování prostředí okolo robota je složená ze standartní kamery a zařízení fungujícím na principu lidarů, které bude pravděpodobně v blízké budoucnosti schopno vytvářet počítačový obraz potrubí i skrze mlhu a prach. Standartní kamera nemusí být díky směsi mlhy a nečistot pro orientaci v prostoru dostatečná, může ale sloužit pro zpáteční cestu nebo inspekci potrubí před samotným čištěním.

Kamery a senzory jsou kryty plexisklem a vůči okolním plochám zapuštěny, aby vznikl prostor pro umístění trysek, které při čištění skla očišťují.



Obr. 6-12 Přední kamera se senzory.

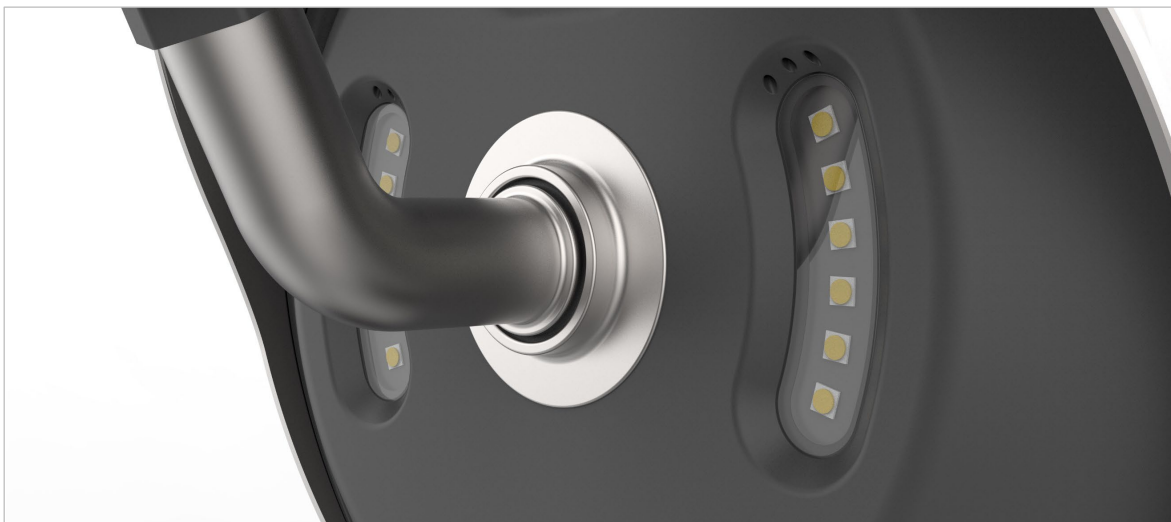


Obr. 6-13 Zadní kamera se senzory.

6.1.8 Osvětlení

Na čelní straně se nacházejí dva zaoblené pruhy, ve kterých se nachází LED diody. Osvětlení je vůči vedlejším povrchům zapuštěné. LED diody jsou kryté plexisklem. Tvar dvou osvětlovacích pruhů kopíruje kruhový tvar čelní strany.

Osvětlení na zadní straně je stejně jako na přední tvořeno řadou LED diod krytých plexisklem a je zapuštěné. Tvar zadního osvětlení vychází z obrysu plechového převisu madla.



Obr. 6-14 Přední osvětlení.



Obr. 6-15 Zadní osvětlení.



Obr. 6-16 Rozsvícená přední světla.

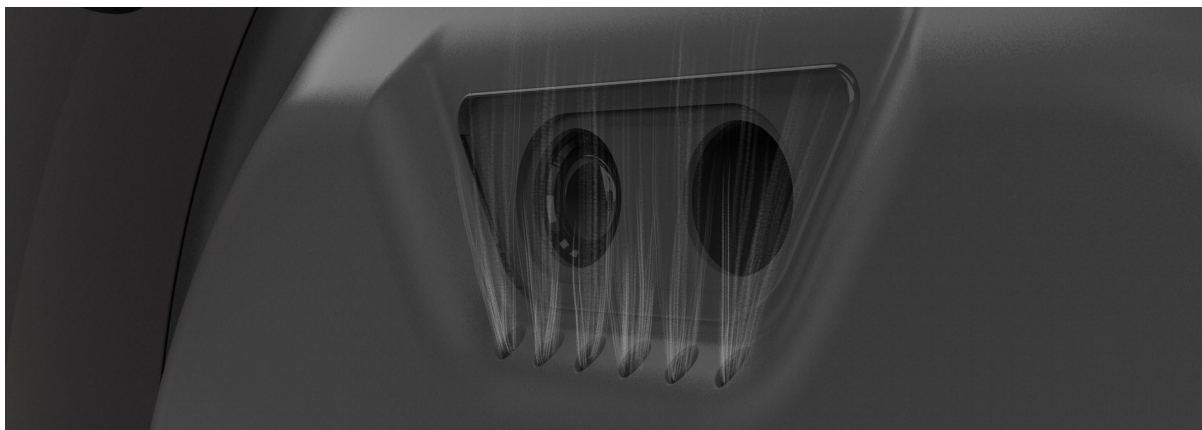


Obr. 6-17 Rozsvícená zadní světla.

6.1.9 Ofukování světel a kamery

Z důvodu zabránění usazování nečistot na sklech osvětlení a kamer se senzory, jsou v jejich okolí umístěny trysky vzduchu, které při čištění skla ofukují.

Jelikož robot používá pneumatický pohon pro rotaci trysky se suchým ledem, není pro vzduchové očišťování nutný zvláštní přívod stlačeného vzduchu.



Obr. 6-18 Ofukování ochranných skel.

6.1.10 Připojení hadic a elektrických kabelů

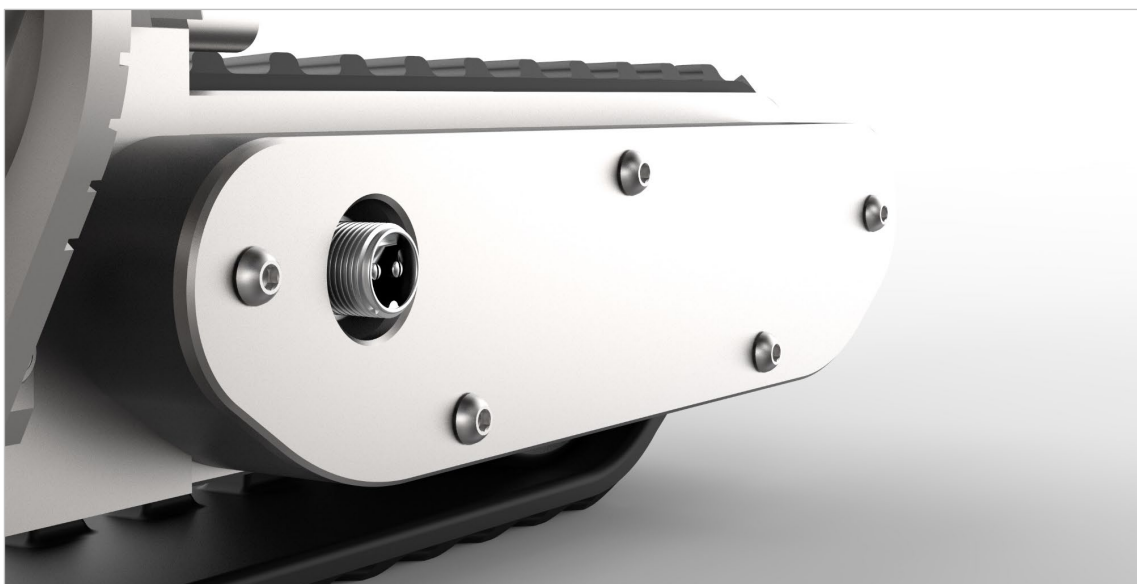
Hadice suchého ledu se připojuje v zadní části pomocí rychlospojky umístěné na hadici.

