

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Servisní průzkumný robot obojživelník

Service Exploration Robot Amphibian

Student:

Bc. Tomáš Janík

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Tomáš Janík
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	2301T013 Robotika
Téma:	Servisní průzkumný robot obojživelník Service Exploration Robot Amphibian

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav servisních průzkumných robotů pohybujících se v různém prostředí, pevnina, vodní hladina a pod.
2. Vyberte možná prostředí a specifikujte požadavky na konstrukci navrhovaného robotického systému.
3. Navrhněte varianty řešení servisního robotu a vyberte optimální variantu.
4. Zpracujte konstrukční řešení vybrané varianty. Doložte potřebnými výpočty a výkresovou dokumentací.
5. Vypočítejte náklady na výrobu prototypu navrženého robotického systému.
6. V závěru zhodnoťte technicko-ekonomické parametry navrženého systému.

Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z www: <<http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>>
- [2] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [3] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. [online]. [cit. 2013-10-13]. Dostupné z www: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>
- [5] SKAŘUPA, J - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání, Košice: Edice vědecké a odborné literatury – Strojní fakulta TU v Košicích, 2002. s 190. ISBN 80-88622-55-0
- [6] PALKO, A. - SMRČEK, J. *Robotika, koncové efekty pro priemyslné a servisné roboty*. Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatury strojníckej technickej univerzity v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

..... 

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 □ školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:19.5.2014

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Tomáš Janík

Adresa trvalého pobytu autora práce: T.G.Masaryka 91, Lanškroun

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JANÍK, Tomáš. *Servisní průzkumný robot obojživelník: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2014, 61 s. Vedoucí práce: Konečný, Zdeněk.

Diplomová práce se zabývá konstrukcí obojživelného průzkumného robotu. V úvodu je věnována pozornost analýze současných obojživelných robotů, díky níž byl následně sestaven požadavkový list, který je reflektován navrženými variantami řešení s různou koncepcí podvozku. Hlavní část práce se věnuje detailní konstrukci vybrané varianty. Navržený obojživelný robot má speciální pásový podvozek zajišťující možnost provozu v převráceném stavu. Po hladině je dopředná síla vyvozena pouze rotací pásů. Robot je vybaven polohovatelným ramenem s kamerovým a senzorickým subsystémem. Pro monitorování prostředí pod hladinou je vespod robotu druhá kamera vybavena silným osvětlením.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

JANÍK, Tomáš. *Service Exploration Robot Amphibian: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotic technology, 2014, 61 p. Thesis head: Konečný, Zdeněk.

This master thesis deals with the construction of amphibious exploration robot. The introduction is devoted to analysis of the current amphibious robots, thanks to which there was subsequently compiled request list, which is reflected by the proposed alternative solutions with different chassis design. In the main part is attention paid to a detailed design of the selected variant. Designed amphibious robot has a special tracked chassis providing the possibility to operate in reverse mode. After the water surface is the forward force produced by rotation of the belts. The robot is equipped with a positionable arm with a camera and sensoric subsystem, for monitoring of underwater environment there is second camera equipped with strong flashlights underneath of the robot body.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	5
1 Úvod	6
2 Rešerše	7
2.1 Obojživelné roboty	7
2.2 Obojživelná vozidla	10
2.3 Těsnění	12
3 Požadavkový list	15
4 Návrh variant řešení	15
4.1 Varianta č. 1	16
4.2 Varianta č. 2	18
4.3 Varianta č. 3	19
4.4 Varianta č. 4	20
5 Výběr varianty	21
6 Konstrukční řešení varianty č. 3	24
6.1 Částečná změna koncepce	24
6.2 Scénář činností servisního robotu	26
6.2.1 Monitorovací možnosti robotu – rameno	27
6.2.2 Pohyb a monitorování na vodní hladině	28
6.2.3 Převrácení zpět na preferovanou stranu	28
6.2.4 Údržba a čištění	29
6.3 Popis jednotlivých částí robotu	30
6.3.1 Rám robotu	30
6.3.2 Uložení poháněného kola	31
6.3.3 Uložení nepoháněného kola	32
6.3.4 Mechanismus napínací kladky	33
6.3.5 Podpůrná kolečka po obvodu	34
6.3.6 Boční plováky	34
6.3.7 Rameno se senzorickým subsystémem	35
6.3.8 Těsnění	36
7 Výpočtová část návrhu	37
7.1 Návrh pohonu	37

7.2	Výpočet vztlakové síly.....	40
7.3	Kontrola uchlazení robotu.....	40
7.4	Zatížení ložisek na nápravě poháněného kola	42
7.5	Dimenzování hřídele poháněné nápravy.....	44
7.6	Kontrola použitých modelářských serv na rameni.....	45
7.7	Záběr pásů ve vodě	47
8	Návrh elektroniky, řízení a sensoriky	49
8.1	Výpis zvolených komponent.....	49
8.2	Vnitřní uspořádání elektroniky	51
8.3	Výpočet operativní doby na jedno nabití akumulátorů.....	52
9	Ekonomické zhodnocení konstrukce.....	53
10	Závěr.....	55
	Seznam použitých zdrojů.....	57
	Seznam příloh	61

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
a	$m \cdot s^{-2}$	Zrychlení
a,b	mm	Vzdálenosti
c	-	Odporový součinitel
C_{aku}	Wh	Kapacita akumulátoru
d	mm	Průměr
F	N	Síla
g	$m \cdot s^{-2}$	Gravitační zrychlení
G	N	Tíha
i	-	Převodový poměr
I	A	Proud
J	$kg \cdot m^2$	Moment setrvačnosti
k	-	Součinitel bezpečnosti
m	kg	Hmotnost
M_k	N·m	Kroutící moment
n	ot/min	Otáčky za minutu
P	W	Výkon
q	-	Váha významnosti
r	mm	Rameno (silové dvojice)
R_A	N	Reakce A
R_B	N	Reakce B
S	m^2	Obsah
S_{st}	m	Tloušťka stěny
T	K	Teplota
U	V	Napětí
v	$m \cdot s^{-1}$	Rychlost
V	m^3	Objem
α	°	Úhel
α₁	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla (vnitřní strana)
α₂	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla (vnější strana)
ε	s^{-2}	Úhlové zrychlení
η	-	Účinnost
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
μ_p	-	Trakční součinitel tření
ρ	$kg \cdot m^{-3}$	Hustota
ω	s^{-1}	Úhlová rychlost

1 Úvod

Průzkumné servisní roboty mají primárně sloužit k účelu monitorování v oblastech, kde je z jakéhokoliv důvodu omezený přístup osobě, které slouží. Jedním z oněch důvodů může být těžko přístupný terén, včetně vodní překážky. V tomto případě je nutné použít obojživelný průzkumný robot, který je schopný se pohybovat jak po souši (včetně ztíženého terénu), tak musí být schopný bez potíží do vody vjet, přemístit se po hladině na požadované místo a zase z vody vyjet. Samotný pohyb ve vodě a s tím související monitorovací činnost, může být hlavním účelem operace potažmo celého robotu. Z tohoto důvodu tedy existují roboty předně zaměřené na pohyb po, resp. pod vodní hladinou.

Zadání diplomové práce stanovuje jako cíl návrh prototypu včetně všech dílčích úloh popsaných níže.

