

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta strojní

Ústav přístrojové a řídicí techniky

# Monitorovací a revizní robot pro potrubní systémy elektráren a chemických provozů

Praha 2016

Autor: Jan Dobeš

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Novák Ph.D.



## Anotace:

Bakalářská práce na téma „Monitorovací a revizní robot pro potrubní systémy elektráren a chemických provozů“ je rozdělena na dvě hlavní části. Rešerše se zabývá analýzou doposud používaných systémů pro revize potrubních řádů a popisem výhod a nevýhod jednotlivých použitých mechanismů pohybu revizních robotů. V práci je také proveden průzkum výrobců působících na českém a světovém trhu.

Druhá část práce je věnována vlastnímu návrhu konceptu revizního robotu. Je specifikováno prostředí, pro které bude revizní robot určen, a také základní požadavky na jeho vlastnosti. Na základě těchto dat a znalostí z první části práce jsou zpracovány dva koncepty, které by měly nabídnout lepší vlastnosti při aplikaci v chemickém průmyslu a elektrárnách, než v současnosti dostupné roboty na trhu.

## Klíčová slova:

Inspekční robot, revizní robot, robot, revize, potrubí, potrubní řád, chemický průmysl, elektrárna, sklolaminát

## Annotation:

The bachelors' thesis on "Monitoring and inspection robot for pipeline systems of power plants and chemical factories" is divided into two main parts. In the first part "research" currently used systems for the inspection of pipelines are analysed and advantages and disadvantages of the various motion mechanisms of inspection robots are described. A survey of manufacturers operating in the Czech and world market is carried out in the thesis.

The second part is devoted to the design concept of an inspection robot. The environment in which the inspection robot will be used is specified also the basic requirements for the properties of the robot. On the basis of these data and knowledge from the first part of this text two concepts were processed. Concepts should offer better performance than robots available on the market, when applied in the specific environment of pipeline systems in chemical industry and power plants.

## Key words:

Inspection robot, robot, CCTV, revision, pipes, pipeline system, chemical industry, power plant, fiberglass

# Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce, doc. Ing. Martinu Novákovi Ph.D., který mi ochotně radil při plnění stanovených úkolů a přinášel náměty na další možný vývoj, jenž by vedl k úspěšnému dokončení úkolu

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne .....

.....

Podpis

## 1. Obsah

1.	Obsah.....	6
2.	Úvod .....	9
a.	Revizní systémy - typy konstrukcí.....	9
3.	Výhody a nevýhody jednotlivých konstrukcí.....	10
a.	Základní konstrukce.....	10
i.	Mechanismus s koly .....	10
ii.	Housenka a had .....	10
iii.	Kráčivý mechanismus .....	10
b.	Hybridní konstrukce .....	11
i.	Housenka s přítlačným systémem.....	11
ii.	Kolový podvozek s přítlačným systémem.....	11
iii.	Šroubový systém s přítlakem a koly .....	12
4.	Dostupnost revizních robotů na trhu .....	12
a.	Český trh .....	12
i.	Revize na klíč .....	13
ii.	Technické parametry vybraných revizních robotů.....	13
b.	Světový trh – výrobci .....	15
i.	Výběr Evropských výrobců revizních robotů .....	15
ii.	Čínští výrobci (Alibaba) .....	16
5.	Shrnutí - výhody a nevýhody dostupných produktů .....	17
6.	Specifikace účelu, vlastností a hlavních parametrů prototypu .....	18
a.	Základní parametry.....	18
b.	Návrhové parametry .....	18
i.	Pohon stroje (motor).....	18
ii.	Konstrukce.....	18
iii.	Adaptivní rozvor .....	19
iv.	Přítlačný mechanismus na hřbetu .....	19
v.	Kamera.....	19
vi.	Osvětlení.....	19
vii.	Těsnění .....	20
viii.	Komunikace s robotem .....	20
ix.	Řídicí systém .....	20
7.	Koncepční návrhy konstrukce robotu .....	20
a.	Koncept 1.....	20
i.	Pohonná jednotka a řízení.....	21

ii.	Osvětlení.....	22
iii.	Přítlačný mechanismus.....	23
iv.	Kola.....	24
v.	Kamerový systém .....	24
vi.	Materiál trupu (sklolaminát) .....	25
vii.	Komunikační systém.....	25
b.	Koncept 2.....	25
i.	Pohonná jednotka a řízení.....	26
ii.	Osvětlení.....	27
iii.	Přítlačný systém.....	27
iv.	Kola podvozku .....	27
v.	Kamerový systém .....	27
vi.	Napájení.....	28
vii.	Baterie .....	28
viii.	Bezdrátový komunikační systém .....	28
ix.	Materiál .....	28
c.	Schémata vnitřních součástí jednotlivých konceptů .....	29
d.	Popis funkcí jednotlivých součástí.....	30
i.	CPU .....	30
ii.	Hlavní zdroj (Koncept 1) .....	30
iii.	Motory.....	30
iv.	H - můstek .....	30
v.	Vnitřní proudový měnič.....	30
vi.	Baterie (Koncept 2).....	30
vii.	Servomotory .....	30
viii.	LED řídicí obvod .....	30
ix.	Kamera.....	31
x.	Hlavní datová linka (Koncept 1).....	31
xi.	Anténa pro bezdrátovou komunikaci (koncept 2).....	31
e.	Výpočet použitých pinů.....	31
i.	Počet pinů jednotlivých součástí .....	31
ii.	Výpočet.....	31
iii.	Volba vhodného typu základní desky Arduino .....	31
f.	Celkové srovnání obou konceptů .....	32
8.	Závěr.....	33
9.	Citovaná literatura.....	34

10. Seznam obrázků: .....	37
11. Seznam tabulek: .....	37



## 2. Úvod

Rozvoj technologie a výpočetní techniky v posledních 20-ti letech umožnil konstruktérům na celém světě vytvářet automatizované systémy výrazně usnadňující lidskou práci. Díky uvedení těchto strojů do běžného provozu došlo k rapidnímu zvýšení produktivity, přesnosti výroby a také k celkovému snížení nákladů. Význam zavedení robotů a automatizovaných výrobních linek bychom mohli přirovnat k použití prvního parního stroje k pohonu továren.

Fenomén robotiky pronikl do povědomí široké veřejnosti zejména díky více či méně zdařilým vědeckým pokusům o výrobu humanoidního robota. Tato skutečnost způsobuje, že mnozí lidé nepovažují přístroje, které potkávají každý den (např. automat na kávu, robotické podavače atd.) za roboty a mají mylnou představu, že robotika je disciplínou pro pár nadšenců a fanoušku sci-fi, kteří v temném sklepe stávají prvního „Terminátora.“

Humanoidní roboti zatím nejsou na takové úrovni, aby mohli věrohodně nahradit jejich biologický vzor. Současným průmyslovým trendem je využití výhod robotů s vlastnostmi, které člověk nikdy mít nebude a možností práce v nebezpečných a nepřístupných prostředích a situacích. Mezi roboty s vlastnostmi „lepšími než lidské“ patří i revizní systémy potrubních řádů.

Cílem této práce je zmapovat současné používané robotické systémy pro revizi potrubí, používané systémy a mechanismy pohybu, cenu a dostupnost na českém i světovém trhu. Zhodnotit jejich použitelnost pro použití v agresivním prostředí potrubních řádů elektráren a chemických provozů.

V druhé části této práce se budu zabývat vlastním návrhem koncepčního řešení inspekčního robota pro potrubní řády elektráren a chemických provozů. Zejména se budu zabývat volbou vhodného pohybového mechanismu, kterou provedu na základě provedené studie v praxi již používaných technologií. V dalším kroku charakterizuji vlastnosti prostředí, ve kterém bude robot standardně používán. Na konec se pokusím navrhnout základní parametry elektronických součástí robota. Na základě analýzy vstupů jednotlivých akčních součástí provedu kontrolu vhodnosti řídicí jednotky.

### a. Revizní systémy - typy konstrukcí

Potrubní inspekční roboty jsou dnes široce využívány při revizi kanalizační a vodovodní sítě. Využití revizních robotů v energetice, ropném a plynárenském průmyslu je v porovnání s předchozím případem nižší. Inspekční roboty jsou používány pro kontrolu vad, trhlin a vnitřní eroze, která je způsobena mnoha faktory jako je degradace materiálu, creep<sup>1</sup>, přehřátí, koroze a další. [1]

Za posledních 20 let bylo vymyšleno a otestováno velké množství pohybových mechanismů revizních robotů. Mezi nejpoužívanější konstrukce patří kolové vozítko, vozítko s pásovým pohonem (tzv. „housenka“), had a kloubová konstrukce. V některých projektech se konstruktéři dokonce snaží o kráčivou konstrukci, avšak její praktické využití je minimální. Nízké využití kráčivé konstrukce v praxi je způsobeno zejména její vysokou náchylností na poškození, vysokou náročností na řídicí systém, pořizovacími náklady a



Obrázek 1 - kolové vozidlo (Auto PTZ Sewer Pipe Inspection Robot Camera S200)

Zdroj:

[http://www.alibaba.com/product-detail/Auto-PTZ-Sewer-Pipe-Inspection-Robot\\_60104738186.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Auto-PTZ-Sewer-Pipe-Inspection-Robot_60104738186.html)

<sup>1</sup> Creepem se označuje časově závislá plastická deformace, která se uskutečňuje při konstantní teplotě a konstantním aplikovaném napětí. V reálných experimentech se často místo konstantního napětí udržuje konstantní zatížení zkušebního tělesa [27]

pomalým pohybem. S kráčivou konstrukcí revizních robotů se zatím experimentuje pouze při revizi tlakových nádob u nukleárních reaktorů. [2]

Konstrukce inspekčních robotů se většinou přizpůsobuje aplikaci, pro kterou budou používány. Rozhodně se nejedná o žádná multifunkční zařízení. Hlavními parametry, které omezují možnost nasazení konkrétního robota, je nejen průměr potrubí, ale také agresivita prostředí, kterému bude daný robot vystaven.

### 3. Výhody a nevýhody jednotlivých konstrukcí

#### a. Základní konstrukce

Každá ze základních konstrukcí (mechanismů pohybu) nabízí své výhody, ale také nevýhody a jistá omezení.

##### i. Mechanismus s koly

Nejrozšířenějším typem konstrukce je kolový podvozek (obr. 1). Mezi jeho hlavní výhody patří jednoduchost ovládání pomocí rozdílné regulace výkonu motoru pro jednotlivé nápravy a vysoká stabilita. Hlavní nevýhody této konstrukce jsou překážky v potrubí, prudké zatáčky a strmá stoupání.