Přívod suchého vzduchu se připojuje opět pomocí rychlospojky. Hadice je umístěná pod hadicí suchého ledu.

Přívod elektrické energie se před koncem robota dělí na tři dráty, z nichž jeden vede do konektoru ve spodní zadní části trupu robota (obsluha kamer, senzorů, osvětlení) a další dva kabely vedou vždy k jednomu z elektromotorů. Části kabelů vedoucích k elektromotorům jsou stočené do spirály, aby byla umožněna změna délky kabelů při změně vzdálenosti pásů od trupu robota například při prodlužování nohou nebo zvětšení výšky trupu robota od povrchu potrubí.



Obr. 6-19 Připojení hadic a elektřiny.



Obr. 6-20 Konektor k elektromotoru.

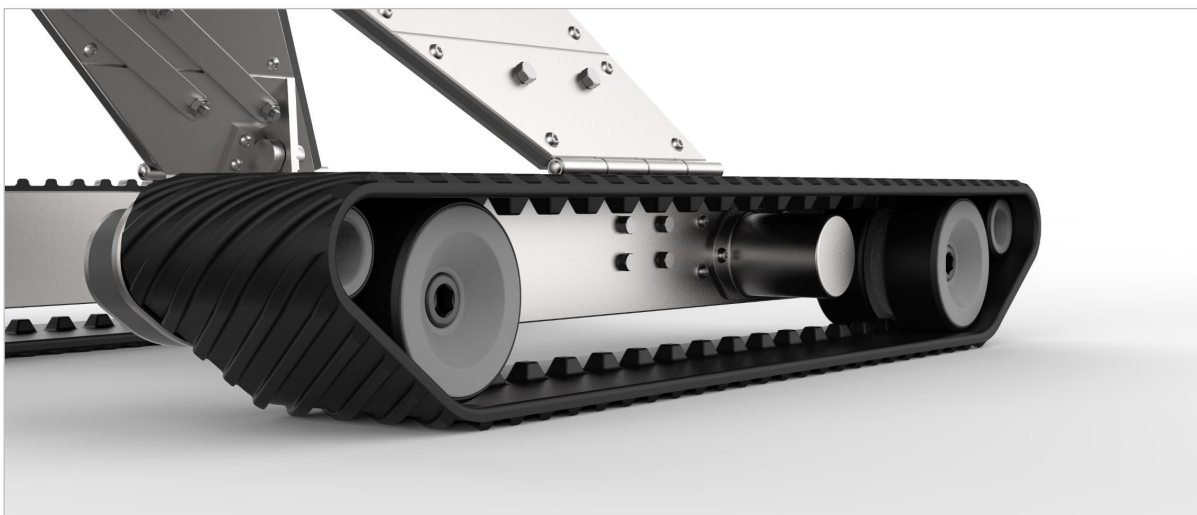
6.1.11 Pásy

Pro pohyb robota potrubím slouží dva pásy po stranách robota. Na povrchu pásu se nachází šikmý vzorek. Pás je vymezen čtyřmi koly – dvěma velkými a dvěma malými koly vymežujícími tvar. Tvar pásů při bočním pohledu navazuje na teoretické linie horního zkosení plechového pláště trupu. Skosení konců pásu není jen estetické, ale dovoluje také snadnější překonávání překážek, kterými mohou být konce šroubů nebo nýty. Sklouzávání pásu z kol zabraňují výběžky z vnitřní strany, které zapadají do drážek kol.

Pás je uváděn do pohybu elektromotorem umístěným vedle zadního velkého kola. Energie motoru se přenáší na kolo převodovkou umístěnou na druhé straně plechu, který komponenty pásů spojuje.

Pásy a všechna kola lze odejmout a velká kola nahradit pneumatikami.

Přední malé kolo je možné jednoduše odšroubovat, uvolnit tak napětí v pásu, pás vyndat z vodících drážek na zbylých kolech a získat tak snadný přístup ke komponentám pásu při čištění.



Obr. 6-21 Pásy (uprostřed elektromotor).



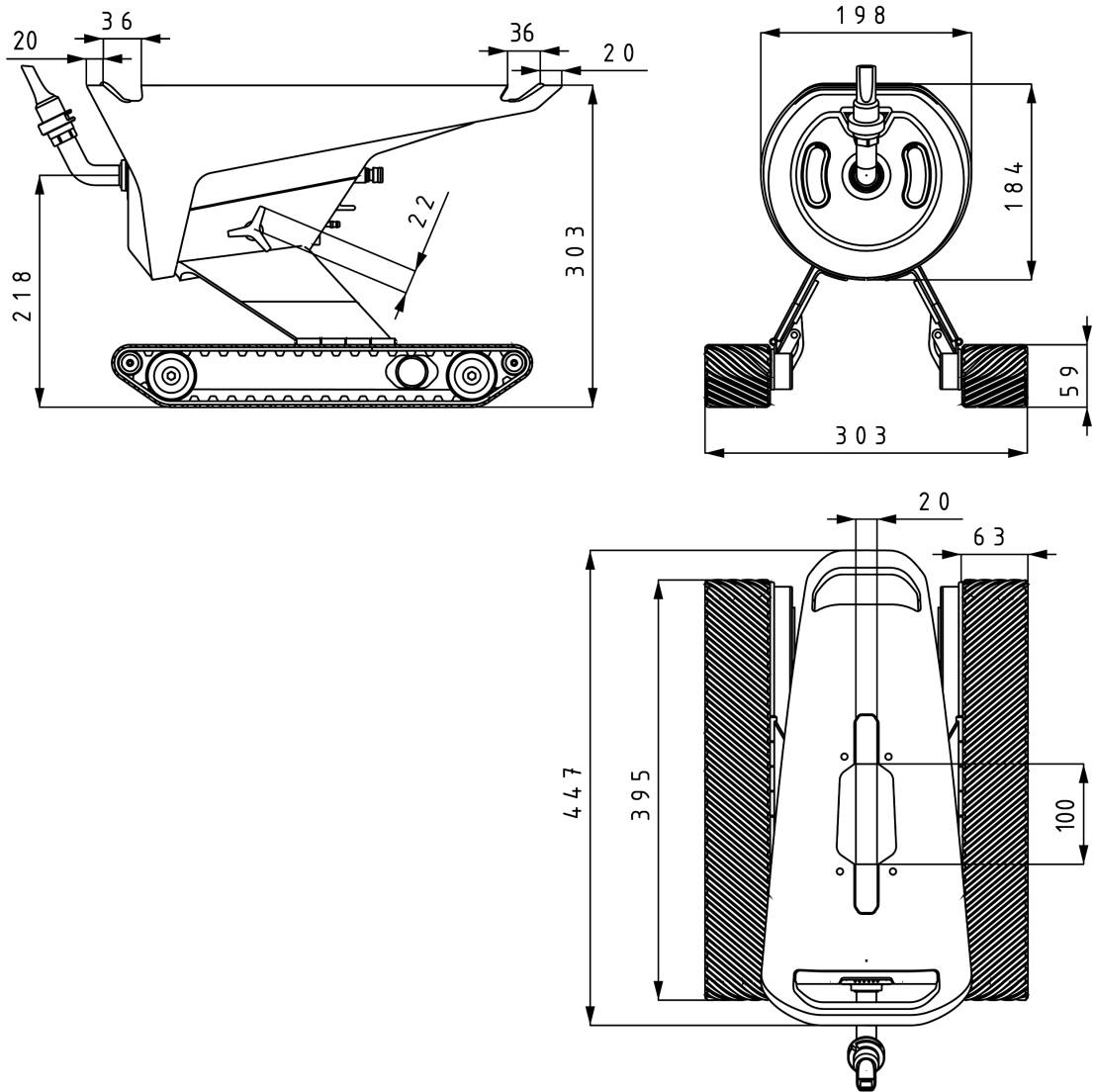
Obr. 6-22 Kryt převodovky.