Na začátku práce je proveden rozbor již zkonstruovaných řešení, který dal jasně najevo, že koncepcí jak řešit tuto problematiku je mnoho, a proto bylo nutné blíže specifikovat požadavky na vlastní konstrukci. Na základě požadavkového listu vznikly čtyři varianty řešení, ze kterých byla vybrána jedna za pomoci kriteriální analýzy. Ta je detailně zpracována v CAD programu Creo Parametric 2. Díky tomuto mohl vzniknout scénář činností, kde je specifikováno několik úkonů, které může robot či obsluha provádět. Důležité konstrukční celky jsou podrobněji popsány, včetně jejich účelu a principu funkce. Konstrukce je podložena důležitými technickými výpočty, které ověřují funkčnost servisního robotu. Pozornost je krátce věnována osazení robotu elektronikou. V této kapitole je také proveden výpočet operativní doby na jedno nabití akumulátorů.

V další části práce je provedeno také ekonomické zhodnocení konstrukce, které je rozděleno na část nakupovaných dílů a na část vyráběných dílů, kde je větší pravděpodobnost nepřesností mezi odhadnutými částkami a reálnými cenami.

V samotném závěru je provedeno zhodnocení dosažených výsledků vzhledem ke stanovenému cíli práce.

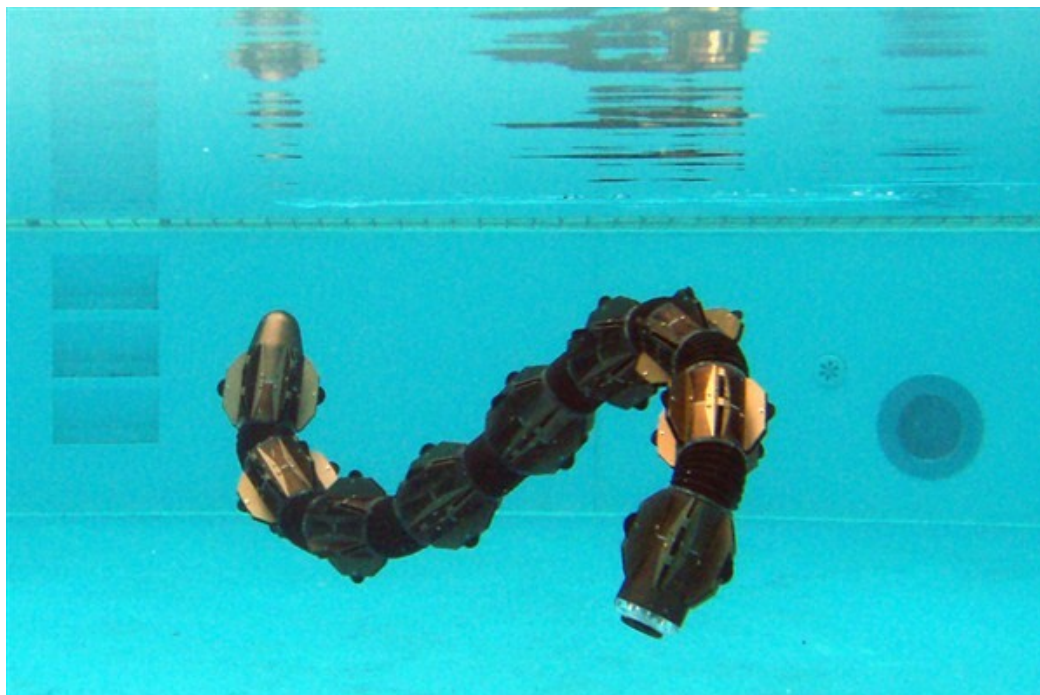
2 Rešerše

2.1 Obojživelné roboty

Obojživelné roboty ve většině případů plní pozorovací či průzkumnou úlohu. Kamerový a senzorický subsystém je většinou integrován do těla robotu, které je již zatěsněné vůči vniknutí vody. Jednotlivé obojživelné roboty dávají jasně najevo, že je možné použít téměř jakoukoliv známou strukturu. Oproti klasickým suchozemským robotům je však nutné řešit několik otázek navíc. Jmenujme např. chování a pohyb po vodní hladině, potažmo pod vodou, zatěsnění robotu jak statické, tak dynamické pro pohybující díly, a také bezproblémový přechod ze souše do vody a naopak.

Obojživelný robot - had

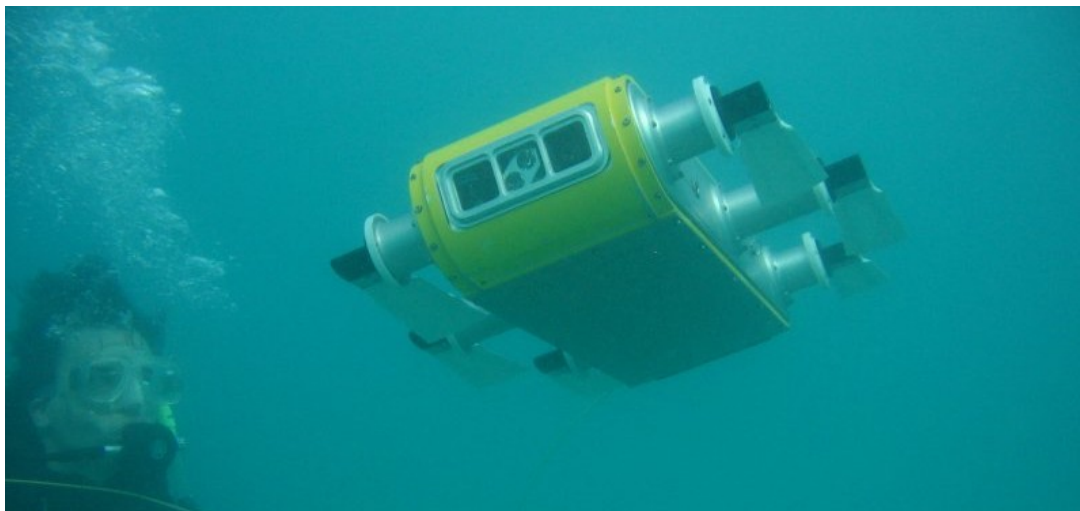
Japonská firma Fukushima Robotics Lab vyvinula robota s plazivým pohybem schopného pohybu po souši i pod hladinou. Jednotlivé články jsou spojeny klouby s 2 DOF krytými vlnovcem. Každý článek funguje jako samostatná jednotka s vlastním pohonem, CPU a baterií, což umožňuje přidávání či odebírání článků podle potřeby nebo výměnu poškozeného článku. Nadřazený člen je pouze první článek (hlava) s kamerovým subsystémem. Články na sobě mají jakési ploutve usnadňující pohyb ve vodě a pasivní kolečka kvůli pohybu na souši. [7]