Obrázek 2 - Typ housenka

Zdroj:  
<http://robotland.blogspot.cz/2011/03/remote-inspection-robot-from-canada.html>

##### ii. Housenka a had

Typ Housenka (obr. 2) je svou konstrukcí vhodný pro pohyb na nerovném povrchu a překonávání překážek v potrubí jako jsou například usazeniny či uvízlé předměty. Mechanismus pohybu napodobující hadí plazení (obr. 3) bývá obvykle navržen pro větvící se potrubní systémy a aplikace, kde je nutné provádět revize strmě stoupajících úseků či procházet otevřenými ventily. Robot had byl v posledních letech testován pro revize vysokotlakého parního potrubí v jaderné elektrárně Zwentendorf v Rakousku, která je v současné době používána jako cvičný objekt pro školení personálu a vývoj nových metod provozu a údržby. [3]



Obrázek 3 - Typ had

Zdroj:  
<http://www.visionsystems.com/articles/2013/07/robot-snakes-inspect-nuclear-power-plant.html>

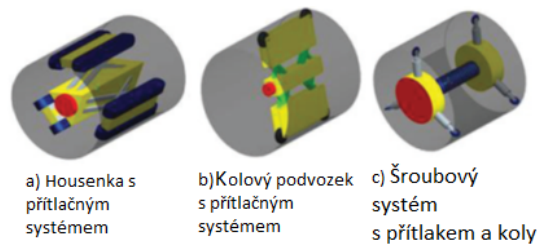
##### iii. Kráčivý mechanismus

Mechanismus pohybu robota s kráčivými končetinami zakončenými přísavkami či jinými systémy umožňujícími robotovi pohyb i na strmých stěnách patří mezi nejnáchylnější systémy na poškození a není vhodný pro použití ve vlhkém či agresivním prostředí. Jediné testy v praxi proběhly ve velké Británii v jaderné elektrárně Trawsfynydd, kde byl tento robot použit k inspekci tlakových nádob. [2]

Složitější konstrukce svými pohybovými vlastnostmi (průjezdnost, schopnost překonávat sklon potrubí, poloměr zatáček atd.) dalece překonávají konstrukci s koly, avšak jejich pořizovací cena, nároky na řídicí jednotku a náklady na údržbu jsou vyšší.

## b. Hybridní konstrukce

Hybridní konstrukce kombinují výhody dvou i více mechanismů pohybu. Dosahují tak daleko vyšší potenciální průjezdnosti a dokáží překonávat větší překážky a nerovnosti, které se nachází v potrubí. Tyto konstrukce můžeme rozdělit do 3 hlavních kategorií (obr. 4): Housenka s přítlačným systémem, kolový systém s přítlakem a šroubový systém s přítlakem a koly. Hlavní výhodou hybridních systému je možnost adaptace na měnící se průměr, zakřivení či sklon potrubí a dosahovat tak dostatečného přítlaku na kola/pásky, a tak zabránit prokluzu a uvíznutí robotu v potrubí. [1]



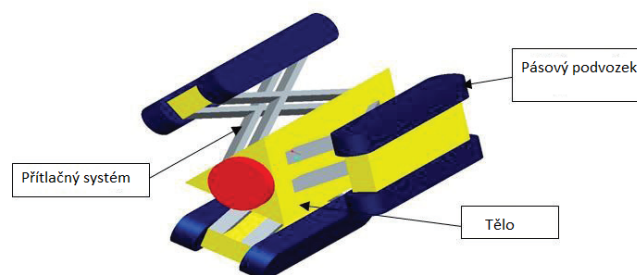
Obrázek 4 - 3 základní systémy hybridního pohybu

Zdroj: [1]

### i. Housenka s přítlačným systémem

Příkladem této konstrukce je robotický systém FAMPER, který byl vyvinut na Louisiana State University v USA. Tento robot byl primárně zkonstruován pro potrubí o průměru 150 mm a díky jeho technologii čtyř autonomně se pohybujících ramen s pásovým zakončením může projíždět dokonce i pravouhlymi koleny a dokáže si poradit i s odbočkou ve tvaru písmene T.

Robot FAMPER se skládá z hlavního těla, kde je umístěna řídicí jednotka, kamera, osvětlení atd. Dále se skládá z pásových podvozků a systému zajišťujícího přítlak. Každý z pásových podvozků je poháněn dvěma motory a jeho pohyb může být řízen nezávisle na ostatních, což robotu poskytuje jeho unikátní vlastnost. [4]



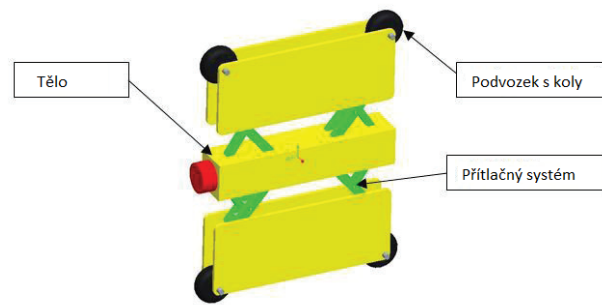
Obrázek 5 – schéma robotu typu housenka s přítlačným mechanismem

Zdroj: [1]

### ii. Kolový podvozek s přítlačným systémem

Kolový typ s diferenciálním pohonem poskytuje výborné ovládání zejména v rozvětvené potrubní síti. Integrace kolového a přítlačného mechanismu zvýší sílu, kterou působí kola na stěnu potrubí. Tímto se zvyšuje tření a nedochází k nežádoucímu prokluzu. Tento hybridní mechanismus pohybu není

výrazně odlišný od housenkového typu s výjimkou výrazně menší styčné plochy mezi pohonným ústrojím (kolem) a povrchem potrubí. Výhodou tohoto mechanismu je jeho vyšší rychlost. [1]

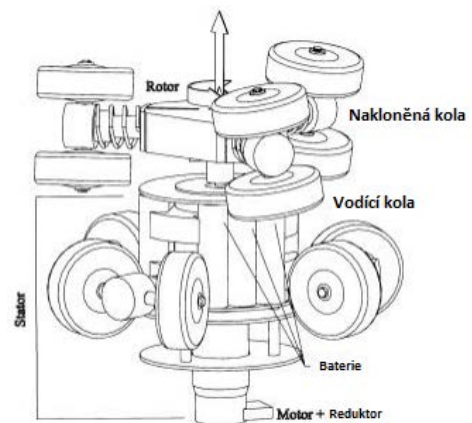


Obrázek 6 – Schéma kolový podvozek s přítlačným systémem

Zdroj: [1]

### iii. Šroubový systém s přítlakem a koly

Robot se skládá ze dvou hlavních částí, statoru a rotoru. Obě části jsou propojeny aktivním šroubovým mechanismem, který je poháněn motorem spojeným s reduktorem<sup>2</sup>. Stator je vybaven sadou koleček, které umožňují pohyb rovnoběžně s osou potrubí. Rotor je vybaven kolečky, která jsou nakloněná s malým úhlem oproti rovině kolmé k ose potrubí. Tímto způsobem, je stator nucen pohybovat se ve směru osy potrubí, zatímco kola rotoru se pohybují pouze po spirálovité trajektorii. Takový způsob pohonu robotu umožňuje překonávat i kolmá stoupání a to i v případech, kdy jsou stěny potrubí kluzké. Nevýhodou mechanismu je jeho nízká rychlost pohybu [5]



Obrázek 7 – Schéma šroubového systému s přítlakem a koly

Zdroj [5]

## 4. Dostupnost revizních robotů na trhu

Jak již bylo zmíněno výše, roboty se v posledních pár letech staly nedílnou součástí běžných oprav a revizí potrubních systémů. V dnešní době má zákazník, možnost si robot pořídit, pronajmout anebo si objednat služby specializované firmy, která revizi pomocí robotu provede za něj.

### a. Český trh

Na českém trhu nepůsobí doposud žádný výrobce, který by se specializoval na výrobu revizních robotů schopných odolat vlhkosti či vlivu agresivního prostředí (např. zbytkům po chemické a petrochemické výrobě). Zatím byly vyvinuty pouze prototypy v rámci akademické práce [6], avšak jeho průmyslová výroba doposud nezačala.

V současné době zde působí obchodní zastoupení společností PROXIS [7], IMS Robotics [8], Panorama [8] atd., které se orientují na prodej robotů pro revize vodovodních a kanalizačních potrubních řádů. Mezi zavedené služby na trhu patří také možnost pronajmout si robot pouze na dobu

<sup>2</sup> Reduktor (v automobilech často též redukce) je označení pro převodovku, která snižuje otáčky. [28]

potřebnou k revizi. Nejčastěji jsou revizní roboty v České republice provozovány specializovanými firmami, které zajišťují tzv. „revize na klíč.“

Největším průkopníkem na poli vývoje revizních robotů v České republice je bezpochyby společnost Neovision s.r.o., která ve spolupráci s Fakultou elektrotechnickou ČVUT vyvinula a posléze začala provozovat revizní robot vzduchotechnického potrubí JETTY. [9]

#### i. Revize na klíč

Z níže uvedené tabulky je patrné, že ceny revize kanalizace jsou téměř shodné, avšak pouze některé společnosti se zabývají revizemi kanalizací větších průměrů (nad DN 200).

Tabulka 1 - Vybrané společnosti poskytující revize na klíč

Název společnosti	Působnost	URL	Cena	Poznámka
Kanálník	Praha + Střední Čechy	<a href="http://www.kanalnik.cz">www.kanalnik.cz</a>	130 Kč/m	
A.K.Servis s.r.o.	Praha	<a href="http://www.kanalizace-instalateri.cz">http://www.kanalizace-instalateri.cz</a>	100-200 Kč/m	
Tvs – centrum Praha s.r.o.	Praha	<a href="http://www.tvs-centrum.cz">www.tvs-centrum.cz</a>	100kč/m	
MFK-Group s.r.o.	Brno a okolí	<a href="http://www.mfk.cz">www.mfk.cz</a>	100 Kč/m	
Herčík a Kříž s.r.o.	Praha	<a href="http://www.hercikakriz.cz">www.hercikakriz.cz</a>	140 Kč/m	240kč/m průměry nad DN 200
AAA-Záchranná technická služba s.r.o	Praha	<a href="http://www.zts.cz">www.zts.cz</a>	130 Kč/m	
Wombat s.r.o.	Brno	<a href="http://www.wombat.cz">www.wombat.cz</a>	25-35 Kč/m	Vysoká sazba za km až 10 Kč/km
Zepris s.r.o.	Praha	<a href="http://www.zepris.cz">www.zepris.cz</a>	100 Kč/m	

#### ii. Technické parametry vybraných revizních robotů

##### BMH

Vůz Hydro Max - Vysokotlaké zařízení FY IBOS [10]

- Výkon čerpadla je 80 l/min při pracovním tlaku 160 bar
- Vestavba vozidla má zabudované nádrže pro objem 2 m<sup>3</sup> vody
- Vysokotlakové hadice používané pro čištění potrubí (¾'' a ½'') s délkou 80 bm
- Zařízení je možné ovládat pomocí dálkového ovladače do vzdálenosti 100 metrů
- Možnost napojení na hydrant – výhoda snížení prostojů
- Volba a výběr z mnoha trysek (Radi 70 ¾'', FS tryška ¾'', Flunder ¾'' atd.)