Obr. 6-23 Nahrazení pásů koly.

6.2 Rozměrové řešení

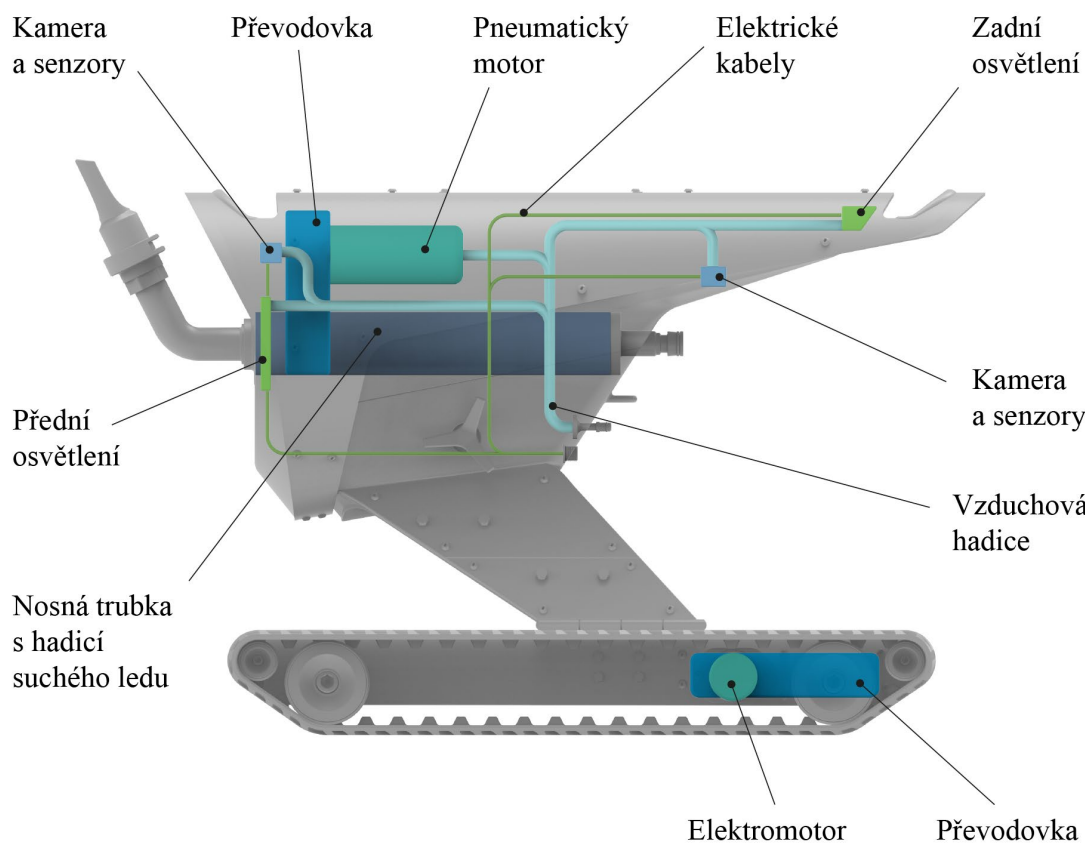
Rozměrové řešení vychází ze zadání, kdy je nutné, aby byl robot schopen projíždět a čistit kruhové potrubí o průměru 400–800 mm a hranaté potrubí o velikosti od 400 na 400 mm do 700 na 700 mm. Dalším požadavkem je schopnost vložit do potrubí jednotlivé části robota skrze otvor o velikosti 300 na 400 mm.



Obr. 6-24 Základní rozměry (M1:7).

6.3 Vnitřní mechanismy a komponenty

Konstrukční řešení a uspořádání komponent vychází z robotu C-Rex.



Obr. 6-25 Rozložení vnitřních komponent.

6.4 Materiálové řešení

Ohýbaný plášť, nohy, spojení nohou nebo otočný mechanismus pásů nebo plech spojící komponenty pásu jsou vyrobené z korozi-vzdorné oceli. Korozi-vzdorná ocel byla zvolena s ohledem na odolnost, dlouhou životnost a bezproblémovou reakci na složité podmínky čištění robota od nečistot.

Plastové části jsou vyrobené kvůli předpokládanému nízkému nákladu vyrobených kusů z materiálu ASA, který je možné zpracovávat 3D tiskem. ASA je vhodný pro technické namáhané součásti, disponuje vysokou teplotní odolností, umožňuje detailní tisk a snadné dodatečné povrchové úpravy. [34]

Jako materiál pro výrobu pásů je zvolen TPU, který je možné opět tisknout na 3D tiskárně. Materiál vyniká flexibilitou a svojí odolností. Ze stejného materiálu jsou vytisknuté i kryty madel a střední madlo. [35]

Osvětlení a kamery se senzory jsou kryty vyříznutým kusem polymethylmethakrylátu.

6.5 Technologie

Plechové části a ochranná skříčka jsou vyřezány do požadovaného tvaru pomocí CNC laseru a následně zohýbány do požadovaného tvaru.

Díky předpokládanému malému počtu vyrobených kusů robota je možné použít i časově náročné technologie jako je metoda 3D tisku pro plastové a gumové součásti. 3D tisk nahrazuje vstřikování plastů, které se v tomto případě ekonomicky nevyplatí.

Některé díly mechanismu pro natáčení pásů jsou vyrobené metodou CNC obrábění.

6.6 Ergonomie

6.6.1 Přenášení, vkládání, sestavování

Robot se skládá ze třech hlavních částí, které se od určité velikosti potrubí do potrubí vkládají postupně a následně se spojují. Modularita robota zajišťuje menší hmotnost, kterou pracovník musí zvedat.

Části robota s pásy je možné pohodlně uchopit na mnoha místech, díky malým velikostem noh a pásů není nutné řešit přídavná madla.