Obr. 2.1 - Robot ACM-R5

Obojživelný robot – šváb

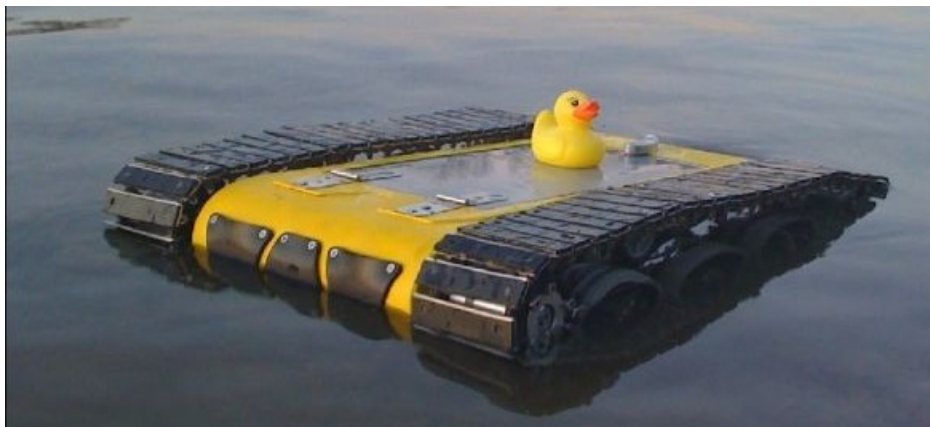
Tento robot jménem Aqua od fy. Mobile Robotics Laboratory slouží k průzkumu podmořského prostředí. Jeho vynikající manévrovatelnost zajišťuje blízké pozorování korálových útesů bez jakéhokoliv fyzického kontaktu. Lokomoční subsystém je koncipován pouze jako šest rotačních (jednoosých) ploutví zajišťujících pohyb především ve vodě. Při záměně za speciální půlkruhové nohy je robot schopný velmi obratného pohybu jak v terénu, tak ve vodě. [8]



Obr. 2.2 - Robot Aqua

Pásový obojživelný robot

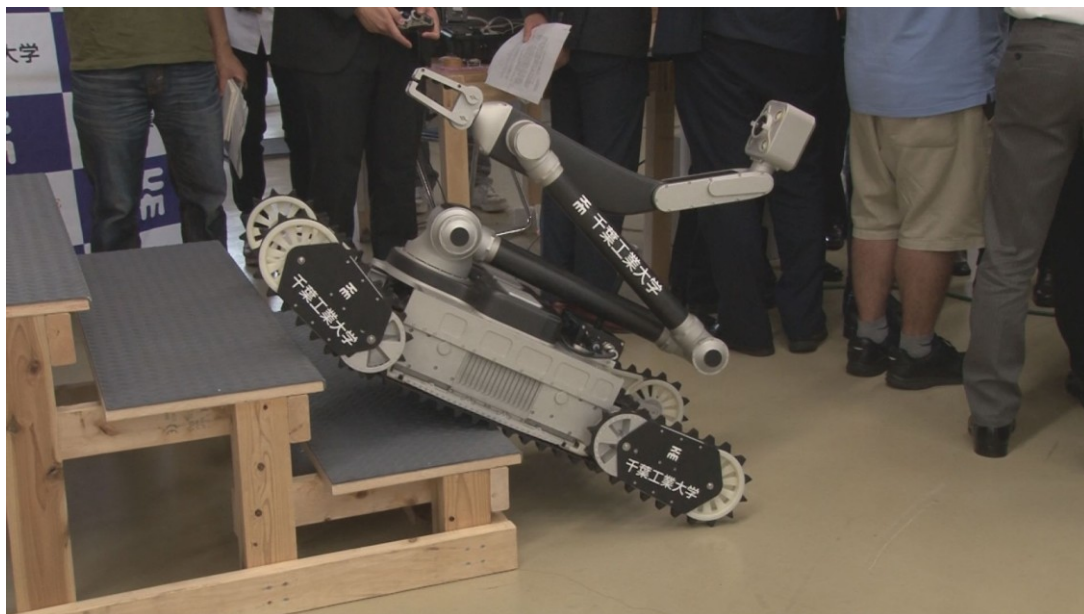
Tento robot vyvinula německá firma UlrichC pro pozorování zvířet a rostlin přímo v terénu. Pohyb po souši je zajištěn pásy, stejně tak ve vodě slouží jako pohon pouze pásy. Podvozek je stranově téměř symetrický, avšak není konstruován pro provoz v převrácené podobě. [9]



Obr. 2.3 - Robot Cu - Amphibot

Obojživelný robot s ramenem

Robot zkonstruovaný japonskou univerzitou The Chiba Institute of Technology je určený pro zásah při jaderné havárii ve Fukušimě. Robot je vodotěsný kvůli vodě, která proniká do postižených oblastí. Podvozek ovšem nemá schopnost plavat. Robot je netradičně vybaven ramenem s efektozem. Rameno je taktěž osazeno kamerovým subsystemem. [10]



Obr. 2.4 - Robot Sakura II

Autonomní obojživelný robot

Autonomní robot fy. Searobotic Corporation je určený k čištění trupu velkých lodí od nánosů živých organismů, které zvyšují nežádoucí odpor lodí. Robot využívá podtlaku k vyvození síly směrem k trupu lodí. [11]



Obr. 2.5 - Robot HullBUG

2.2 Obojživelná vozidla

Analýza již zhotovených obojživelných vozidel dává jistý obrázek o možných technických řešeních jak kompletních vozidel, tak jednotlivých strojních skupin, které mohou být v jisté modifikaci použity při řešení především podvozku robota.

Gibbs Humdinga

Společnost Gibbs vyrábí obojživelná sportovní vozidla určená především pro zábavu a vozidla s větší užitnou hmotností. Tato vozidla jsou schopna rychlého pohybu po souši, v terénu a ve vodě. Dále o technologii obojživelného pohybu projevují zájem americké ozbrojené složky.

Koncept firmy Gibbs v sobě kloubí vlastnosti terénního vozu a člunu, což se mu daří díky několika prvkům. Vrchní část vozu připomíná téměř klasický automobil, zatímco spodek tvoří trup plavidla zajišťující stabilitu a nízký odpor. Kola automobilu by ve vodě vytvářela veliký odpor, proto je vyvinuto zavěšení, které umožňuje zvednutí kola podobně jako tomu je u podvozků letadel. Za zmínku také stojí fakt, že se jedná o ackermanův druh řízení.

Pohon na hladině zajišťuje vodní tryska umožňující až 50km/h rychlost této nákladní (vyobrazené) varianty. [12]



Obr. 2.6 - Vozidlo Gibbs Humdinga

Fast track amphibian 1

Jedná se o pásové vozidlo, u kterého nedochází k pohybu po hladině pomocí lodního šroubu či trysky. Pohyb je vyvozen pouhou rotací pásů. Zavěšení pásů umožňuje zasouvání či spouštění pásů na vodní hladině podle rychlosti, která může dosahovat až 60km/hod. [13]



Obr. 2.7 - Vozidlo Fast Track Amphibian I

Zbd 2000

Jedná se o lehký čínský obojživelný tank. Přední deska po vysunutí umožňuje tzv. hydroplaning, díky čemuž je ponořená část trupu výrazně menší. Tohoto využívají také některé rychlé čluny. [14]



Obr. 2.8 - Vozidlo ZBD 2000

DARPA CAAT

Společnost DARPA vyvinula vozidlo na pomoc při živelných katastrofách, jako jsou záplavy či tsunami, při kterých dojde k odstřižení obyvatelstva od pitné vody atd. Toto vozidlo je schopné dopravit velké množství nákladu (např. pitné vody) až na potřebné místo.