### Wombat

Společnost Wombat disponuje inspekčními roboty více výrobců, což ji umožňuje lépe splnit požadavky zákazníka. [11]

#### KA-TE robot

- Špičkový hydraulický robot pracující v profilech od DN 200 – DN 600
- Pohon: pouze hydraulický
- Mobilní systém: celé zařízení včetně řídicí místnosti umístěno v dodávkovém vozidle

#### IMS-ROBOTICS Turbo

- Hydraulický robot pracující v profilech od DN 200 – DN 600
- Možnost připojení přídavné kamery (IMS – mikro premium) pro inspekci kolmých potrubí

#### SIKA robot

- Pneumatický robot, pracující v profilech od DN 200 – DN 600
- Okamžité odstranění zjištěných poškození
  - Utěsnění prasklin kvalitními tmely
  - Zabroušení a zahlazení
  - Zpevnění nebo rekonstrukce pomocí ocelové výztuže
  - Odfrézování vrstlých kořenů

#### IMS-ROBOTICS mini

- Pneumatický robot pro sanaci potrubí od DN 80 – DN 150

### Hermes technologie

Hydraulický frézovací robot HF 130 (obr. 8) [12]

- Rozměry hlavního potrubí: 130 – 300 mm
- Délka kabelu: 75 metrů
- Frézovací motor: hydraulický, 2 kW
- Pohon rotace frézovacího prvku: elektrický
- Pohon pro pohyb frézovacího prvku nahoru/dolů: hydraulický
- Pohon stroje: elektrický

Hydraulický frézovací robot HF 200 (obr. 9) [13]

- Rozměry hlavního potrubí: 200 – 800 mm, včetně úseků vejčitého tvaru
- Délka kabelu: 75 metrů
- Motor pro frézování: hydraulický, 2 kW
- Pohon rotace frézovacího ramena: elektrický
- Pohon frézovacího ramena: hydraulický
- Pohon stroje: elektrický



Obrázek 8 - Hydraulický frézovací robot HF 130

Zdroj: [12]



Obrázek 9 - Hydraulický frézovací robot HF 200

Zdroj [13]

## Neovision

JETTY

Tabulka 2 - Technické parametry robotu JETTY

Zdroj: [14]

### Technické parametry

Minimální průměr potrubí:	360 mm
Maximální průměr potrubí (standardní konfigurace)	710 mm
Maximální průměr potrubí (s přidanými nástavci)*	1300 mm
Maximální rychlost pojezdu	70 mm/s
Pohotovostní hmotnost robotu (bez přívodní hadice a kabelu)	36 kg
Délka hadice pro suchý led (max.)	50 m
Napájení rozvaděče	100–240 VAC
Tvary potrubí	kulatý i hranatý průřez, esovitě zahnuté, svislé

\* možno upravit dle potřeb zákazníka

## b. Světový trh – výrobci

Velké množství revizních robotů lze zakoupit přímo od čínských výrobců prostřednictvím wholesale serveru Alibaba. [15] Výhodou těchto zařízení je jejich nižší pořizovací cena, avšak z předchozích vlastních zkušeností s nákupem od čínských dodavatelů, lze počítat s vyšší mírou rizika zmetkovosti a výrazně delší dobou od zaplacení po dodání výrobku (řádově desítky dnů)

### i. Výběr Evropských výrobců revizních robotů

#### IMS Robotics

IMS Robotics GmbH je středně velká firma sídlící v Sasku, která působí v oblasti moderních technologií ochrany životního prostředí více než 15 let. Specializuje se na návrh, konstrukci a výrobu robotů pro revizi a opravu kanalizační sítě. Jejich velmi inovativní výrobky byly opakovaně patentované a jsou charakteristické svou přesností a efektivitou. [16]

Výrobky:

IMS cutter DRIVE light (obr. 10) [17]

- Může být použit pro potrubí s vnitřním průměrem od DN 150/6 " do DN 400/16 "
- Vnější průměr zařízení: 125 mm/5"

- Vzduchem poháněná motorová rozbrušovací fréza
- Háček pro pomoc snadnější manipulaci
- Různá kola a prodlužovací díly pro jmenovité světlosti až do DN 400/16 "
- Barevná kamera s LED přísivitem
- Permanentní čištění kamery vzduchem
- Kabelové dálkové ovládání s joystickem
- Potenciometr pro regulaci světla
- 100 m přívodní kabeláže
- Ochrana dle IP 54



Obrázek 10 - Robot IMS cutter DRIVE light

Zdroj: [17]

IMS cutter TURBO (obr. 11) [18]

- Velký rozsah použití v potrubí od DN 200 do DN 400
- Extrémně krátká doba pro změnu nominálních průměrů
- 100 m přívodní kabeláže
- Přesné ovládání řezacího robota 2 dynamickými joysticky
- Barevný fotoaparát s čištěním vodou a stěrači
- Mohou být instalovány různé řezné nástroje
- Možnost připojení navijáku pro snadné vložení do šachty



Obrázek 11 - Robot IMS cutter TURBO

Zdroj: [18]

## ii. Čínští výrobci (Alibaba)

Většina čínských výrobců má zařízení se stejnou konstrukcí. Cenové podmínky se liší podle počtu odebraných kusů.

360 kingstronic pipe inspection robot (obr. 12) [19]

- Průměr od DN 100 do DN 600
- Průměr pneumatik 85 mm (130 mm volitelně)
- Manuálně ovládaná plošina
- Pracovní napětí: 24V
- Maximální výstupní výkon: 40W
- Zatížení: 20kg (Max)
- Rychlost: 0 - 18 m/min, pohon šesti kol
- Dva motory - zatáčení pomocí regulace výkonu
- Samostatně ovládaná kamera



Obrázek 12 - robot 360 Kingstronic

Zdroj: [19]



## 5. Shrnutí - výhody a nevýhody dostupných produktů

Jak už bylo zmíněno výše v části 3. b., existují konstrukce, které kombinují výhody dvou mechanismů pohybu a svými vlastnostmi předčí klasický mechanismus s koly. Z průzkumu trhu však plyne, že tyto nové hybridní konstrukce stále nemají široké uplatnění v praxi. Toto je zapříčiněno zejména vyšší pořizovací cenou složitějších konstrukcí, ale také uspokojivou funkčností kolového mechanismu při většině standardních aplikací.

Produkty dostupné na českém trhu (popř. evropském) jsou primárně využívány na revize kanalizačního potrubí, kde nemusí čelit agresivnímu prostředí průmyslového potrubí. Tomu odpovídá i jejich konstrukce. Mezi hlavní nevýhody revizních robotů kanalizace patří zejména absence přítlačného mechanismu, který by robotu pomohl v pohybu v místech znečištěných látkami snižujícími tření mezi koly a povrchem potrubí (např. ropnými produkty). Další nevýhodou je pouze omezená průjezdnost nerovnými úseky (omezená průjezdnost zatáčkami a omezený vertikální sklon potrubí).

Jako hlavní výhodu pro potenciálního zákazníka uvažujícího o využití revizního robotu spatřuji možnost vybrat si z velkého množství firem, které nabízejí pronájem robotu, či revizi kanalizace na klíč. Zájemce tudíž nemusí investovat relativně vysoké finanční prostředky do pořízení vlastního robotu. Tím se revize pomocí robotů stávají dostupné pro více zájemců a jejich počet roste.

Systém Jetty se od ostatních produktů odlišuje. Hlavní výhodou tohoto systému je jeho vyšší průjezdnost a možnost se pohybovat i ve vertikálním hladkém potrubí.

Velkou nevýhodou systému Jetty je náchylnost na znečištění a nízká odolnost vůči vlhkosti. Tento robot je prozatím primárně určen pro revize potrubí vzduchotechniky. Proto robot Jetty nelze použít pro revize průmyslového potrubí v petrochemických továrnách a elektrárnách.

Na český trh se v současné době nedodává produkt, který by byl přímo konstruován pro revizi potrubí v chemických, petrochemických provozech a elektrárnách.

## 6. Specifikace účelu, vlastností a hlavních parametrů prototypu

Hlavním cílem této práce není navrhnout koncept prototypu, který by konkuroval stávajícím produktům na trhu. Snahou je navrhnout prototyp robotu, pro specifické účely revize potrubí v chemických, petrochemických provozech a elektrárnách. Díky této specializaci by budoucí produkt měl obstát v těžké konkurenci ostatních výrobců a pokusit se získat podíl na doposud neobsazeném trhu.

### a. Základní parametry

Tyto parametry vycházejí z běžné konstrukce potrubních systémů potenciálních uživatelů robotu.

- Velikost potrubí od DN 150 do DN 300
  - konkurence nejčastěji od DN 200 do DN 600, od DN 80 do DN 150 (kanalizační roboty)
- Odolnost vůči ropným produktům
- Krytí IP67, nebo lepší
- Dojezd cca 70 až 100 m od vstupní šachty
- Uplatnění pro přímé trasy potrubí (maximální vertikální sklon do 5%)

### b. Návrhové parametry

Tyto parametry bude nutno optimalizovat ve fázi prvotního výzkumu prototypu. Základním hlediskem pro rozhodování budou požadavky potenciálních zákazníků na výsledný produkt, technické limity konstrukce a ekonomické otázky průmyslové výroby robotu.

#### i. Pohon stroje (motor)

- Elektrický
  - Výhody: Jednodušší zdrojový kabel (snazší izolace, nižší váha atd.)
  - Nevýhody: Vyšší náchylnost robotu na vlhkost
- Hydraulický
  - Výhody: Nižší náchylnost na vlhkost
  - Nevýhody: Přívodní hadice s hydraulickou kapalinou náchylná na poškození

Zde bude nejvíce rozhodovat cena jednotlivých komponent a schopnost robotu táhnout přívodní kabel. V případě použití elektromotorů v kombinaci s bateriemi, by mohla vyšší váha přispět k celkovému přítlaku robotu a mohla by zabránit prokluzu kol. Možným problémem je prokluz a ztráta trakce při překonávání spádového sklonu potrubí.

#### ii. Konstrukce

- Hybridní mechanismus na základě kolového podvozku
  - Modulární systém – Vyměnitelná kolečka dle prostředí
    - Volba vhodného materiálu
    - Volba vzorku styčných ploch
- Pokus s pásovým mechanismem
  - Vyšší součinitel tření v mazlavém prostředí (nutno provést test)

Primárně bude zvolen hybridní kolový mechanismus. Volbou různých materiálů koleček, lze docílit optimálních vlastností pro různá prostředí (vysoká vlhkost a teplota v potrubních systémech elektrárny, nebo kluzký agresivní povrch v chemických provozech), ale také lze nabídnout lepší ekonomickou strategii následného prodeje. Zákazník zaplatí jen kolečka, která bude opravdu používat, tím se výsledný produkt stane po cenové stránce více konkurenceschopný. Vyměnitelná kolečka by

měla výrobci přinést přidružený zisk v podobě prodeje náhradních dílů, za opotřebené spotřební části robotu.