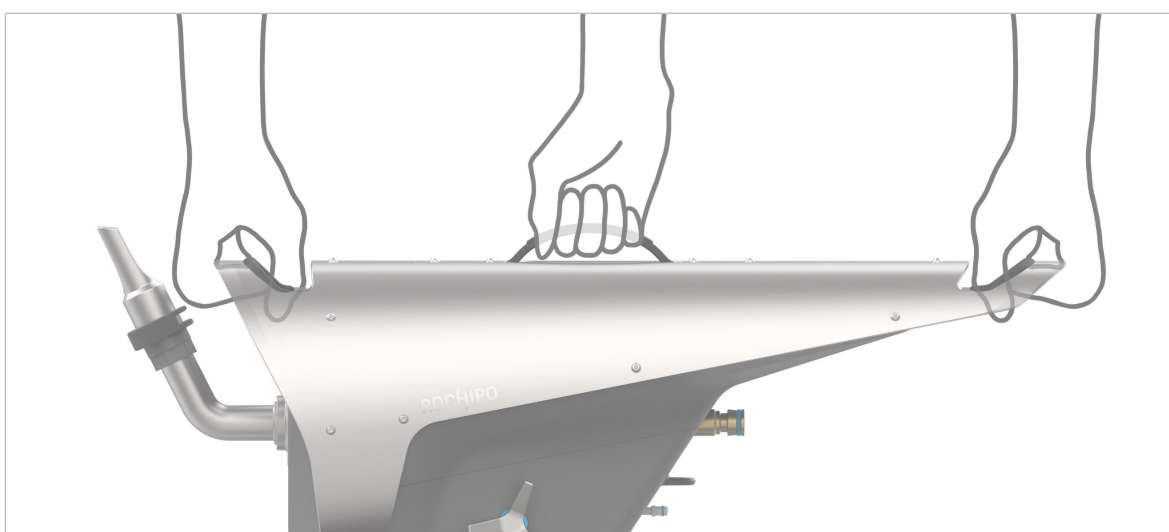
Pro uchopení a manipulaci s trupem robota slouží tři madla. Dvě madla vytváří otvory v přesazích plechu. Otvor k prostrčení prstů je na šířku 35 mm. Pro pohodlný úchyt jsou madla na jedné straně opatřena gumovým lemem. Třetí madlo je zapuštěné v horní části a umožňuje vytažení v případě potřeby. Všechna madla mají na šířku 20 mm. Prostory pro uchopení jsou dostatečné i pro ruce v ochranných rukavicích.



Obr. 6-26 Madla.



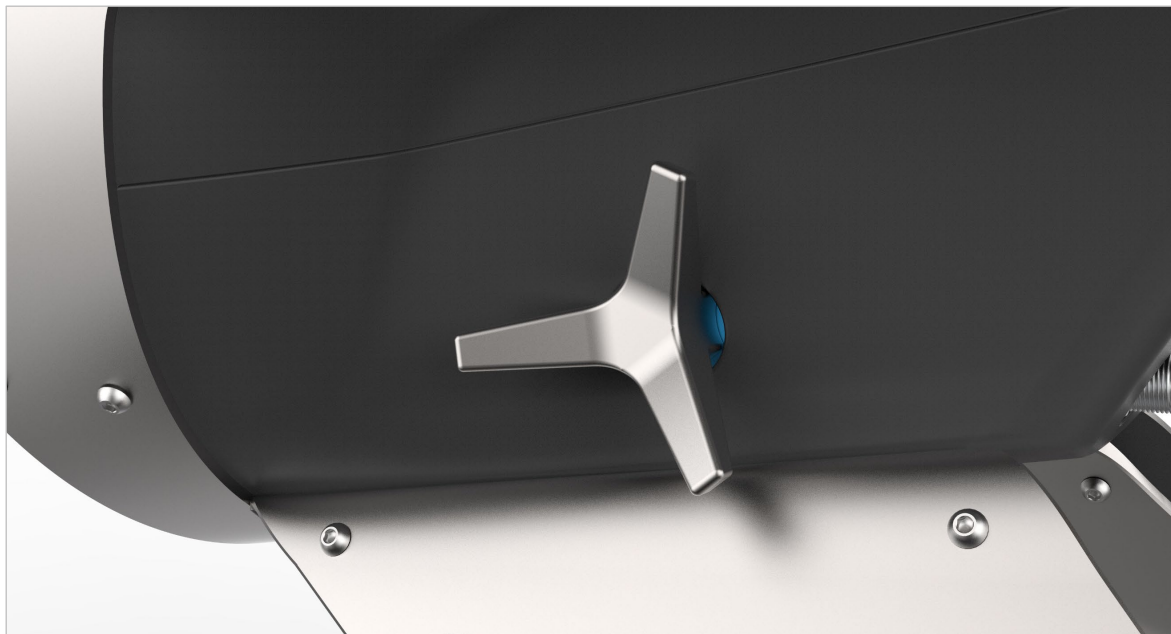
Obr. 6-27 Vysunuté prostřední madlo.



Obr. 6-28 Znáornění základních možností úchopu.

6.6.2 Utahovací kolečka

Tříramenná kolečka na bočních stranách trupu slouží ke spojení trupu a nohou a regulaci jejich vzájemné polohy. Jsou navržena v dostatečné velikosti, aby je bylo možné pohodlně otáčet i v ochranných rukavicích.



Ob-29 Utahovací kolečko.

6.7 Bezpečnost a hygiena

Z důvodu zabránění možnosti pořezání o hrany plechů použitých na trupu nebo nohách, jsou tyto hrany dostatečně sraženy.

Modulární řešení robota usnadňuje jeho používání s ohledem na váhu. Jednotlivé části vážící zlomky celkové hmotnosti je snadnější a méně namáhavé vkládat do potrubí ve složitých prostorových podmínkách. Rozložením váhy a postupným zvedáním lehčích těles se předchází zdravotním rizikům.

Důraz na co možná největší počet zakrytovaných součástí, tvarovou jednoduchost a plynulost ploch robota bez zbytečných drážek a záhybů dovoluje méně komplikované čištění než u mnohých konkurenčních zařízení. Nejkomplikovanější čištění v okolí pásů lze usnadnit jejich odejmutím.

6.8 Udržitelnost

Robot je navrhován s ohledem na dlouhou životnost z odolných materiálů. V případě poruchy některé části existuje možnost komponentu jednoduše demontovat a nahradit novou. Většina částí je spojována snadno rozmontovatelným šroubovým spojením.

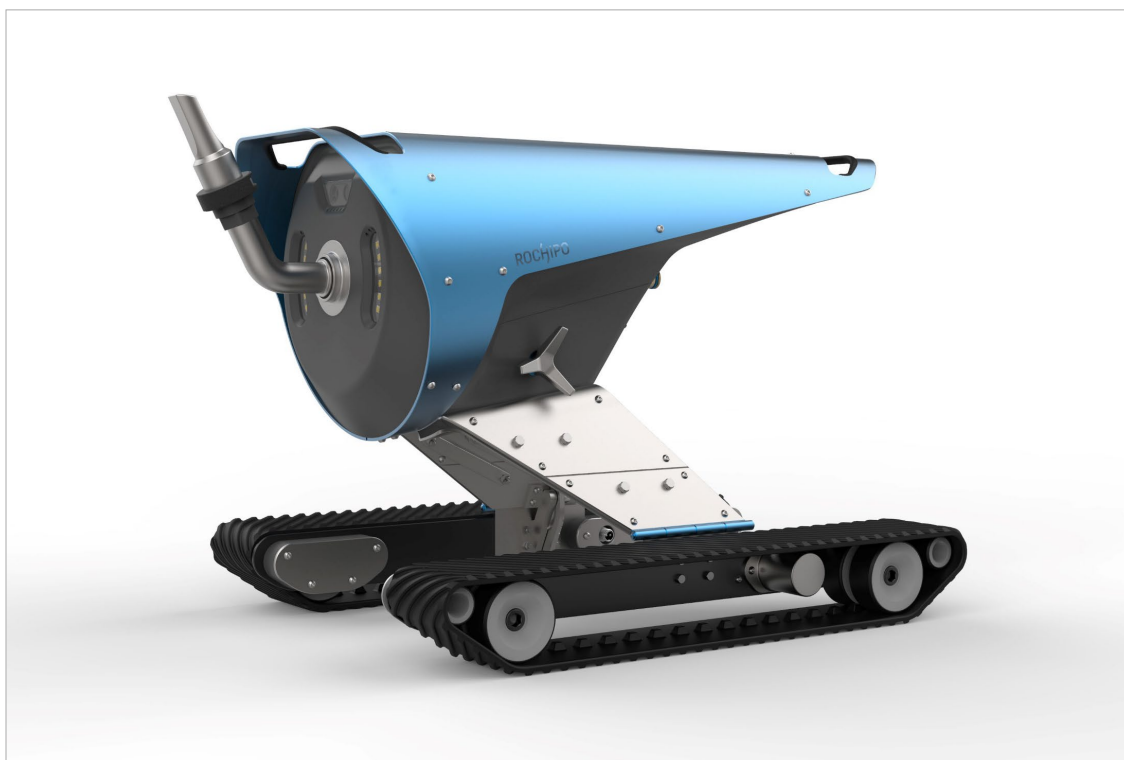
Při vyhodnocení, že robot již nevyhovuje požadavkům firmy, je možné jeho části rozebrat, roztrždit a recyklovat.