Schopnost plavat je zajištěna vzduchem naplněnými pontony, které jsou spojeny tak, že tvoří pásový podvozek. [15]



Obr. 2.9 - Vozidlo DARPA CAAT

2.3 Těsnění

Při návrhu obojživelného robota je velice důležité zabývat se těsněním pevných spojů i těsněním součástí vykonávající vzájemný pohyb.

Těsnění vzájemně nepohyblivých součástí

Statická těsnění mají za úkol utěsnit plochy, které nevykonávají žádný vzájemný pohyb.

Těsnící tmely

Pro utěsnění statických ploch je možné si vybrat z široké škály těsnících tmelů různorodých vlastností, jmenujme některé:

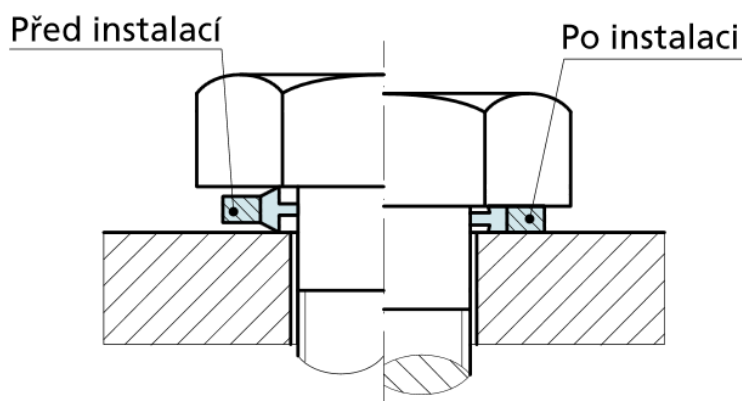
- snášelnivost s podkladovým materiálem – kompozity, plasty, kovy, pryž atd.,
- odolnost proti – vodě, minerálním olejům, benzínu atd.,
- tmely s či bez vytvrzení nebo trvale elastické.

Na základě těchto vlastností je patrné rozmanité použití jednotlivých typů. Před montáží je nutné, aby byly plochy očištěny od nečistot, mastnoty, prachu a byly suché. Existují těsnící tmely také do závitů. [16]

Statické těsnění

Zde bychom zařadili především kruhová těsnění různých profilů a materiálů. Nejběžněji používaný je o-kroužek, pro který je nutné v jednom z dílů zhotovit drážku. Při těsnění vysokých tlaků je dobré použít opěrný kroužek. Alternativou může být kroužek čtvercového průřezu, který vykazuje lepší schopnost těsnit vysoké tlaky. Dále zdvojené těsnění atd.

Pro těsnění šroubových spojů je možné použít těsnící podložky, které mají kovový vnější kroužek (reprezentující běžnou podložku) a vnitřní těsnící elastomerový břit viz. obr 2.10. [17]



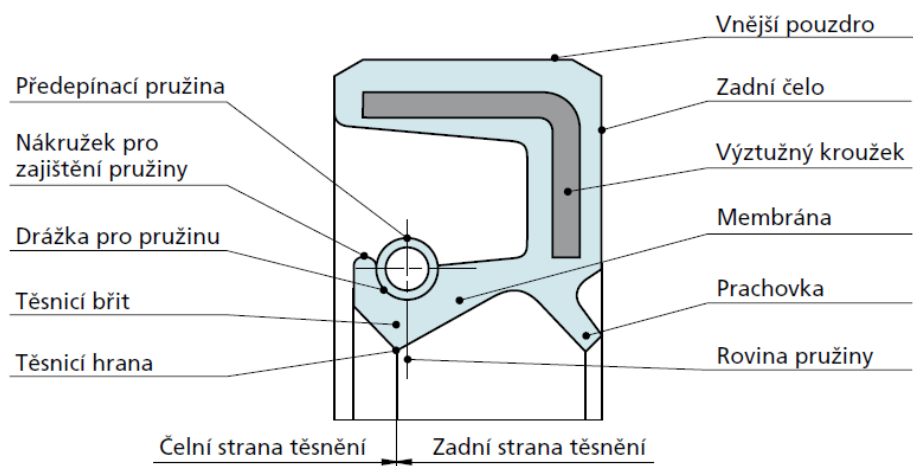
Obr. 2.10 - Statické těsnění závitového spoje

Dynamické těsnění

Jsou určena k těsnění vzájemně se pohybujících ploch jak lineárních pohybů např. pístnice u hydraulického válce, tak rotačních pohybů kam spadají veškeré hřídele atd.

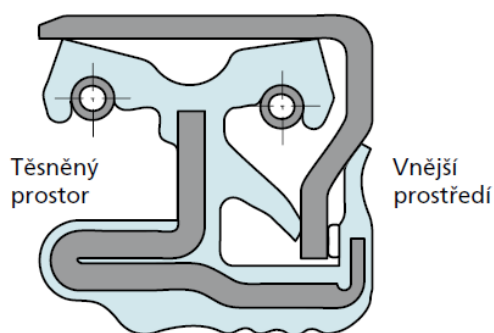
Těsnění rotačních pohybů

Nejčastěji používaná jsou radiální hřídelová těsnění známé také jako Gufera. Existuje mnoho variant tvarů a materiálů např. varianty s prachovkou nebo předepínací pružinou. Materiály jsou voleny na základě těsnícího média a dalších parametrů. Rozměry většinou odpovídají ložiskovým řadám. Tato těsnění pracují v prostředí s malým tlakovým rozdílem při rychlostech až 30m/s. [18]



Obr. 2.11 - Dynamické radiální těsnění

Kvůli podmínkám, kde nestačí běžné hřídelové těsnění, byly navrženy další typy těsnění. Pro tyto účely se používají např. kombinovaná radiální těsnění nebo kazetové těsnění mající delší životnost a větší spolehlivost s možností pracovat při vyšších tlacích a více znečištěném prostředí.[18]



Obr. 2.12 - Dynamické kazetové těsnění

3 Požadavkový list

Požadavkový list vychází ze zadání práce, kde je stanoveno, že robot musí zvládat servisní činnost pozorování a to na souši i po vodní hladině. Jako možná operativní prostředí je nutné brát složitý přírodní terén včetně blátivého prostředí, dále stojaté a pomalu tekoucí vody. Je nezbytné brát v úvahu výjezd z vodního prostředí na souš a naopak.