### iii. Adaptivní rozvor

- Vychází z teorie modulárního systému
  - Výběr z 2 až 3 velikostí koleček

Adaptivní velikost koleček by měla konečnému zákazníkovi zajistit optimální funkčnost robotu v širším rozsahu průměru potrubí (deklarováno výše)

### iv. Přítlačný mechanismus na hřbetu

- Pohyb přítlačného mechanismu
  - Aktivní (ovládaný servomotorem, podvozek poháněn)
  - Pasivní (systém s pružinou)
  - Aktivně pasivní (ovládaný přítlak, podvozek bez pohonu)
- 2 typy konstrukce
  - Přítlačné kolečko
  - Druhý podvozek viz kolový přítlačný systém

Přítlačný mechanismus na hřbetu zvýší konstrukční náročnost robotu. Avšak pro plánované využití revizního robotu zajistí dostatečnou přítlačnou sílu, která zvýší jeho průjezdnost a zaručí tak robotu nespornou výhodu oproti konkurenci.

Mechanismus může být konstruován čistě pasivní, to znamená, že přítlak rozpěrného mechanismu bude zajišťovat soustava pružin a svrchní kolečko nebude poháněno. Druhou možností je čistě aktivní konstrukce, kde bude rozpěrný systém ovládán elektrickým motorem nebo hydraulickým pístem a svrchní kolečko bude poháněno vlastním motorem. Jak z funkčního tak i z ekonomického pohledu se jeví jako nejpravděpodobnější možnost použití kombinace aktivně ovládaného rozpěrného mechanismu a kolečka bez pohonu.

### v. Kamera

- Počet kamer
  - Kombinace statických a pohyblivých kamer
- Pohyblivý mechanismus kamer
  - Forma kopule
  - Pohyblivá kamera na rameni

Počet kamer bude záviset na jejich rozmístění a bude volen s ohledem na maximalizaci zabírané plochy. Během revizí může docházet ke znečištění kamery, proto bude nutné zvážit všechny možnosti realizace čistícího mechanismu. Jedním z hlavních konstrukčních problémů bude návrh mechanismu sloužícímu k pohybu s kamerou. Výhodou kopule je izolace mechanismu od agresivního vnějšího prostředí, avšak nevýhodou je její náchylnost na poškození a znečištění.

### vi. Osvětlení

- LED
  - Kalibrace optimální teploty pro zobrazení vad

LED osvětlení bylo zvoleno na základě jeho vhodného poměru cena/výkon. V rámci vývoje prototypu bude nutné vybrat vhodnou teplotu LED světel, která by napomáhala co nejsnazší detekci poškození v potrubí.

#### vii. Těsnění

- Nutno dodržet požadavky na chemickou odolnost
- Možnost aplikace vnitřního přetlaku

Těsnění musí být navrženo a testováno pro dodržení IP 67 nebo vyšší a musí být odolné i proti agresivnímu vlivu chemikálií. Návrh základní kostry by mohl být učiněn ze sklolaminátu, který požadovanou odolností disponuje a dá se také snadno tvarovat pomocí forem.

#### viii. Komunikace s robotem

- Bezdrátová komunikace (možnost rušení signálu)
- Optický kabel
  - Nebezpečí „zlomení“
- Ethernetový kabel
  - Omezené použití max. délka cca 100m
  - Nutné stínění vůči elektromagnetickému rušení

#### ix. Řídicí systém

- Specializovaná řídicí jednotka
  - Vysoká cena
  - Nutnost po čase inovovat
- Software kompatibilní s OS Windows
  - Problémy s HW standardem

Výroba vlastního řídicího pultu s integrovaným ovládáním a zobrazovací jednotkou by s sebou nesla velké finanční náklady, které by se projevíly do konečné ceny produktu a snižovaly by jeho tržní konkurenceschopnost. Dalším problémem při užívání specializovaného řídicího pultu by bylo zastarávání jeho hardwaru, tudíž by muselo docházet v určitých intervalech k modernizaci. Každá modernizace by znamenala, další náklady, které by se promítly do ceny produktu. Obrovskou výhodou tohoto pojetí ovládání je, že by výrobce mohl nastavit a udržet vysoký uživatelský standard a zaujmou tak zákazníka.

V případě použití řídicího softwaru, který by bylo možné instalovat na zařízení se standardním OS (Windows a Linux), by mohlo docházet k zanedbávání hardwarových nároků ze strany uživatelů. Tím by mohlo docházet k nekvalitnímu zobrazování video výstupu z kamer a snížení uživatelského komfortu pro zákazníka.

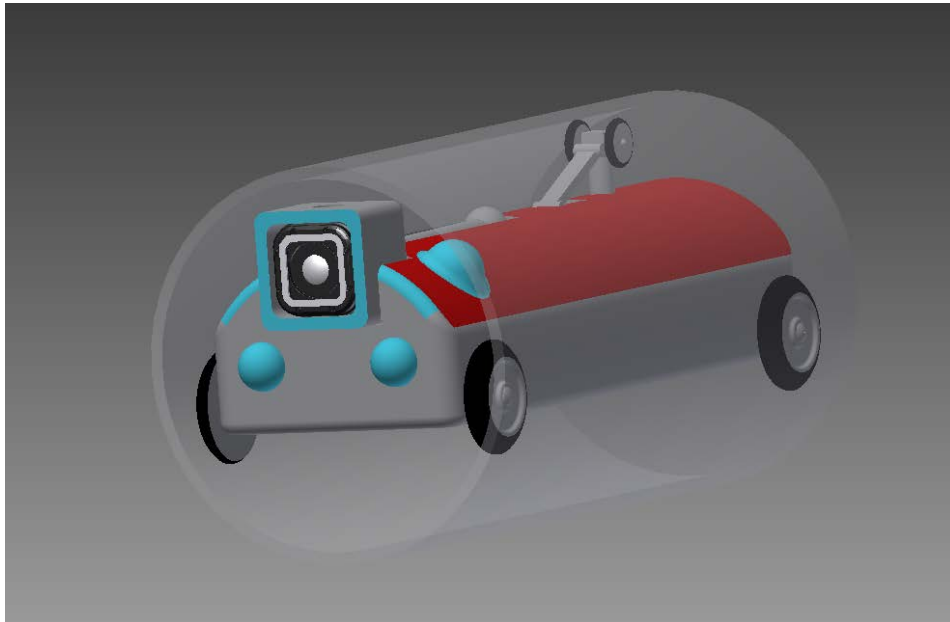
## 7. Koncepční návrhy konstrukce robotu

### a. Koncept 1

Tento koncept (obr. 13) vychází z klasické konstrukce kolového podvozku, ke které byl přidán aktivně pasivní přítlačný mechanismus za účelem zvýšení síly působící na hlavní hnací kola a tudíž i zlepšení průjezdnosti robotu. Mezi hlavní výhody tohoto robotu bude patřit sada vyměnitelných kol, díky níž bude schopen se adaptovat průměrům potrubí až do rozměru DN 300. Tělo robotu bude vyrobeno z dvou polotovarů. Prvním polotovarem bude sklolaminátové potrubí o průměru 120 mm a druhým polotovarem bude obdélníkový protikus. Celý trup bude dohromady buď svařen, nebo mechanicky spojen.

Celý robot bude spojen s obsluhou pomocí záchranného pevnostního lana, za který bude možno robot v případě nouze vytáhnout. Datové spojení s povrchem bude probíhat digitální cestou pomocí optického kabelu či ethernetovým kabelem, který bude spojen se záchranným lanem.

V případě tohoto robotu nebude použit samostatný řídicí hardware, ale bude vyvinut řídicí program kompatibilní s běžnými OS.



Obrázek 13 - Robot koncept 1 v potrubí DN 150

Legenda:

Modrá barva – Osvětlení

Červená barva – Polotvar sklolaminátové potrubí

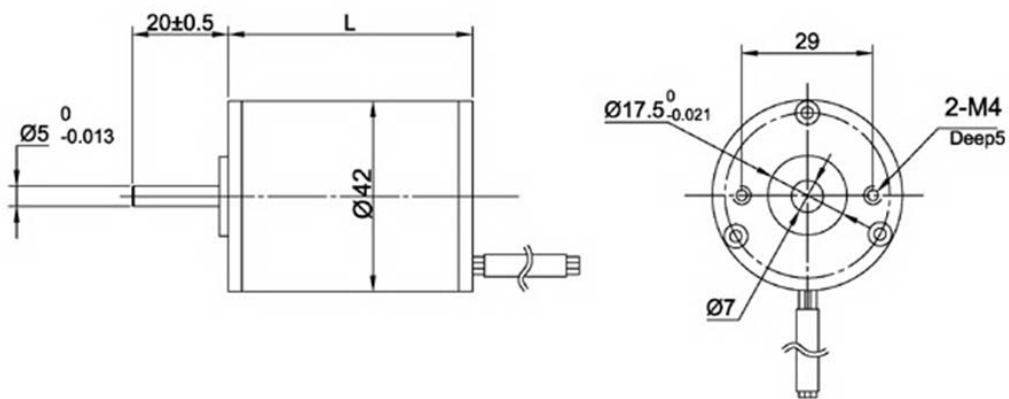
Černá barva – Povrch kol (specifická směs pro různá prostředí)

#### i. Pohonná jednotka a řízení

Předpokládaný pohon robotu bude tvořit dvojice nezávisle řízených elektromotorů, které budou umístěny u zadní nápravy, také je plánováno vyzkoušet realizaci pohonu všech čtyř kol. Pohon 4x4 bude vyžadovat konstrukci mechanismu převodu krouticího momentu od motoru k přednímu a zároveň zadnímu kolu. Rozložení krouticího momentu bude stálé a dělicí poměr mezi předním a zadním kolem bude 50:50. V případě nutnosti bude možno dělit libovolně výkon mezi pravou a levou stranu. Jeden motor bude zodpovědný vždy za pohon kol na jedné straně robotu.

Řízení robotu a pohyb ramene s kamerou bude zajišťovat základní deska Arduino. Tato základní deska však nevládne přijímat, zpracovávat a přeposílat video signál z kamery. Proto bude nutné přenášet video signál přímo z kamery k operačnímu středisku, nebo použít výkonnější, avšak dražší základní desku.