7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

7.1 Barevné řešení

7.1.1 Barevné varianty

U první varianty je dominantní barevnou částí celomodrý kovový plášť. Modrá barva se opakuje na válcových částech pantů. Modročernou kombinaci prosvětlují nohy a další části z nerezové oceli.



Obr. 7-1 První barevná varianta.

Modrá barva u druhé varianty je použita pro zvýraznění prvků, se kterými člověk nejčastěji přichází do kontaktu. Barevné zvýraznění těchto částí má uživateli urychlit orientaci v komponentách, ze kterých je robot složen neboli přivést pozornost k těm nejdůležitějším.



Obr. 7-2 Druhá barevná varianta.

Varianta třetí je barevně nejjednodušší. Skládá se z černé barvy plastu a gumy a přirozené stříbrné barvy nerezové oceli. Barevnost je oživena světle modrými detaily.



Obr. 7-3 Třetí barevná varianta.

7.1.2 Finální barevné řešení

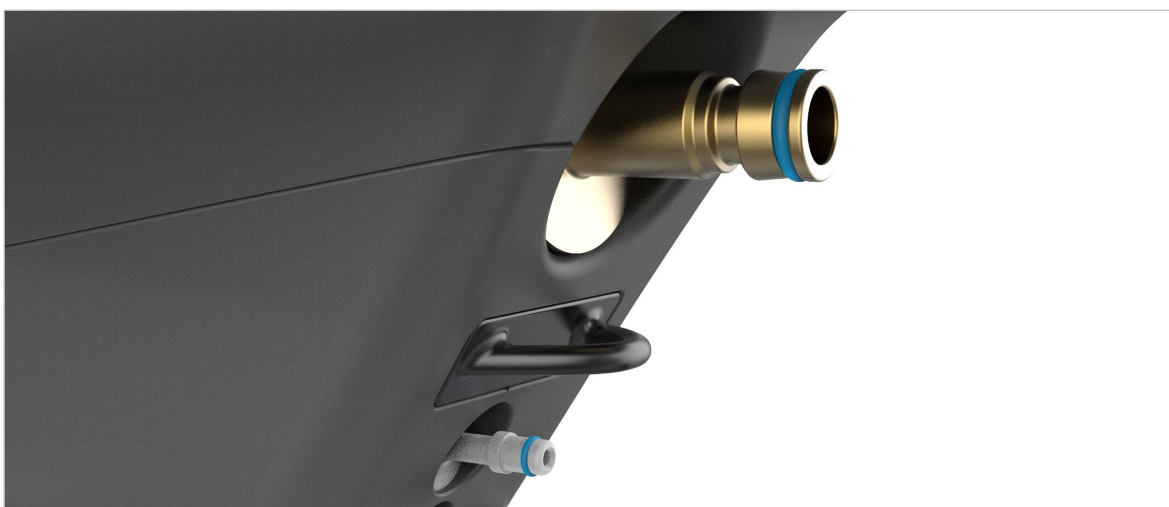
Finální barevnost vychází ze třetí barevné varianty. Povrch robota je dělen na dvě hlavní barevné oblasti. První barevnost je dána přirozenou barevností matné nerezové oceli použité pro plášť trupu, noh a uchycení pásů. Druhou dominantní barvou je matná černá barva pásů a plastových částí. Vzájemný kontrast barev opticky odděluje jednotlivé části robota.

Doplňkovou barvou je světle modrá barva, nacházející se na detailech. Barva stroj nejen ozvláštňuje, ale také zvýrazňuje některé ovládací prvky a usnadňuje tak orientaci v používání zařízení. Například modrá barva pod utahovacím kolečkem zvýrazňuje otvor a usnadňuje tak navedení hřídele do díry. Světle modrá barva je RAL 5012.

Praktičnost jednotlivých barev vzhledem ke skrytí nečistot, které mohou na barevný povrch dosednout, je zde nepodstatná, protože nečistoty se mohou na povrch robota usazovat i ve větších vrstvách a v odlišných odstínech dle právě čištěného potrubí.



Obr. 7-4 Modrý detail pod utahovacím kolečkem.



Obr. 7-5 Modré těsnící kroužky.

7.2 Grafické řešení

7.2.1 Název

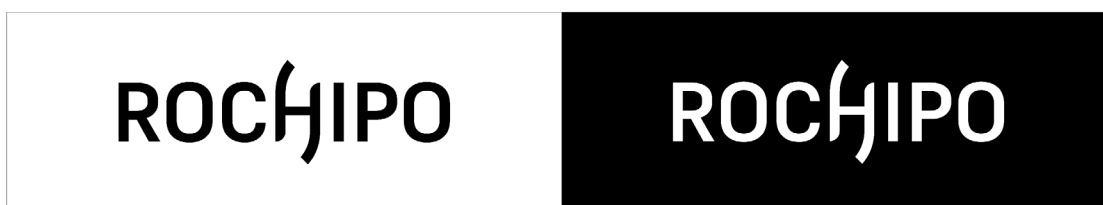
Název Rochipo vznikl složením počátečních písmen slov *robotický čistič průmyslových odtahů* a nahrazením písmene č za písmeno ch.

7.2.2 Logotyp

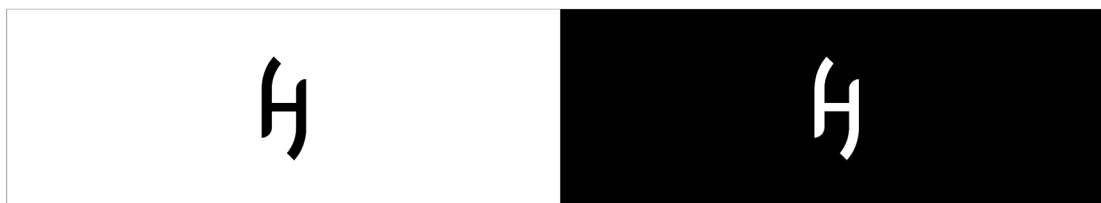
Logotyp je tvořen písmem Supreme v řezu Bold ve verzálkách. Písmo v tučné variantě působí technicky a odolně. Nápis je doplněný o protažené nohy písmene H, které díky zaoblení a zatočení připomínají potrubí, ve kterém se robot pohybuje. Písmeno H je možné použít i samostatně jako symbol.



Obr. 7-6 Inspirace potrubím. [36]



Obr. 7-7 Logotyp.



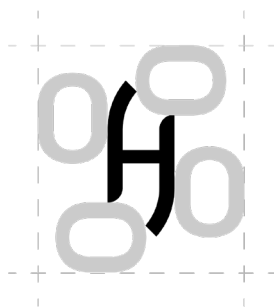
Obr. 7-8 Symbol.