Požadavek	Hodnota
Maximální délka	600 mm
Maximální šířka	500 mm
Maximální výška	400 mm
Hmotnost	Maximálně 45 kg
Rychlost na souši	10 km/hod
Rychlost po vodě	5 km/hod
Chování ve vodě	Plavání po hladině
Provozní doba na jedno nabití	2 hodiny
Napájecí zdroj	Akumulátor
Kamerový subsystém	Monitorování nad i pod hladinou
Způsob řízení robota	Bezdrátově operátorem
Zvýšená průchodnost terénem	-

Tab. 3.1 - Požadavkový list

4 Návrh variant řešení

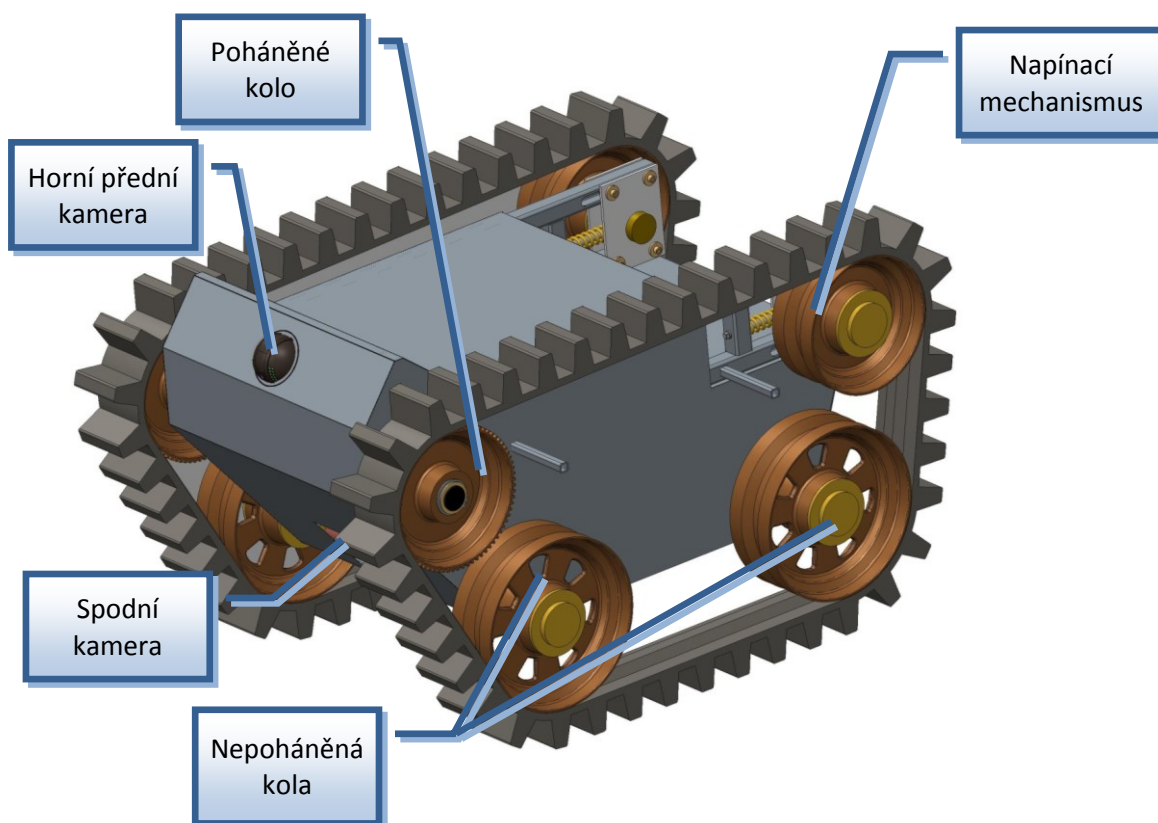
Při návrhu variant jsou brány v úvahu různé kombinace dílčích řešení lokomočního ústrojí podvozku, které jsou přehledně zobrazeny v kombinační části morfologické matice. Ackermanův způsob řízení nebyl použit z důvodu značné složitosti mechanismu a jeho zatěsnění, i přesto že taková vozidla existují. Pro dopředný pohyb ve vodě byly navrženy pouze varianty s rotací hlavního lokomočního členu, rozšíření o lodní šroub by bylo zavedeno v případě, že by se toto jevilo jako nedostatečné řešení.

Dílčí funkce	Řešení dílčí funkce				Počet prvků
Typ podvozku / robotu	Kolový	Pásový	Robot had		3
Způsob řízení	Ackerman	Diferenční	Kloubové		3
Způsob pohonu po vodě	Lodní šroub	Vodní tryska	Rotací kol / pásů		3
<u>Varianta</u>	Var.1	Var. 2	Var.3	Var.4	