### DIMENSIONS (MM)

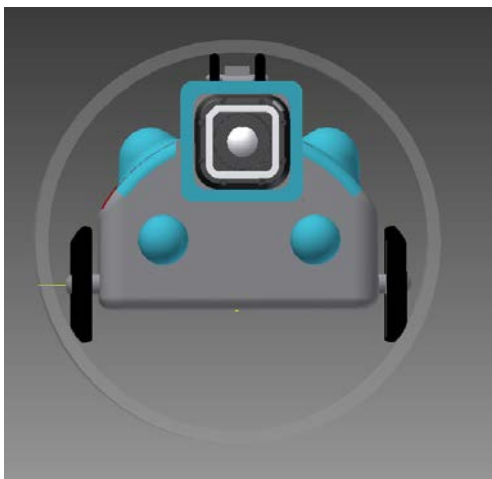


Obrázek 14 - Schéma a charakteristika motoru NEMA 17 42MM ROUND BRUSHLESS DC MOTOR

Zdroj: [20]

### ii. Osvětlení

Osvětlení bude u tohoto konceptu rozděleno na dvě osvětlovací skupiny, hlavní osvětlení (párová světla) a pomocné světelné pásy.



Obrázek 15 - Detail osvětlení

#### Hlavní osvětlení

Hlavní osvětlení bude tvořeno dvojicí čelních reflektorů, které budou nainstalovány záměrně mimo osu kamery umístěné v základní pozici. Toto rozmístění bylo zvoleno, aby došlo k omezení negativního vlivu vrhání stínu. V případě nedostatečného osvětlení prostoru před robotem bude tento pár světel nahrazen jedním světelným panelem, který bude pokrývat většinu čela robotu.

Druhý pár hlavních světel bude umístěn na hřbetu robotu a bude se starat o osvětlení vrchní části potrubí. U tohoto páru světel bude žádoucí dosáhnout co možná nejširšího úhlu osvitu.

#### Pomocné světelné pásy

První světelný pás na přechodu od čela ke hřbetu robotu bude sloužit ke kompenzaci „slepého“ úhlu hlavního osvětlení. Přísvit kamery bude sloužit pro dokonalé osvětlení zkoumané oblasti.

#### Technické parametry:

Napájecí napětí:	12V=
Spotřeba:	30W/m
Proud:	2,5A/m
Počet LED:	60ks/m
Teploty chromatičnosti:	3000K, 4000K a 5000K
Světelný tok:	3400, 3250 a 3100lm/m (5000, 4000 a 3000K)
Účinnost použitých LED:	145lm/W (5000K)
Účinnost ledpásku:	115lm/W (5000K)
Index podání barev:	vyšší než 80
Šířka:	12mm
Rozteč LED:	16,66mm
Dělitelnost:	každých 50mm
Životnost:	35000 provozních hodin (pro pokles svítivosti o 30%)
Pracovní teplota prostředí:	-25 až +60st. C
Skladovací teplota:	-25 až +80st. C

### iii. Přítlačný mechanismus

Pro tento koncept bude primárně navržen přítlačný mechanismus pasivní pružinový. To znamená, že nebude možné regulovat přítlačnou sílu, kterou kola na povrch trubky vyvinou. Nedostatky tohoto systému budou kompenzovány jeho jednoduchostí.

Náběžná hrana přítlačného mechanismu bude opatřena přídavnou vzpěrou, která bude nejen zvyšovat ohybovou tuhost tohoto mechanismu, ale bude také mít za úkol mechanismus sklopit v případě nárazu na vyčnívající překážku v horní části trupu.

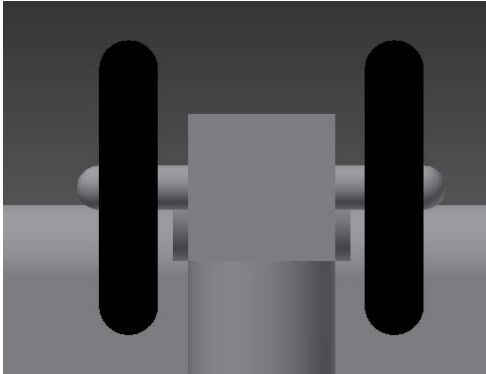
Hlavní nevýhodou tohoto řešení přítlačného mechanismu je nebezpečí vzpříčení při návratu. Jedno z možných řešení pro vylepšení tohoto konceptu je přidání funkce aktivního odpojení přítlačného mechanismu. Tato funkce by vyžadovala přidání dalšího pohonu do vnitřku robotu a jeho propojení s vnitřní částí přítlačného mechanismu. Tento pohon by měl být schopen překonat sílu pružiny ve stlačeném stavu.



Obrázek 16 - Přítlačný mechanismus

#### iv. Kola

Na robotu budou vždy přítomny dva typy kol - kola podvozku a kola přitlačného mechanismu.



##### Kola přitlačného mechanismu

Tato kola budou mít zhruba poloviční průměr než kola podvozku. Materiál disku kola bude tvořit pevnostní plast, který bude opatřen potřebnou chemickou ochranou, v případě nedostatečné chemické odolnosti bude materiál disku možné změnit. Běhoun kol bude symetrický a bude tvořen stejným materiálem jako běhoun kol podvozku. Kola budou na společné hřídeli a nebudou poháněna.

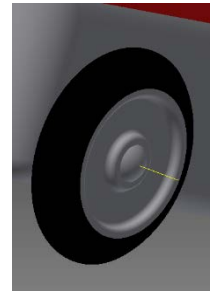
Obrázek 17 - Detail kola přitlačného mechanismu

##### Kola podvozku

Materiál disku kola bude nerezová ocel (popřípadě ocel zušlechtěná tak, aby odolala chemicky agresivnímu prostředí). Tvar běhounu kol bude silně asymetrický, viz obrázek 18. Část běhounu, která bude v kontaktu s potrubím, bude mít daleko větší rádius zakřivení. Tato technická úprava zvětší styčnou plochu mezi potrubím a kolem. Dojde tak k výraznému zlepšení průjezdnosti robotu.



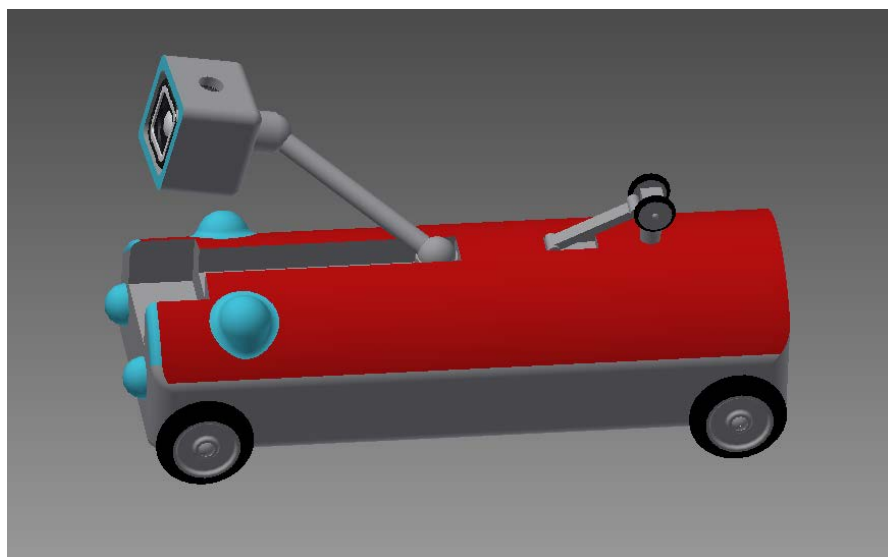
Obrázek 18 - Detail asymetrie kola podvozku



Obrázek 19 - Detail kola podvozku

#### v. Kamerový systém

Pro tento koncept bude použita kamera GOPRO Hero 4. Zejména kvůli jejím malým rozměrům a vysoké kvalitě záznamu. Bezdrátový signál bude zpracován přímo v robotu a na povrch bude dopraven pomocí kabelu. V rámci zkvalitnění video přenosu bude použit autonomní pohybový mechanismus schopný pohybovat kamerou ve všech třech osách.



Obrázek 20 - pohybový mechanismus kamery



## vi. Materiál trupu (sklolaminát)

### Použití a aplikace sklolaminátového potrubí

- Chemické závody
- Transport geotermálních vod
- Chladicí okruhy
- Letecká paliva a kapalná paliva (ropný základ)
- Sanitární / odpadní voda
- Mořská voda
- Větrání / klimatizace atd.

### Mechanické vlastnosti

Tabulka 4 – Mechanické vlastnosti sklolaminátu

Zdroj: [22]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Součinitel tepelné vodivosti stěny trubky	0,33	W/m*°K
Tepelná roztažnost (lineární)	18*10 <sup>-6</sup>	mm/°C
Absolutní drsnost	150	Hazen Willims
Hustota	1800	kg/m <sup>3</sup>
Měrné teplo	910	J/kg*°K
Elektrický odpor	10 <sup>6</sup>	Ohm/m
Stínící schopnost	100	Volt

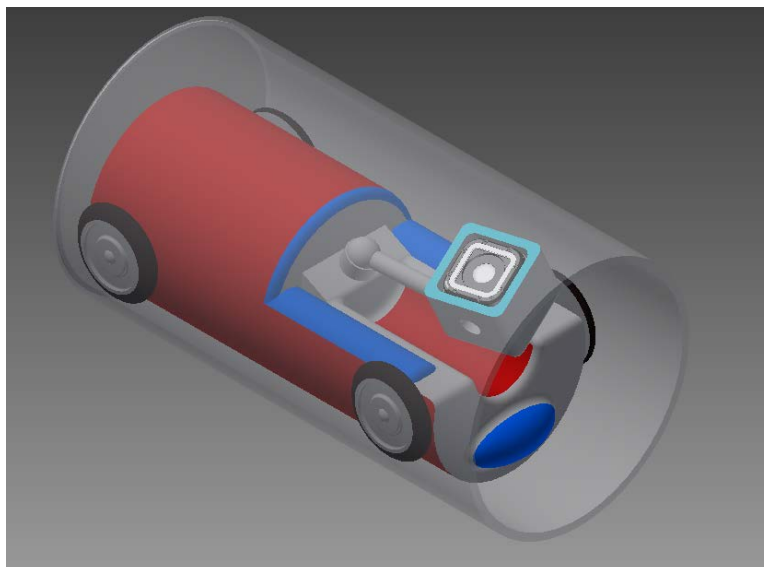
## vii. Komunikační systém

V případě tohoto konceptu bude použito spojení s řídicím PC pomocí datového kabelu, který povede v přívodní hadici společně s přívodním kabelem elektrické energie. Délka přívodního kabelu bude odpovídat projektované dojezdové vzdálenosti tj. cca 100 metrů. Z tohoto důvodu se jako nejvhodnější jeví použití ethernetového kabelu v kombinaci s výkonnější průmyslovou sběrnici. Aby se předešlo možným ztrátám, bude kabel odstíněn od vlivu okolního rušení (např. elektromotory, transformátory atd.) Další důležitou částí přívodního kabelu bude samotná vnější izolace, která bude citlivou vnitřní kabeláž chránit před vlivem vnějšího agresivního prostředí. Dalším požadavkem na izolaci bude nízká hmotnost a vysoká flexibilita, aby nedošlo ke snížení průjezdnosti robotu, či jeho uvíznutí.