7.2.3 Ochranné pole

Ochranné pole logotypu i symbolu neboli oblast, do které nesmí zasahovat jiná grafika, je definováno pomocí šířky písmene O.



Obr. 7-9 Ochranné pole logotypu.



Obr. 7-10 Ochranné pole symbolu.

7.2.4 Barevnost logotypu

Logo je navrženo pouze v černé a bílé variantě s možností použití dalších barev v doplňkové grafice. Barevnost doplňkových barev vychází z barevnosti, kterou využívá firma, pro kterou je robot teoreticky navrhován. Jedná se o světle a tmavě modrou barvu symbolizující suchý led.

Doplňková barva 1		Doplňková barva 2	
RGB	0/156/222	RGB	0/59/92
CMYK	75/18/0/0	CMYK	100/32/0/68
PANTONE	2925 C	PANTONE	302 C

Obr. 7-11 Doplňkové barvy.

7.2.5 Aplikace logotypu na robotu

Logotyp je na robotu aplikován ve vypískované formě. Jeden logotyp se nachází na levém boku nad hranicí tmavé plastové části, druhý na horní ploše u předního madla.



Obr. 7-12 Vypískované logo na boční straně.

8 DISKUZE

8.1 Psychologická funkce

Jednoduché tvarování, přiznané materiály a místy konstrukční vzhled mají za následek technický vzhled robota, který vzhledem k prostředí, kde se bude robot nejčastěji nacházet působí patřičně, odolně a důvěryhodně. Dynamické tvarování robota od prvního pohledu naznačuje, že se jedná o zařízení, které se pohybuje. Prosté tvarové a konstrukční řešení v uživateli nevyvolává otázky na smysl a používání základních komponent.

8.2 Sociální funkce

Problém v nejasnosti ovládní robota by mohl nastat především v nevhodném návržení ovládacího panelu, kterým se robot v potrubí ovládá. Tím se ale tato práce nezabývá. Na robotu samotném operátor manipuluje se součástmi především při prvotním skládání a finálním rozebírání. Proces montáže a demontáže je ale jednoduchý a po jednoduché instruktáži nehrozí riziko chybného sestavení.

Provoz robota je bezpečný sám o sobě díky vzdálenému ovládní robota, kdy s robotem člověk po většinu času nepřichází do kontaktu. Bezpečnostní rizika operátora mohou plynout spíše z práce ve složitých podmínkách nebo ve výškách.

Čištění suchým ledem je ekologická technologie, po níž nezbyvá v potrubí žádný odpad. Robot je navrhován se stejnou myšlenkou. Po skončení životnosti bohužel nevysublimuje a nezmizí jako suchý led, ale díky šroubovým spojům je možné jej rozložit na části a ty následně dle materiálů patřičně recyklovat.

8.3 Ekonomická funkce

Predikce životnosti robota z pohledu materiálů je teoreticky neomezená. Díky uvažované malonákladové výrobě a s tím spojenými technologiemi, je možné při poruše jedné komponenty celek opravit jejím snadným znovuvyroběním. Životnost robota jako celku je předurčena především vývojem nových konstrukčních řešení, které budou více univerzální pro čištění potrubí, budou snadnější na obsluhu a čištění nebo budou vybaveny novými technologiemi. Inovace, které by měly výrazný potenciál pro nahrazení robota novým, mohou přicházet kdykoliv, je proto těžké přibližnou životnost určit.

8.4 Marketingová analýza

Robot není v tomto případě zboží, které by mělo být marketingově propagováno s cílem prodeje co největšího počtu kusů. Je to právě naopak. Robot může díky svému tvarovému řešení sloužit sám jako marketingový nástroj neboli poutač na nabízené čisticí služby firmy.

8.4.1 SWOT analýza

Tab. 8-1 SWOT analýza.

Silné stránky (Strengths)	Slabé stránky (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none">• Vzhled• Modularita• Ergonomie• Univerzálnost• Jednoduchost výroby a opravy	<ul style="list-style-type: none">• I přes zlepšení stále náročné čištění• Nemožnost vertikálního pohybu bez modifikace
Příležitosti (Opportunities)	Hrozby (Threats)
<ul style="list-style-type: none">• Jednodušší všestrannější konstrukce• Nové monitorovací technologie• Vyšší povědomí o nebezpečí nečištěných potrubí	<ul style="list-style-type: none">• Konkurence s univerzálnější technologií

8.5 Cílová skupina

Cílovou skupinou robotického čističe je primárně firma Alkion zabývající se vývojem čisticích robotů a jejich využíváním pro čištění potrubí. S přístrojem bude přicházet do kontaktu především školený personál firmy.

8.6 Cenová hladina

Výrobní cena robota se nebude mnoho lišit od robotů čistících suchým ledem, kteří využívají podobnou konstrukci bez komplexního designového řešení. Určit přibližnou cenu je obtížné kvůli tomu, že roboti se nevyskytují na trhu, ale existují pouze jako nástroje firem, které je sami vyvíjejí a následně jimi i samy provozují čištění potrubí.

9 ZÁVĚR

Zpracování této práce mělo za hlavní cíl navrhnout design robota pro čištění průmyslových odtahů založeného na technologii tryskaní suchým ledem. Po provedené designerské a technické analýze byly nalezeny problémy, které práci s čistícím robotem komplikují. Z problémů byly následně vyvozeny dílčí cíle, na které se práce snažila najít adekvátní řešení.

Modulárním řešením, kdy se robot kompletuje až přímo v potrubí, se vyřešil nejen problém s umístěním rozměrného zařízení skrze mnohdy malý otvor do potrubí, ale redukovala se tak i hmotnost, kterou je obsluha povinna do potrubí zvedat najednou.

Při standartním používání, se robot pohybuje horizontálně pomocí dvou pásů. Vertikální pohyb je umožněn po přidání třetí nepoháněné nohy, která vymezuje robotovu polohu v potrubí. Robot je následně spouštěn pomocí lana, které je uchyceno k oku na zadní straně trupu.

Problém s nemožností pohodlně uchopit a zvednout robota je vyřešen třemi madly na trupu. Dvě madla se nachází v převislech plechové části, třetí je umístěno na horní straně trupu. Na nohy nebylo třeba madla umisťovat, protože je možné je díky úzkým částem pohodlně uchopit na více místech.

Dálkové ovládání robota vyžaduje přehled o situaci před a za robotem. To bylo operátorovi umožněno umístěním běžných kamer a senzorů, pracujících na bázi lidarů, na čelní a zadní stranu trupu. Aby mohly kamery předávat zřetelný obraz i v temném potrubí bylo nutné na zadní a přední stranu robota také umístit osvětlení.

Riziko usazování nečistot na ochranná skla světel, kamer a senzorů bylo redukováno umístěním vzduchových trysek okolo potenciálně zanesitelných skel. Proudící vzduch tak usazování nečistot nedovoluje.

Jako nástroj pro pohyb byly zvoleny pásy a to z důvodu jejich velké kontaktní plochy. Stabilní jízdy s maximálním kontaktem mezi pásy a povrchem kruhového potrubí bylo dosaženo umístěním pásů na panty a možností nastavovat úhel náklonu.

Řešení univerzálnosti robota pro různé průměry potrubí bylo nalezeno jednak v možnosti regulovat výšku trupu robota od jeho nohou a zadruhé zvětšovat rozkročení nohou pomocí paralelogramu s vyměnitelnými ocelovými pásky různé délky.