Tab. 4.1 – Kombinační část morfologická matice

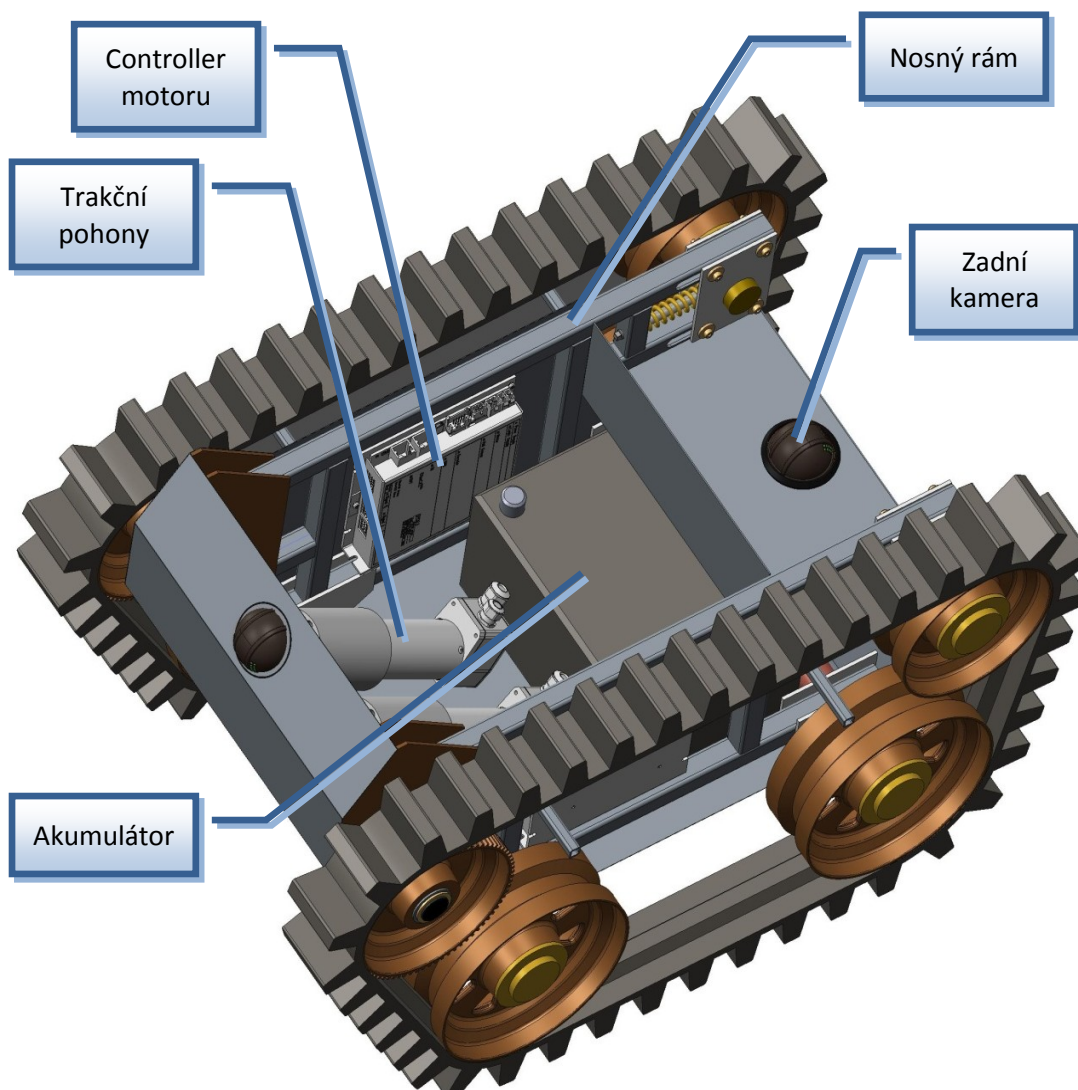
4.1 Varianta č. 1

Jedná se o pásový robot klasické koncepce, který pro pohyb po hladině používá své pásy. Je zde tudíž použito diferenčního způsobu řízení. Nosný rám je svařenec z hliníkových profilů, do kterého jsou upevněny všechny důležité funkční celky. V této konfiguraci je robot osazen celkem třemi kamerami, dvě vpředu a jedna pro pohled vzad (viz obr. 4.1). Spodní kamera je umístěna za tvrzeným sklem a slouží pro monitorování pod hladinou. Nápravy jsou tuhé, kromě napínacího mechanismu pásu, který má také funkci pružení.



Obr. 4.1 - Varianta č. 1 (celkový pohled)

Při pohledu dovnitř (obr. 4.2) je vidět uspořádání základních komponent, jako jsou trakční pohony včetně řízení či akumulátor, dále je patrný svařovaný rám.

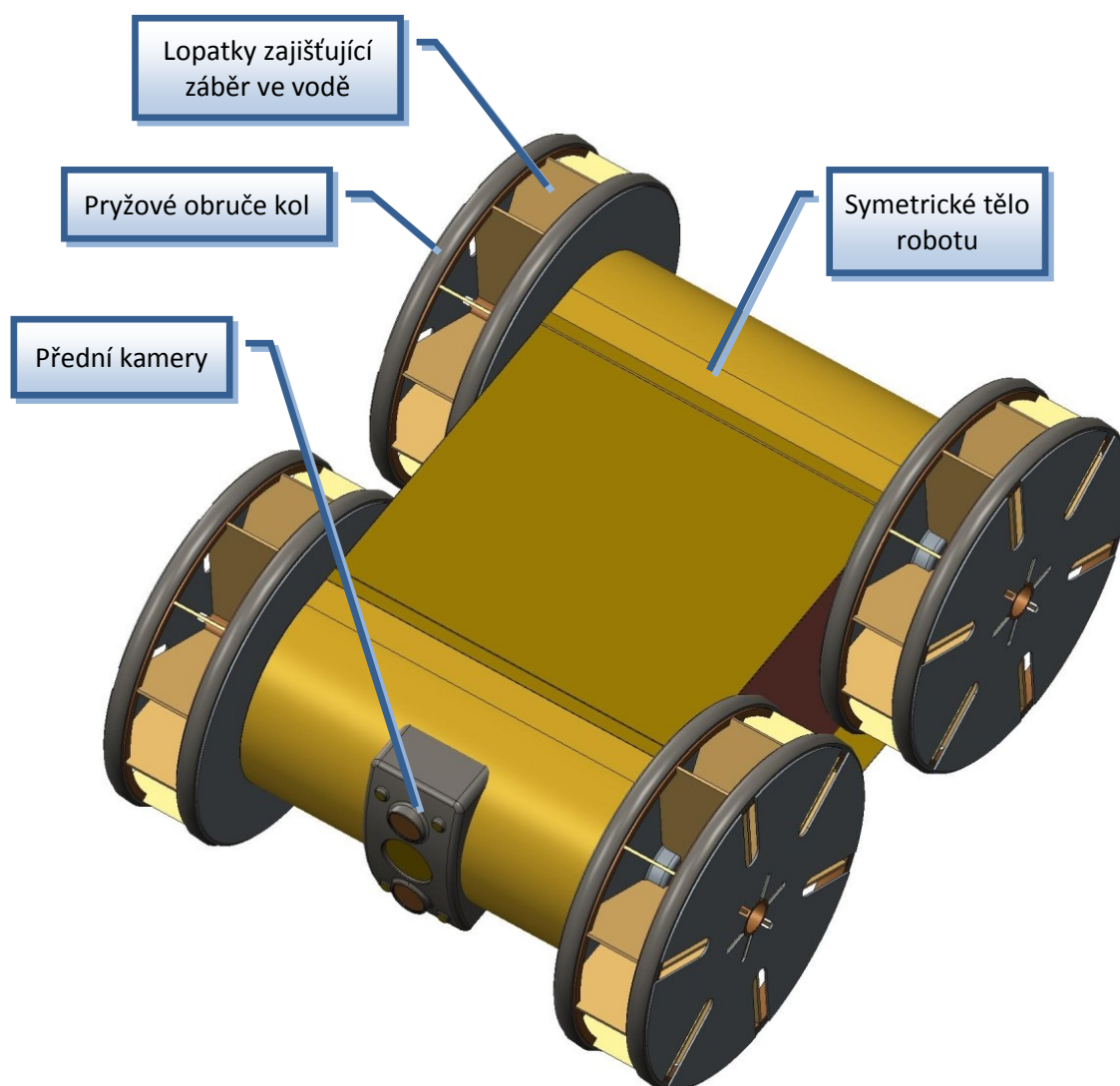


Obr. 4.2 - Varianta č. 1 (pohled na vnitřní uspořádání komponent)

4.2 Varianta č. 2

Robot s kolovým podvozkem využívající diferenčního způsobu řízení. Jsou zde použita speciální kola, u kterých vnitřní prostor tvoří lopatky pro lepší záběr ve vodě. Po krajích kol jsou pryžové obruče pro lepší jízdní vlastnosti po pevné zemi. Bohužel se domnívám, že v terénu by docházelo k zaboření úzkých obručí a následnému nadměrnému opotřebování lopatek vznikající od nárazů kamenů do neodpruženého materiálu lopatky.