### b. Koncept 2

Jedná se o koncepční návrh robotu, který je značně zjednodušen oproti konceptu 1. Jeho hlavní výhodou bude nižší náročnost při výrobě. Tělo robotu bude tvořeno monolitním polotovarem sklolaminátové trubky DN 110. Při výrobě nebude nutno laminovat dohromady dva nesourodé polotovary dohromady. Tímto způsobem bude zajištěna vyšší odolnost robotu proti mechanickému poškození. Koncept 2 není v základu vybaven přítlačným mechanismem. Absence tohoto systému je způsobena nejen snahou minimalizovat náklady a omezit technickou náročnost výroby, ale také

z důvodu nedostatku místa. Koncept 2 je na délku o 50 mm kratší a má mnohem menší vnitřní užitný prostor sloužící pro uložení elektroniky a pohonu.



Obrázek 21 – Robot Koncept 2 v potrubí DN 150

Legenda:

Modrá barva – Osvětlení

Červená barva – Polotvar sklolaminátové potrubí

Černá barva – Povrch kol (specifická směs pro různá prostředí)

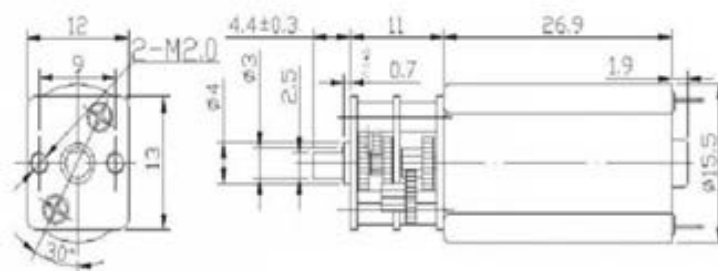
#### i. Pohonná jednotka a řízení

U tohoto konceptu bude poháněna pouze zadní náprava a není plánováno použití dvou nezávislých motorů. Řízení bude stejně jako u konceptu 1 zabezpečovat základní deska Arduino.

Tabulka 5 – Technická data – Elektromotor s převodovkou  
GM13-050SHV-35-R

Zdroj: [23]

Elektrický motor s převodovkou GM13-050SHV-35-R	
Jmenovité napětí	7V DC
Jmenovité zatížení	235 ot/min
Kroutící moment	355g/cm
Proud	184mA
Chod naprázdno (bez zatížení)	289 ot/min, 43mA
Rozběh	790mA 1880 g/cm

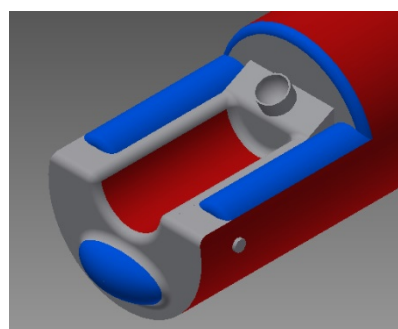


Obrázek 22 - Elektromotor s převodovkou GM13-050SHV-35-R

Zdroj: [23]

## ii. Osvětlení

Stejně jako u konceptu 1 bude osvětlení realizováno pomocí LED diod. Hlavní osvětlení bude zajišťovat jedna světelná větší výkonná dioda, která bude zabírat většinu čelní plochy robotu. O osvětlení svrchní části potrubí se postarají dva světelné pásy, které budou umístěny podél okraje prostoru pro kameru. Stejně jako u konceptu 1 bude kryt kamery vybaven vlastním systémem pro přisvit.



Obrázek 23 - Detail osvětlení

## iii. Přítlačný systém

Koncept 2 bude nejprve realizován jako obyčejný kolový mechanismus bez přidavného přítlaku. Tím bude snížena technická a konstrukční náročnost a zvýšena mechanická odolnost robotu. V případě, že v průběhu testování bude zjištěno, že robot bez přítlačného mechanismu nedosahuje požadované průjezdnosti zejména v potrubích znečištěných kluzkými médii, bude nutné uvažovat o následném přidání pasivního přítlaku. V případě nedostatku místa pro aktivní či pasivní přítlačný mechanismus bude zvětšena délka robotu.

## iv. Kola podvozku

Pro koncept 2 bude počítáno se stejným principem přizpůsobování robotu rozdílným průměrům potrubí a to pomocí vyměnitelných kol podvozku. Kola budou mít běhoun silně asymetrický, viz obrázek 18. Část běhounu, která bude v kontaktu s potrubím, bude mít daleko větší rádius zakřivení. Požadavky na chemickou odolnost použitého materiálu bude shodný s konceptem 1, tj. disk kola bude z nerezové oceli (popřípadě oceli zušlechtnuté tak, aby odolala chemicky agresivnímu prostředí) a běhoun bude ze speciálně navržené směsi zaručující optimální trakční vlastnosti.

## v. Kamerový systém

Pro návrh konceptu 2 bude také použita kamera GOPRO Hero 4. V případě, že se ukáže vhodné použití jiné kamery s možností snazšího přenosu a zpracování obrazových dat bude možno kameru GOPRO nahradit. Náhradní kamera musí mít podobné vnější rozměry.

## vi. Napájení

Konstrukce konceptu 2 disponuje dostatkem volného, jinak nevyužitelného, místa po dně trupu. Z důvodu zvýšení přitlaku na hnaná kola bude tento prostor vyplněn přídatnou zátěží. Za účelem úspory váhy přívodního kabelu bude testováno, zda nelze jako přídatnou zátěž a zároveň zdroj energie použít baterie umístěné do volného místa na dně trupu. V tomto případě bude nutné zjistit, zda baterie svou vahou vytvoří požadovaný přitlak.

Za předpokladu, že se podaří vyvinout dostatečně účinný systém bezdrátového přenosu signálu, bude spojení robotu s povrchem realizováno pouze pomocí tenkého bezpečnostního ocelového lanka.

## vii. Baterie



Obrázek 24 - Baterie Gens ace LiPO – 2s

Zdroj: [24]

Tabulka 6 - technické parametry Gens ace LiPO – 2s

Zdroj: [24]

### Technické parametry

10000-2S (7,4V)

Rozměry: 133,21 x 42,84 x 41,95 mm

Hmotnost: 526 gramů

Max. nabíjecí proud: 5 C

Max. proudové zatížení: 25C (95A)

Max. vybíjecí proud: 50C (190A)

Typ servisního konektoru: JST-XH

Typ silového konektoru: Traxxas

## viii. Bezdrátový komunikační systém

Při realizaci bezdrátového komunikačního systému budeme nutné počítat se silným tlumením signálu potrubím a vrstvou betonu či zeminy, ve které je potrubí uloženo. Pro minimalizaci rušení signálu, bude provedeno experimentální měření s konstrukcí přijímače, která se bude spouštět do ústí potrubí. Tento přijímač zůstane v potrubí po celou dobu revize a s řídicím centrem bude spojen datovým kabelem.

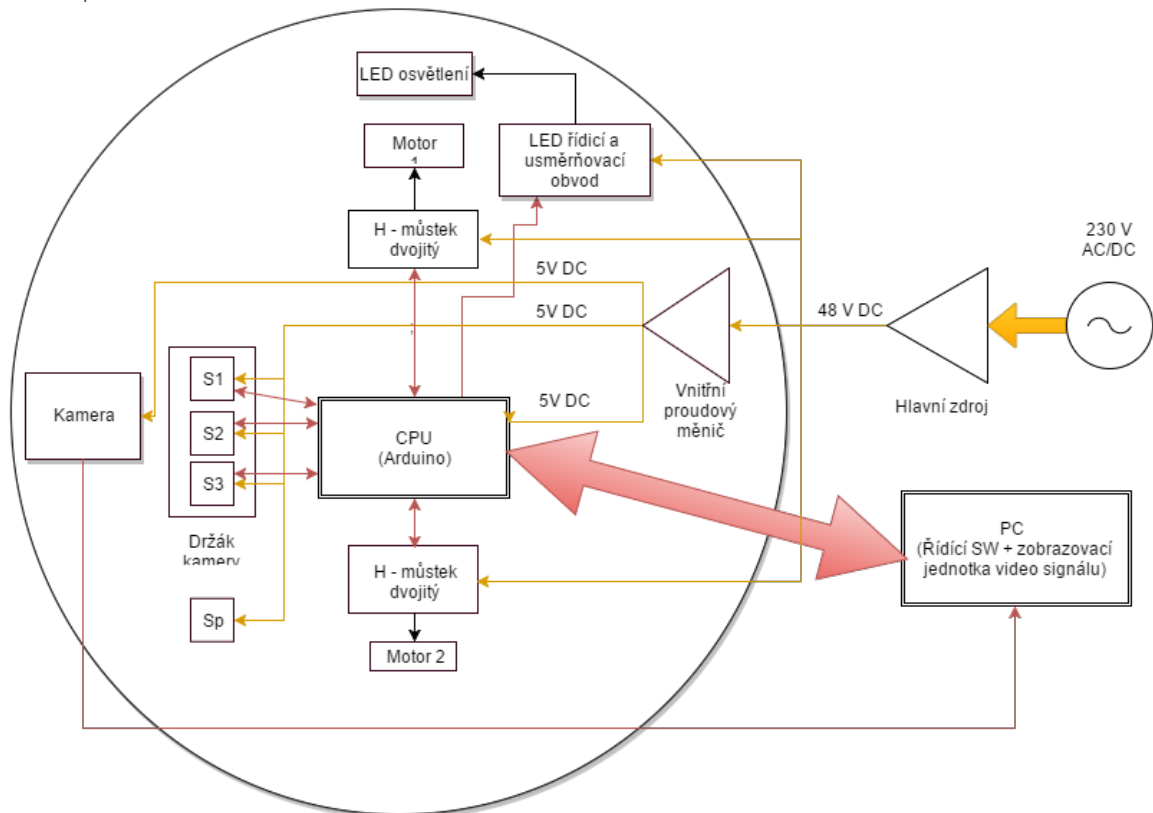
V případě, že se prokáže nepřijatelná míra rušení signálu, bude robot vybaven standardním přívodním kabelem. V tomto případě budou baterie z cenových důvodů nahrazeny obyčejnou zátěží a přívod energie bude taktéž po kabelu.

## ix. Materiál

I v případě konceptu 2 bude použit sklolaminátový polotovar. Technické parametry materiálu viz tabulka 4.