Skrytím komponent trupu pod obal tvořený plechovou a plastovou částí se docílilo snadnějšího čištění znečištěných povrchů. Zakrytíváním robot navíc získává i atraktivní vzhled, který může sloužit jako nástroj pro propagaci s robotem souvisejících služeb firmy.

Ve výsledku bylo dosaženo všech vytyčených dílčích cílů a navržený produkt tak překonává blízkou konkurenci. I přes provedené inovace a splnění cílů toto téma ale stále nabízí prostor pro další zlepšení, která by zvýšila průchodnost potrubím, univerzálnost nebo zjednodušila povrchy pro čištění. Docílit ideálního řešení je ale komplikované, neboť pracovní prostředí je složité a počet jednotlivých řešení, které se navzájem nesmí omezovat je značný.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ROZÍNEK, Martin. *Kvalitní čištění vzduchotechniky má pozitivní vliv na BOZP*. In: Bozpz magazín [online]. Zerzavice: Vít Hofman, 2021 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.bozpzforum.cz/2019/12/04/kvalitni-cistení-vzduchotechniky-ma-pozitivni-vliv-na-bozpz/>
- [2] *Jettyrobot: Your Duct & Pipe Insider* [online]. [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.jettyrobot.com/?lang=cs>
- [3] *ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE*. Robot pro čištění a inspekci potrubí a ovládací jednotka pro jeho řízení. 2010. Česká republika. 302 170. Uděleno 18.10.2010. Zapsáno 24.11.2010.
- [4] *Alkion: power of ice* [online]. [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://alkion.eu/cs/>
- [5] *Air Conditioner Cleaning Robot Quipment and Device Dust Suction Vacuum*. In: Made-in-Cina: Connecting Buyers with Chinese Suppliers [online]. Guangdong: Guangzhou Bizhou Mechanical [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.made-in-china.com/showroom/benson0663/product-detailpNREfmVYoGkn/China-Air-Conditioner-Cleaning-Robot-Quipment-and-Device-Dust-Suction-Vacuum.html>
- [6] *Duct Cleaning Electric Robot – LIFA Air*. In: Hasman [online]. Hasman, 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.hasman.co.uk/shop/equipment/rotary-brush-machines/ductwork-cleaning-robot/>
- [7] *ANATROLLER™ ARI-10*. In: ROBOTICSDESIGN: Advanced Trough Simplicity [online]. Robotics Design, 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.roboticsdesign.qc.ca/products/mobile-robots/anatroller-ari-10/>
- [8] *Air Duct Cleaning Robot System Duct Cleaning Equipment Price*. In: Alibaba.com [online]. Alibaba, 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: https://flexi.en.alibaba.com/product/62081196522-810154206/Air_Duct_Cleaning_Robot_System_Duct_Cleaning_Equipment_Price.html
- [9] *Multibot: A single air duct cleaning robot with multiple applications*. In: TEiNNOVA: passion for innovation [online]. Teinnova, 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://teinnovacleaning.com/equipment/multibot-air-duct-cleaning-robot/>

- [10] *EcoStations [online]. Praha: Eco-stations* [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.eco-stations.eu/>
- [11] *Zařízení pro otryskávání suchým ledem IB 15/120*. In: Kärcher [online]. Kärcher, 2022 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.karcher.cz/cz/professional/cisteni-suchym-ledem/ib-15-120-15741040.html>
- [12] *Suchý led - použití*. In: SUCHY-LED.CZ [online]. [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.suchy-led.cz/pouziti-sucheho-ledu/>
- [13] *Magnetic Drive Wheel for Wall Climbing Robot*. In: Faizeal [online]. Faizeal, 2022 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://www.fzmag.com/Magnetic-Drive-Wheel-for-Wall-Climbing-Robot/>
- [14] *TAVAKOLI, Mahmoud, Carlos VIEGAS, Lino MARQUES, Norberto PIRES a Aníbal ALMEIDA. OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots for inspection of ferromagnetic structures*. University of Coimbra, Portugal, 2013. University of Coimbra, Department of Electrical and Computer Eng., Institute for Systems and Robotics.
- [15] *Dekra: VT34 FW Magnetic Crawler*. In: Spectis Robotics [online]. Aberdeen: Spectis Robotics, 2022 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://spectisrobotics.com/products/vt34-fw-magnetic-crawler/>
- [16] *Mecanum Wheels 64mm for Raspberry Pi 4/3B+/Microbit*. In: CASTERBOT [online]. CasterBot Technology, 2019 [cit. 2022-02-09]. Dostupné z: <https://www.casterbot.com/p/mecanum-wheels-64mm-for-raspberry-pi-4-3b-microbit/>
- [17] *Omni-Crawler Drives In All Directions*. In: YouTube [online]. ikinamo [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=BTp2UAaihaI&ab_channel=ikinamo
- [18] *Průmyslové potrubní rozvody*. In: Mariánskohorská akciová společnost [online]. Ostrava: MARIÁNSKOHORSKÁ akciová společnost, 2020 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://marianskohorska.cz/prumyslove-potrubni-rozvody/>
- [19] *Průmyslové potrubní rozvody*. In: Plast produkt [online]. Šumperk: PLAST PRODUKT, 2016 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: [prumyslove-potrubni-rozvody](https://www.plastprodukt.cz/prumyslove-potrubni-rozvody/)

- [20] *Ventishop [online]. Praha: Ventishop, 2022 [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://www.ventishop.cz/>*
- [21] *Montáž průmyslových potrubních rozvodů z nerezové oceli. In: Swarák [online]. Jablonec nad Nisou [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://www.topeni-swarak.cz/sluzby/prumyslove-potrubni-rozvody-z-nerezove-oceli>*
- [22] *Cleaning robots for air ducts. In: White lion [online]. Mühlthal: White lion, 2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://white-lion.eu/en/dry-ice-blasting-devices/accessories/cleaning-robot-for-air-ducts/>*
- [23] *Kvádry. In: Unimagnet [online]. Praha: Unimagnet, 2022 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://www.unimagnet.cz/neodymove-magnety_k97/kvadry_k8/#strana=2*
- [24] *Rizikové faktory: Fyzická zátěž - manipulace s břemeny. In: Znalostní systém prevence rizik v BOZP [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, c2016-2022 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/rizikove-faktory/141-fyziologicke-faktory/242-fyzicka-zatez-manipulace-s-bremeny>*
- [25] *BULGAROV, Vitaly. 25 Sci-Fi Props. In: Vitaly Bulgarov [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://vitalybulgarov.com/3d-kitbash/25-scifi-props>*
- [26] *Macadamdesign. In: Macadam [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://macadamdesign.tumblr.com/post/170809229407>*
- [27] *CHOI, Joongho a Troy TURNER. Discus pen. In: Yanko design [online]. Yanko design, c2002-2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.yankodesign.com/2013/03/18/discus-pen/>*
- [28] *Peugeot Salt & Pepper Mill Concepts. In: Car body design [online]. Rome: Line22 SRL, c2004-2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.carbodydesign.com/gallery/2012/11/peugeot-salt-pepper-mill-concepts/>*
- [29] *KLIMOV, Gavriil. Hexeract. In: Visual wave [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://hexeract.tumblr.com/post/134771019979>*
- [30] *KUS, Michal. Project Verdas - environment31. In: Artstation [online]. Epic Games, 2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.artstation.com/artwork/interior-exploration-project-verdas>*