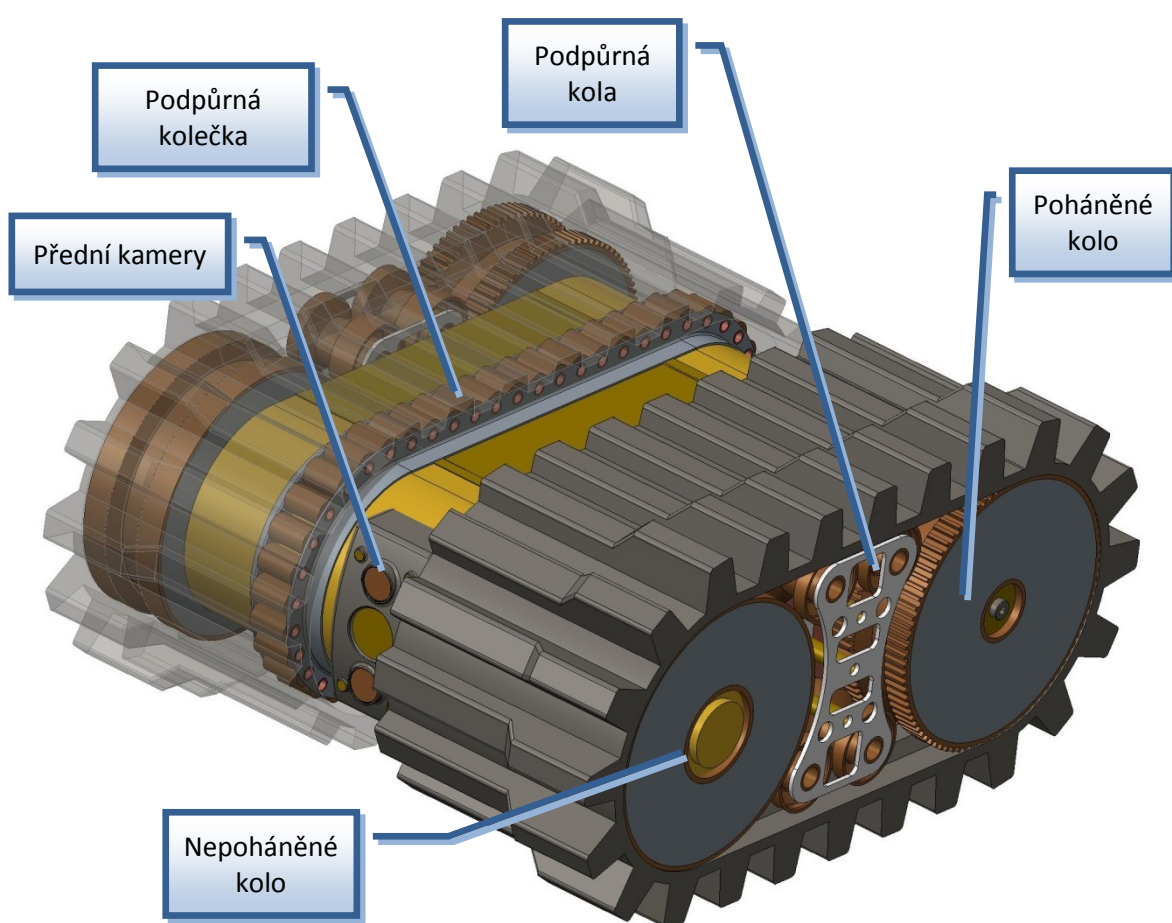
Průměr kol je větší než je výška těla, a proto je možné robot provozovat také v převrácené podobě. V přední části robotu jsou umístěny dvě kamery nad sebou pro pozorování nad a pod hladinou. Pro ideální záběr ve vodě musí být ponor těla asi do půlky výšky robotu. Poháněná jsou zde všechna čtyři kola za pomoci dvou pohonů, rozvod na přední kola je vyřešen válečkovým řetězem.



Obr. 4.3 - Varianta č. 2

4.3 Varianta č. 3

Tato varianta vychází do jisté míry z té předchozí s tou zásadní změnou, že přes kola je převlečený speciální pás, který zasahuje téměř až do půlky robota viz. obr. 4.4. Což má kladný vliv na terénní schopnosti podvozku, průjezdný profil a také to zvětšuje záběrnou plochu pásu ve vodě. Zuby jsou na kraji pásu vyšší a následně směrem ke středu robota jsou sníženy, aby při diferenčním způsobu zatáčení na pevné podložce nebyly v kontaktu celou svojí plochou. Mezi rozvorem hlavních kol jsou další podpůrná kola, která zajišťují podporu pásů na vnějším okraji. Vnitřní okraj pásu je podpírán množstvím podpůrných koleček, pro případ najetí na překážku v oblasti snížených zubů.

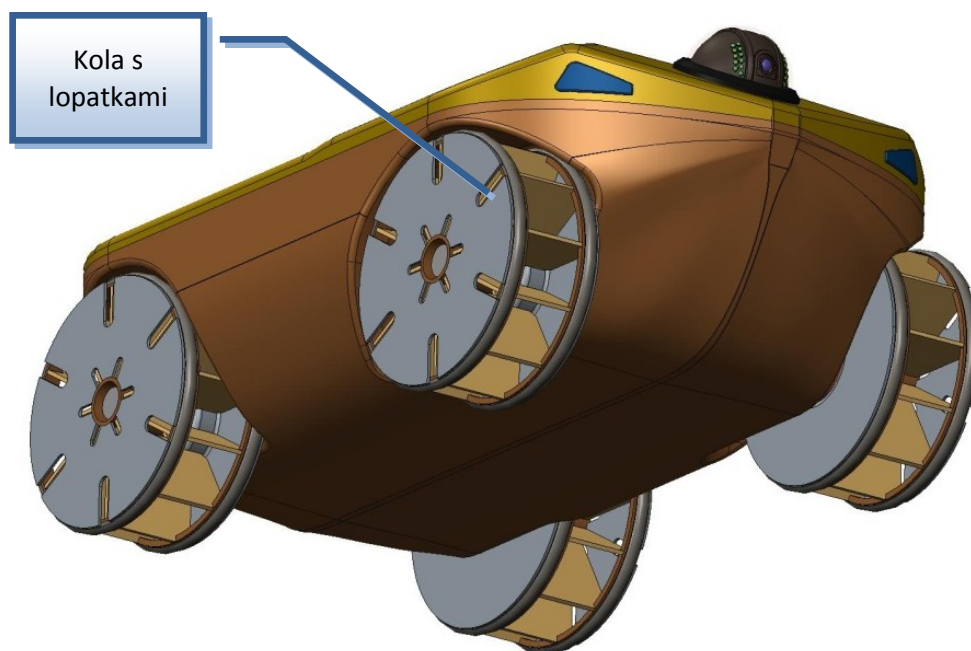


Obr. 4.4 - Varianta č. 3

4.4 Varianta č. 4

Poslední varianta je kolový robot s diferenčním způsobem řízení. Zde by se nabízelo použít ackermanův způsob řízení, avšak kvůli neúměrné konstrukční náročnosti především při zatěsnění řízené nápravy bylo od tohoto záměru upuštěno. Také rozvod pohonu na všechna čtyři kola by byl značně složitější.

Kola jsou opět s vnitřními lopatkami (jako u varianty č. 2). Tvar těla je navržen v podobnosti s trupem klasických lodí. Dá se předpokládat, že tato koncepce by vykazovala lepší ovladatelnost a stabilitu v tekoucí vodě a také snížený odpor vůči vodě. Avšak výroba takového trupu by byla značně složitější, stejně jako následné rozmíst'ování komponent uvnitř. Terénní schopnosti této varianty se bohužel předpokládají na špatné úrovni.



Obr. 4.5 Pohled na trup robotu

5 Výběr varianty

Za účelem výběru nejvhodnější varianty bylo použito kritériální analýzy. Kritéria jsou volena s ohledem na požadavkový list, čímž by se mělo docílit relevantního výběru varianty.