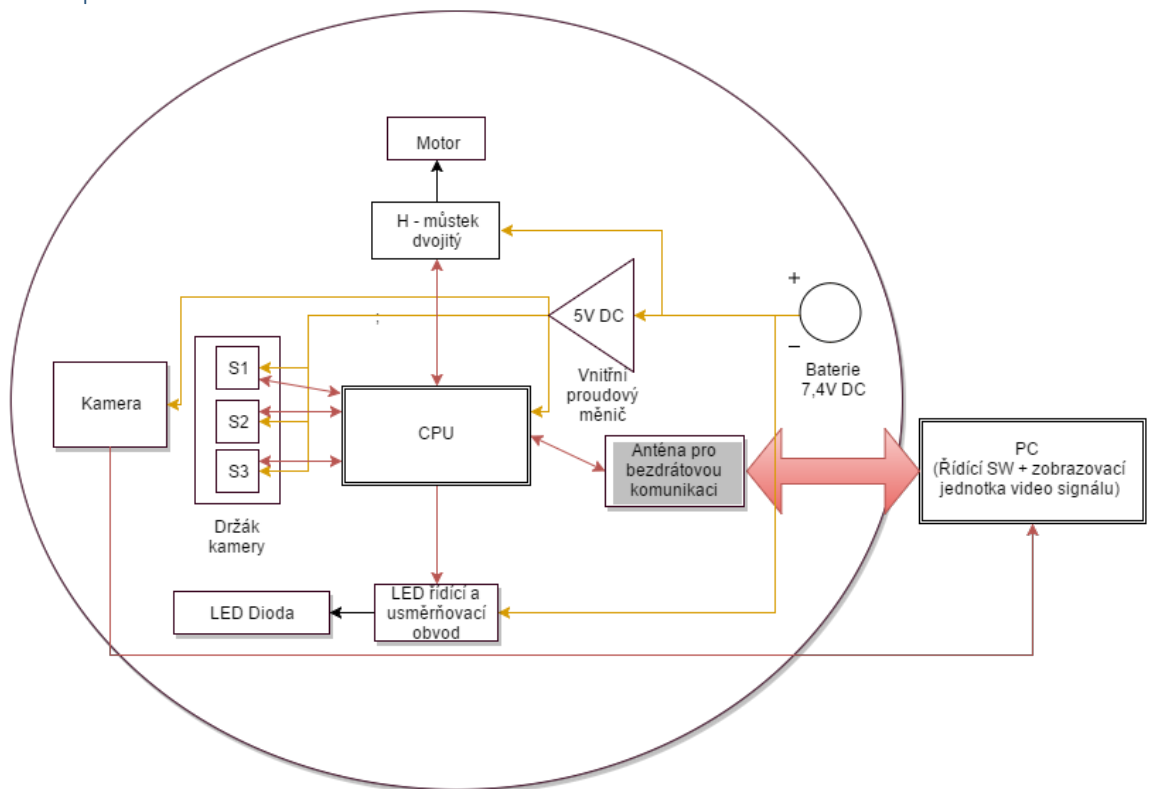
### c. Schémata vnitřních součástí jednotlivých konceptů

#### Koncept 1



Obrázek 25 - Schéma součástí - Koncept 1

#### Koncept 2



Obrázek 26 - Schéma součástí - Koncept 2

## d. Popis funkcí jednotlivých součástí

### i. CPU

Jedná se o řídicí jednotku, která bude reagovat na ovládací pokyny operátora. Pomocí mikroprocesoru přímo v řídicí jednotce bude řízen chod robotu.

### ii. Hlavní zdroj (Koncept 1)

Jedná se o průmyslový zdroj umístěný společně s operačním střediskem v dodávkovém voze (např. Mercedes Benz Sprinter, VW Crafter atd.), který bude schopný odolat podmínkám na místě realizace, jako je zvýšená prašnost, vlhkost atd. Zdroj bude sloužit k napájení robotu elektrickou energií a bude primárně poháněn diesel agregátem. Výstupní stejnosměrné napětí zdroje by mělo být alespoň 48 V z důvodu minimalizace ztrát ve vedení.

### iii. Motory

Motory budou napájeny vstupním napětím robotu (napětí bez průchodu proudovým měničem) za účelem minimalizace energetických ztrát a přehřívání vnitřního prostoru robotu. Napájecí napětí bude 48 V DC v případě Konceptu 1 a pro Koncept 2 7 až 9 V DC.

### iv. H - můstek

Komponenta sloužící k regulaci otáček a směru stejnosměrného motoru pomocí jednoduché ovládací elektroniky (Arduino). H - můstek je elektronická součást, standardně dostupná na trhu, která funguje na principu spojení čtyř tranzistorů. Na základě spínání tranzistorů je možné regulovat zapnutí vypnutí a smysl rotace motoru.

Ovládání rychlosti otáček motoru bude zajištěno pomocí pulsně šířkové modulace (PWM). Řízení pomocí PWM probíhá tak, že na můstek je vysílán signál v hodnotě 1 nebo 0 a na základě poměru v jakém jsou tyto signály v čase posílány, protéká můstkem proud a tím jsou řízeny otáčky motoru.

### v. Vnitřní proudový měnič

Součástka, která mění hodnotu stejnosměrného napětí. V případě obou konceptů půjde o změnu napětí dolů na úroveň vhodnou k napájení řídicí jednotky a servomotorů. Proudový měnič je standardní součástka bez problému dostupná na trhu. Hlavními parametry budou požadovaný rozsah proudové změny, celkové rozměry měniče, účinnost a tepelný výkon.

### vi. Baterie (Koncept 2)

Mezi hlavní parametry při výběru baterie budou celková kapacita, vnější rozměry a proudová kompatibilita s vybranými motory. Snahou bude vybrat takovou sestavu baterie - motor, tak aby bylo možné přímé zapojení bez nutnosti použití proudového měniče.

### vii. Servomotory

Pro začátek bude uvažováno s použitím krokových motorů se zpětnou vazbou, kterou bude využita k odečtení polohy ramene s kamerou i v případě, že dojde k rebotu celého systému v průběhu revize.

### viii. LED řídicí obvod

Jedná se o nejjednodušší způsob jak průmyslově řídit LED osvětlení v případech, kdy je napájecí napětí vyšší než napětí na vstupu LED diod. Tento způsob dosahuje vysoké účinnosti a malé hlučnosti. Napětí je zde usměrňováno pomocí Shottky diod.

#### ix. Kamera

Pro účely prvotního návrhu obou konceptů byla vybrána Kamera Go PRO Hero 4, avšak pro průmyslovou výrobu robotu, bude nutno vybrat kameru, která bude schopna posílat signál pomocí kabelového konektoru nezávisle na hlavní řídicí jednotce. Důvodem tohoto omezení je nedostatečný výkon řídicí jednotky pro live stream videa.

#### x. Hlavní datová linka (Koncept 1)

Projektová délka dojezdu robotu je 70 až 100 metrů, na základě tohoto údaje je počítáno i se srovnatelnou délkou datové linky. Mezi hlavní požadavky bude patřit dostatečné stínění vůči elektromagnetickým vlivům z provozu (elektromotory, transformátory, magnety atd.) Dalším požadavkem bude nízká hmotnost kabelu a možnost izolace vůči vlivům agresivního prostředí.

#### xi. Anténa pro bezdrátovou komunikaci (koncept 2)

V případě použití bezdrátového přenosu dat, bude muset být zajištěna dostatečná síla signálu, aby nedošlo ke ztrátě kontroly nad robotem během revize. V případě, že se systém ukáže být nepoužitelný, přistoupí se k přenosu dat datovou linkou jako v konceptu 1.

#### e. Výpočet použitých pinů

Z důvodu konfigurace řídicí jednotky, je nutno stanovit počet pinů nezbytných k ovládání jednotlivých konceptů dle návrhu.

#### i. Počet pinů jednotlivých součástí

Tabulka 7 - Počet pinů jednotlivých součástí

Součást	Počet pinů	Označení pro výpočet
Motor (H-můstek)	4	H
Servomotor	2	S
Řídicí obvod LED osvětlení	1	L
Spouštění kamery	1	K

#### ii. Výpočet

$$\text{Koncept 1} = 2 * H + 4 * S + 3 * L + 1 * K$$

$$\text{Koncept 1} = 18$$

$$\text{Koncept 2} = 1 * H + 3 * S + 3 * L + 1 * K$$

$$\text{Koncept 1} = 14$$

#### iii. Volba vhodného typu základní desky Arduino

Na základě předchozího výpočtu jsou vyhovující 2 desky Arduino Mega 2560 a Arduino Zero. Obě tyto základní desky mají dostatečnou rezervu pinů i pro případná další rozšíření (např. dodatečné senzory atd.). Hlavním rozhodujícím kritériem bude výkon, cena a použité vstupní napájecí napětí.

## Arduino Mega 2560

Pro desku arduino Mega 2560 byly původně navrženy oba dva koncepty. Její napájecí napětí je 5 V. Arduino Mega je o cca 10 USD levnější, ale má nižší výkon než Arduino Zero.

Tabulka 8 - Arduino Mega - Technické parametry

Zdroj: [25]

Arduino Mega základní technické parametry	
Počet digitálních pinů	54
Počet pinů s podporou PWM	15
Počet vstupních analogových pinů	16
SRAM	8 Kb
Takt jádra	16 MHz



Obrázek 27 - Arduino Mega

Zdroj: [25]

## Arduino Zero

V případě použití arduino Zero budou muset být změněny použité napěťové měniče tak, aby bylo dodrženo optimální napájecí napětí pro tuto základní desku. Její napájecí napětí je 3,3 V. Výhodou použití této desky je její vyšší výpočetní výkon, který by robotu mohl poskytnout lepší plynulost provozu.

Tabulka 9 - Arduino Zero - Technické parametry

Zdroj: [26]

Arduino Zero základní technické parametry	
Počet digitálních pinů	54
Počet pinů s podporou PWM	15
Počet vstupních analogových pinů	16
SRAM	8 Kb
Takt jádra	16 MHz



Obrázek 28 - Arduino Zero

Zdroj: [26]

### f. Celkové srovnání obou konceptů

Koncept 1 bude z hlediska technologie a výroby mnohem náročnější, avšak očekávám jeho lepší jízdní vlastnosti a schopnost překonávat překážky v potrubí. Hlavní nevýhodou je menší manipulační prostor pro kameru (v potrubí DN 150) a vyšší výrobní cena.

Koncept 2 je technicky mnohem jednodušší. Díky menším rozměrům těla robotu bude poskytovat větší manipulační prostor pro rameno s kamerou. Kvůli absenci přítlačného mechanismu bude na kola působit mnohem menší přítlačná síla, ale celková průjezdnost robotu by měla být zvýšena redukcí váhy přírodního kabelu.



## 8. Závěr

Na základě průzkumu trhu jsem zjistil, že doposud nebyl vyvinut žádný inspekční robot určený speciálně pro revizi v potrubních řádech chemických provozů a elektráren. Doposud nejběžnější použití inspekčních robotů je při revizi vodovodního a kanalizačního potrubí. V průběhu revize kanalizace však není počítáno s přítomností agresivních medií a zvýšené teploty. Z tohoto důvodu nejsou současné roboty pro takto náročné podmínky testovány, a proto se komerčně nevyužívají.

Na základě analýzy dostupných mechanismů pohybu jsem vypracoval jejich srovnání. Z výsledků tohoto srovnání jsem zvolil dva mechanismy, u kterých můžu předpokládat dostatečnou odolnost, jednoduchost a zároveň vyhovující průjezdnost.