- [31] *Dry Ice*. In: Maineoxy [online]. Maine Oxy, 2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.maineoxy.com/products/dry-ice/>
- [32] *ERIC, Ralph. BFR tent mandrel work (SpaceX) 1*. In: Teslarati [online]. TESLARATI [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/spacex-ceo-elon-musk-mars-breakthroughs-starship-design-radical-changes/>
- [33] *T., Patrick. Crew Dragon spacecraft at SpaceX headquarters in Hawthorne, California, U.S.* In: Wired [online]. Condé Nast, 2022 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.wired.com/story/this-year-spacex-made-us-all-believe-in-reusable-rockets/>
- [34] *ASA*. In: *Help*. prusa3d [online]. Prusa Research, 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/asa_1809
- [35] *TreeD Flexmark 7 flexibilni TPU filament 70A černá 1,75mm 500g*. In: 3dmanufaktura [online]. 3D Manufaktura, 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://eshop.3dmanufaktura.cz/treed-flexmark7-flexibilni-tpu-filament-70a--cerna-1-75mm-500g/?gclid=Cj0KCQjwma6TBhDIARIsAOKuANwYfmDHg4bACjKRxxEz_rUl-k34aGMd6VVg522bL0oIP0S4SDisq0waAv8zEALw_wcB
- [36] *CETIN: Do nitra Mordoru*. In: Abc [online]. CZECH NEWS CENTER, 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.abicko.cz/clanek/precti-si-technika/25575/cetin-do-nitra-mordoru.html>

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

LED	Light-Emitting Diode
HDPE	High density polyethylene
ASA	Akrylonitril-styren-akryl
TPA	Thermoplastic Polyurethane
CNC	Computer Numerical Control

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 JettyRobot 6. [2]	15
Obr. 2-2 JettyRobot S. [2]	16
Obr. 2-3 Robot C-Rex. [4].....	17
Obr. 2-4 Koncept pro Alkion. [4].....	18
Obr. 2-5 BZJQ-05. [5]	19
Obr. 2-6 The LIFA Air. [6]	20
Obr. 2-7 ANATROLLER™ ARI-10. [7]	21
Obr. 2-8 FLX-KT966-28. [8].....	22
Obr. 2-9 Multibot. [9].....	23
Obr. 2-10 Ice Cleaner IC 020. [10].....	23
Obr. 2-11 Otryskávací přístroj IB 15/120. [11]	24
Obr. 2-12 Porovnání povrchu před a po čištění. [2].....	25
Obr. 2-13 Tryskání suchým ledem. [4]	25
Obr. 2-14 Kola se samostatnými magnety po obvodu. [14].....	27
Obr. 2-15 Robot Dekra. [15]	28
Obr. 2-16 Schéma možných pohybů kol mecanum. [16].....	29
Obr. 2-17 Omni pásový robot. [17]	30
Obr. 2-18 Odvod nečistot z potrubí. [22]	31
Obr. 2-19 Schéma komponent robotu C-Rex.....	32
Obr. 4-1 Soubor vybraných skic.	39
Obr. 4-2 Varianta 1.	40
Obr. 4-3 Varianta 2.	41
Obr. 4-4 Varianta 3.	42
Obr. 5-1 Perspektivní pohled.....	44
Obr. 5-2 Základní linie.	44
Obr. 5-3 Perspektivní pohled zezadu.	45
Obr. 6-1 Robot rozložený na části.....	46
Obr. 6-2 Spojení nohou.....	47

Obr. 6-3 Magnety na drážkách.....	47
Obr. 6-4 Třetí noha a lano.	48
Obr. 6-5 Detail třetí nohy.	49
Obr. 6-6 Uchycení spouštěcího lana.	49
Obr. 6-7 Výška trupu; (a) minimální, (b) maximální.	50
Obr. 6-8 Roztažené nohy s nejkratšími pásky paralelogramu.....	50
Obr. 6-9 Ocelové pásky paralelogramu.	51
Obr. 6-10 Natáčecí mechanismus.	51
Obr. 6-11 Natočené pásy pro kruhová potrubí.	52
Obr. 6-12 Přední kamera se senzory.	52
Obr. 6-13 Zadní kamera se senzory.	53
Obr. 6-14 Přední osvětlení.....	53
Obr. 6-15 Zadní osvětlení.....	54
Obr. 6-16 Rozsvícená přední světla.	54
Obr. 6-17 Rozsvícená zadní světla.	54
Obr. 6-18 Ofukování ochranných skel.	55
Obr. 6-19 Připojení hadic a elektřiny.	56
Obr. 6-20 Konektor k elektromotoru.	56
Obr. 6-21 Pásy (uprostřed elektromotor).	57
Obr. 6-22 Kryt převodovky.	57
Obr. 6-23 Nahrazení pásů koly.	58
Obr. 6-24 Základní rozměry (M1:7).	59
Obr. 6-25 Rozložení vnitřních komponent.....	60
Obr. 6-26 Madla.....	62
Obr. 6-27 Vysunuté prostřední madlo.	62
Obr. 6-28 Znázornění základních možností úchopu.....	62
Ob-29 Utahovací kolečko.....	63
Obr. 7-1 První barevná varianta.	65
Obr. 7-2 Druhá barevná varianta.	66
Obr. 7-3 Třetí barevná varianta.	66

Obr. 7-4 Modrý detail pod utahovacím kolečkem.	67
Obr. 7-5 Modré těsnící kroužky.	67
Obr. 7-6 Inspirace potrubím. [36]	68
Obr. 7-7 Logotyp.	68
Obr. 7-8 Symbol.	68
Obr. 7-9 Ochranné pole logotypu.	69
Obr. 7-10 Ochranné pole symbolu.	69
Obr. 7-11 Doplnkové barvy.	69
Obr. 7-12 Vypískované logo na boční straně.	70

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 8-1 SWOT analýza.....	72
----------------------------	----

14 SEZNAM PŘÍLOH

- Sumarizační poster (A4)

Samostatné přílohy:

- Sumarizační poster (A1)
- Model (M 1:2)

15 PŘÍLOHA – ZMENŠENÝ POSTER (A4)

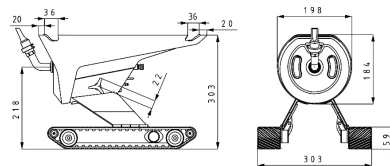
ROCHIPO



Modularita robota



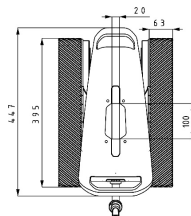
Rozšíření paralelogramem



Výškové nastavení trupu



Natočení pásů



Základní rozměry (M 1:5)

Popis

Rochipo je robot schopný čistit průmyslových potrubí technologií tryskání suchým ledem. Robot je navržen jako modulární s možností nastavitelnosti jeho výšky a vzájemného rozpětí pásů. Je schopen pohybu nejen ve vodorovném potrubí, ale po přidání třetí nohy i ve vertikálním potrubí za pomoci lana metodou spouštění. Dálkové ovládání robota je možné díky osvětlení, kamerám a senzorům na přední i zadní straně robota, které jsou průběžně tryskajícím vzduchem očišťovány od usazujících se nečistit uvolňovaných z potrubí. Bezproblémový průjezd kruhovým potrubím je řešen možností naklonění pásů. Trup robota je možné uchopit za tři madla, nohy je díky jejich tvarování možné pohodlně uchopit bez rukojeti.

DESIGN ROBOTA PRO ČIŠTĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH ODTAHŮ ZALOŽENÉHO NA TECHNOLOGII TRYSKÁNÍ SUCHÝM LEDEM / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Viktor Novotný / Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Štigler / VUT v Brně / FSI / UK / OPD / 2022