V druhé části této práce jsem definoval vlastnosti požadované od inspekčního robotu určeného do agresivních prostředí potrubních řádů chemických provozů a elektráren. Vypracoval jsem dvě koncepční studie na základě dříve zvolených pohybových mechanismů. Pro obě tyto studie jsem zvolil základní materiál sklolaminát. Obě studie jsou doplněny popisem hlavních součástí, schématickým diagramem rozvržení elektrických a řídicích součástí.

V průběhu prací na konceptech jsem se pokusil nadefinovat základní vlastnosti klíčových systémů robotu. Mojí snahou bylo, aby na základě těchto studií v budoucnu mohl započít průmyslový výzkum a vývoj prototypu. Je zřejmé, že při reálném vývoji takového robotu narazí vývojář na komplikace a možná bude muset přikročit k drobným změnám designu robotu za účelem splnění požadavků na jeho funkčnost.

V případě, že budou koncepty využity jako základ akademického či průmyslového vývoje, bude bezpodmínečně nutno ověřit vodotěsnost a chemickou odolnost kompletních karoserií, včetně namontovaných kol a systému pro pohyb kamery.

## 9. Citovaná literatura

- [1] ANUAR, Adzly, Muhammad JALAL, Khairul SAHARI a Nur ROSLIN. A Review: Hybrid Locomotion of In-pipe Inspection Robot. *Procedia Engineering: 2012 International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*. 2012, **21**(41), 1456-1459.
- [2] LUK, BL, AA COLLIE, DS COOKE a S CHEN. *Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels*. 2005. ISBN 9624422796.
- [3] CARROLL, James. Robot snakes inspect nuclear power plant. In: *Vision Systems* [online]. Carnegie Mellon University: Pennwel publications, 2013, 10.6.2013 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.vision-systems.com/articles/2013/07/robot-snakes-inspect-nuclear-power-plant.html>
- [4] KIM, Jong-Hoon, Gokarna SHARMA a S. IYENGAR. FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration. In: *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology* [online]. Louisiana USA: IEEE, 2010, 2015-11-22, s. 517-523 [cit. 2015-11-22]. DOI: 10.1109/ICIT.2010.5472748. ISBN 9781424456956. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5472748>
- [5] HORODINCA, Mihaita, Ioan DOROFTEI, Emmanuel MIGNON a André PREUMONT. A simple architecture for in-pipe inspection robots. In: *Proc. Int. Colloq. Mobile, Autonomous Systems*. Citeseer, 2002, s. 61-64.
- [6] JAN, Mitura. *Konstrukční návrh servisního robotu určeného pro monitorování uvnitř potrubí*. Ostrava, 2008. Bakalářská práce. VŠB. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn.
- [7] PROXIS [online]. 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.proxis.cz/?i=256/kamerove-roboty>
- [8] *Vodovody a kanalizace Jablonec nad Nisou* [online]. b.r. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.vak.cz/>
- [9] *Control Engineering Česko* [online]. Trade media international s.r.o., 2013, 2015-11-24, **8**(65) [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <http://predplatitel.trademediacz/media/ewydanie/flipbook/c5b01ff58946a4a88f14082ebc717644/index.html#p=2>
- [10] BMH katalog. In: *BMH spol s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <http://www.bmh.cz/files/document/Cisten-kanalizac.pdf>
- [11] Wombat katalog KAWO robot. In: *Wombat* [online]. 2015 [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <http://www.wombat.cz/kawo-robot/>

- [12] HYDRAULICKÝ FRÉZOVACÍ ROBOT HF 130. *Hermes Technologie* [online]. b.r. [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <http://www.hermes-technologie.com/sanacni-postupy/kanalizacni-roboty-haechler/hydraulicky-frezovaci-robot-hf-130.html>
- [13] HYDRAULICKÝ FRÉZOVACÍ ROBOT HF 200. In: *Hermes Technologie* [online]. b.r. [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <http://www.hermes-technologie.com/sanacni-postupy/roboti-pro-renovaci-kanalizace/hydraulicky-frezovaci-robot-hf-200.html>
- [14] JETTY Robot - technické parametry. *JETTY Robot* [online]. b.r. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.jettyrobot.com/cs/jetty-system/robot/>
- [15] Alibaba - inspekční roboti. *Alibaba* [online]. Čína, b.r. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: [http://www.alibaba.com/products/F0/pipe\\_inspection\\_robot/CID301102-----G.html?spm=a2700.7724838.1.9.TQLO7s](http://www.alibaba.com/products/F0/pipe_inspection_robot/CID301102-----G.html?spm=a2700.7724838.1.9.TQLO7s)
- [16] IMS Robotics - about us. *IMS Robotics* [online]. b.r. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: [http://www.ims-robotics.de/en/ueber\\_uns.html](http://www.ims-robotics.de/en/ueber_uns.html)
- [17] IMS cutter DRIVE light. *IMS Robotics* [online]. b.r. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.ims-robotics.de/en/produkte/roboergrundleitung/ims-fraese-drive-light.html>
- [18] IMS cutter TURBO. *IMS Robotics* [online]. b.r. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.ims-robotics.de/en/produkte/roboerhauptkanal/ims-fraese-turbo-dn-200-600.html>
- [19] Alibaba-360 kingstronic. *Alibaba* [online]. b.r. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: [http://www.alibaba.com/product-detail/360-kingstronic-pipe-inspection-robot\\_60078127193.html?spm=a2700.7724857.29.66.opw7jc](http://www.alibaba.com/product-detail/360-kingstronic-pipe-inspection-robot_60078127193.html?spm=a2700.7724857.29.66.opw7jc)
- [20] Gemsmotor - Nema 17. *Gemsmotor* [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://gemsmotor.com/nema-17-round-brushless-dc-motor>
- [21] LED páska LPS5630 Samsung. *Lightronic* [online]. b.r. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.lightronic.cz/soubory/ledpasek5630samsung.pdf>
- [22] *Fiber Glass system product data*. Geldermalsen, Holandsko, 2012.
- [23] GME-Elektrický motor s převodovkou GM13-050SHV-35-R. *GME* [online]. 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/elektricky-motor-s-prevodovkou-gm13-050shv-35-r-p671-028>
- [24] Pecka Modelář - baterie Gens ACE LiPo - 2S. *Pecka modelář* [online]. 2016 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/akumulatory/aku-li-poly/hardcase/od-5001mah/2s/b-25c-10000-2s2p-trx-gens-ace-lipo-2s-10000-mah-s-trx-konektorem-25c>
- [25] Arduino Mega 2560. *Arduino* [online]. 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

- [26] Arduino zero. *Arduino* [online]. 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardZero>
- [27] ČADEK, Josef. *Creep kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1984, 271 s. Fyzikálně metalurgická řada. ISBN Creep kovovych materialu.
- [28] Reduktor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015, 12.10.2014 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Reduktor>

## 10. Seznam obrázků:

OBRÁZEK 1 - KOLOVÉ VOZIDLO (AUTO PTZ SEWER PIPE INSPECTION ROBOT CAMERA S200) .....	9
OBRÁZEK 2 - TYP HOUSENKA .....	10
OBRÁZEK 3 - TYP HAD .....	10
OBRÁZEK 4 - 3 ZÁKLADNÍ SYSTÉMY HYBRIDNÍHO POHYBU .....	11
OBRÁZEK 5 - SCHÉMA ROBOTU TYPU HOUSENKA S PŘÍTLAČNÝM MECHANISMEM .....	11
OBRÁZEK 6 - SCHÉMA KOLOVÝ PODVOZEK S PŘÍTLAČNÝM SYSTÉMEM .....	12
OBRÁZEK 7 - SCHÉMA ŠROUBOVÉHO SYSTÉMU S PŘÍTLAKEM A KOLY .....	12
OBRÁZEK 8 - HYDRAULICKÝ FRÉZOVAČÍ ROBOT HF 130 .....	15
OBRÁZEK 9 - HYDRAULICKÝ FRÉZOVAČÍ ROBOT HF 200 .....	15
OBRÁZEK 10 - ROBOT IMS CUTTER DRIVE LIGHT .....	16
OBRÁZEK 11 - ROBOT IMS CUTTER TURBO .....	16
OBRÁZEK 12 - ROBOT 360 KINGSTRONIC .....	16
OBRÁZEK 13 - ROBOT KONCEPT 1 V POTRUBÍ DN 150 .....	21
OBRÁZEK 14 - SCHÉMA A CHARAKTERISTIKA MOTORU NEMA 17 42MM ROUND BRUSHLESS DC MOTOR .....	22
OBRÁZEK 15 - DETAIL OSVĚTLENÍ .....	22
OBRÁZEK 16 - PŘÍTLAČNÝ MECHANISMUS .....	23
OBRÁZEK 17 - DETAIL KOLA PŘÍTLAČNÉHO MECHANISMU .....	24
OBRÁZEK 18 - DETAIL ASYMETRIE KOLA PODVOZKU .....	24
OBRÁZEK 19 - DETAIL KOLA PODVOZKU .....	24
OBRÁZEK 20 - POHYBOVÝ MECHANISMUS KAMERY .....	24
OBRÁZEK 21 - ROBOT KONCEPT 2 V POTRUBÍ DN 150 .....	26
OBRÁZEK 22 - ELEKTROMOTOR S PŘEVODOVKOU GM13-050SHV-35-R .....	27
OBRÁZEK 23 - DETAIL OSVĚTLENÍ .....	27
OBRÁZEK 24 - BATERIE GENS ACE LIPO – 2S .....	28
OBRÁZEK 25 - SCHÉMA SOUČÁSTÍ - KONCEPT 1 .....	29
OBRÁZEK 26 - SCHÉMA SOUČÁSTÍ - KONCEPT 2 .....	29
OBRÁZEK 27 - ARDUINO MEGA .....	32
OBRÁZEK 28 - ARDUINO ZERO .....	32

## 11. Seznam tabulek:

TABULKA 1 - VYBRANÉ SPOLEČNOSTI POSKYTUJÍCÍ REVIZE NA KLÍČ .....	13
TABULKA 2 - TECHNICKÉ PARAMETRY ROBOTU JETTY .....	15
TABULKA 3 - TECHNICKÉ PARAMETRY LED PÁSKY LPS5630 SAMSUNG .....	23
TABULKA 4 - MECHANICKÉ VLASTNOSTI SKLOLAMINÁTU .....	25
TABULKA 5 - TECHNICKÁ DATA – ELEKTROMOTOR S PŘEVODOVKOU GM13-050SHV-35-R .....	26
TABULKA 6 - TECHNICKÉ PARAMETRY GENS ACE LIPO – 2S .....	28
TABULKA 7 - POČET PINŮ JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ .....	31
TABULKA 8 - ARDUINO MEGA - TECHNICKÉ PARAMETRY .....	32
TABULKA 9 - ARDUINO ZERO - TECHNICKÉ PARAMETRY .....	32