Volba kritérií

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Průjezdnost terénem	Schopnost pohybu robotu v členitém terénu
K2	Ovladatelnost ve vodě	Možnosti pohybu po hladině
K3	Jednoduchost konstrukce	Konstrukční složitost dílů a skupin
K4	Pozorovací možnosti	Možnosti rozmístění kamerového subsystému
K5	Údržba a čištění	Náročnost a doba trvání údržby

Tab. 5.1 - Navržená kritéria

Stupnice bodování

Hodnoty kritérií	Bodové hodnocení
Vysoká úroveň	5
Dobrá úroveň	4
Průměrná úroveň	3
Nízká úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 5.2 – Stupnice bodování

Obodování navržených variant dle zvolených kritérií

Kritérium	Var. č.1	Var. č.2	Var. č.3	Var. č.4	
K1	Průjezdnost terénem	3	3	5	2
K2	Ovladatelnost ve vodě	2	4	4	5
K3	Jednoduchost konstrukce	3	4	3	2
K4	Pozorovací možnosti	5	3	3	4
K5	Údržba a čištění	4	4	3	4

Tab. 5.3 - Obodování variant

Váha významnosti „q“ je určena lineární závislostí podle vzorce:

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75 \quad (\text{převzato z [4]}) \quad [5.1]$$

Významnost jednotlivých kritérií byla určena na základě metody porovnávání párů.

Tabulka porovnávání párů

Přiřazení významnosti jednotlivých kritérií bylo provedeno metodou porovnávání v trojúhelníku párů.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
K1	K1	K1	K1	4	1.	1,75
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3	2.	1,5
	K3	K4	K5			
		K3	K3	2	3.	1,25
		K4	K5			
			K4	0	5.	0,75
			K5	1	4.	1

Tab. 5.4 - Porovnávání kritérií v trojúhelníku párů

Zhodnocení navržených variant

Varianta č. 1

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	3	1,75	5,25
K2	2	1,5	3
K3	3	1,25	3,75
K4	5	0,75	3,75
K5	4	1	4
Suma vážených indexů			19,75

Tab. 5.5 - Ohodnocení varianty č. 1

Varianta č. 2

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	3	1,75	5,25
K2	4	1,5	6
K3	4	1,25	5
K4	3	0,75	2,25
K5	4	1	4
Suma vážených indexů			22,5

Tab. 5.6 - Ohodnocení varianty č.2

Varianta č. 3

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	5	1,75	8,75
K2	4	1,5	6
K3	3	1,25	3,75
K4	3	0,75	2,25
K5	3	1	3
Suma vážených indexů			23,75

Tab. 5.7 - Ohodnocení varianty č.3

Varianta č. 4

Kritérium	Přiřazené body	Váha významnosti kritéria „q“	Vážený index kritéria
K1	2	1,75	3,5
K2	5	1,5	7,5
K3	2	1,25	2,5
K4	4	0,75	3
K5	4	1	4
Suma vážených indexů			20,5

Tab. 5.8 - Ohodnocení varianty č.4

Tabulka výsledků

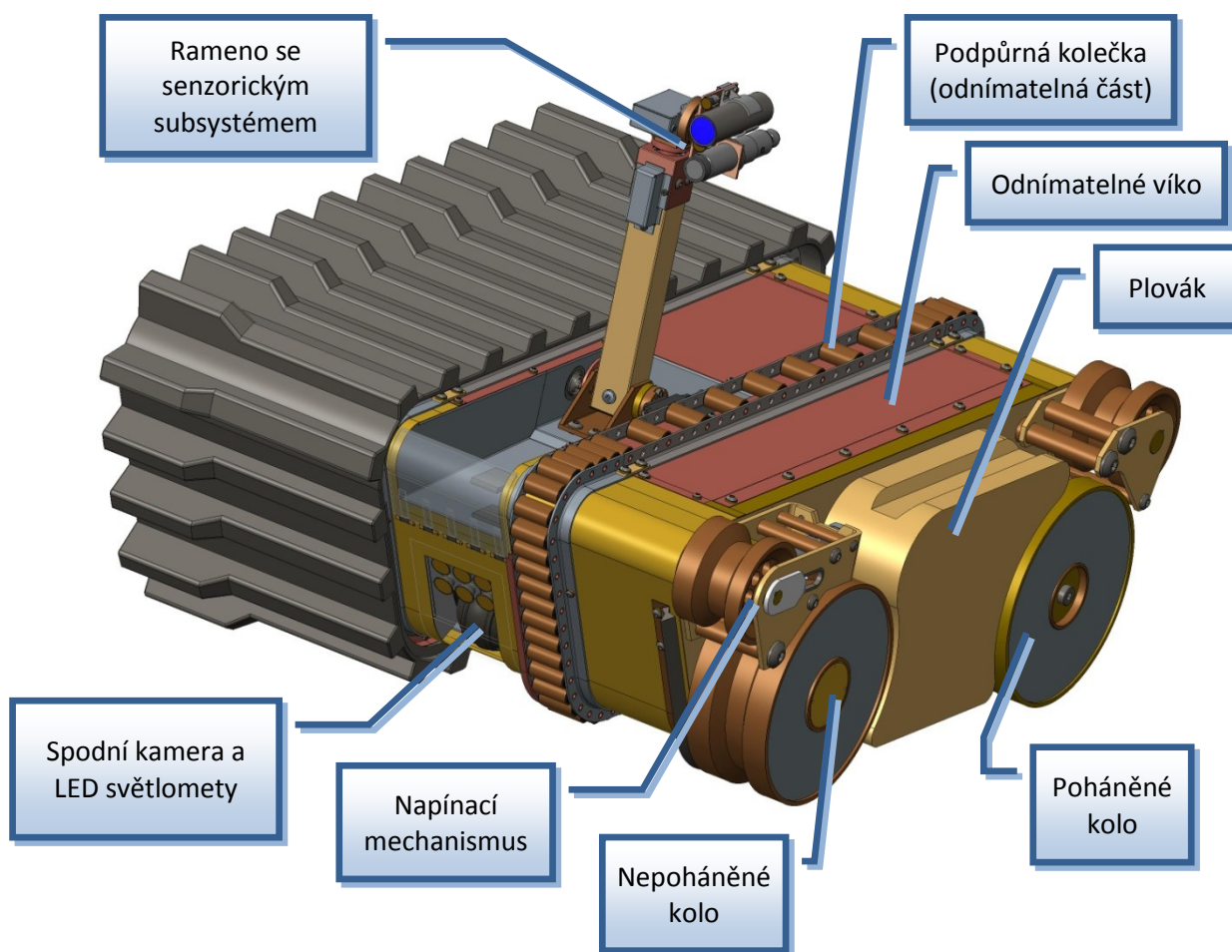
Varianta	Suma vážených indexů
Varianta č. 1	19,75
Varianta č. 2	22,5
Varianta č. 3	23,75
Varianta č. 4	20,5

Tab. 5.9 – Přehled výsledků

Nejvhodnější variantou z výše uvedených je na základě kriteriální analýzy varianta č. 3.

6 Konstrukční řešení varianty č. 3

Toto řešení zajišťuje veliké terénní schopnosti, díky možnosti operovat i po převrácení robotu na druhou stranu, které by mohlo být způsobeno chybou operátora či jinými nenadálými okolnostmi. Dále díky převlečení pásů téměř přes celé tělo robotu je zajištěn de facto neomezený průjezdný profil. Zuby jsou na kraji pásu vyšší a následně směrem ke středu robotu jsou sníženy, aby při diferenčním způsobu zatáčení na pevné podložce nebyly v kontaktu celou svoji plochou. Vysoké zuby (spolu s celkovou šířkou pásu) zajišťují dobrý záběr ve vodě.

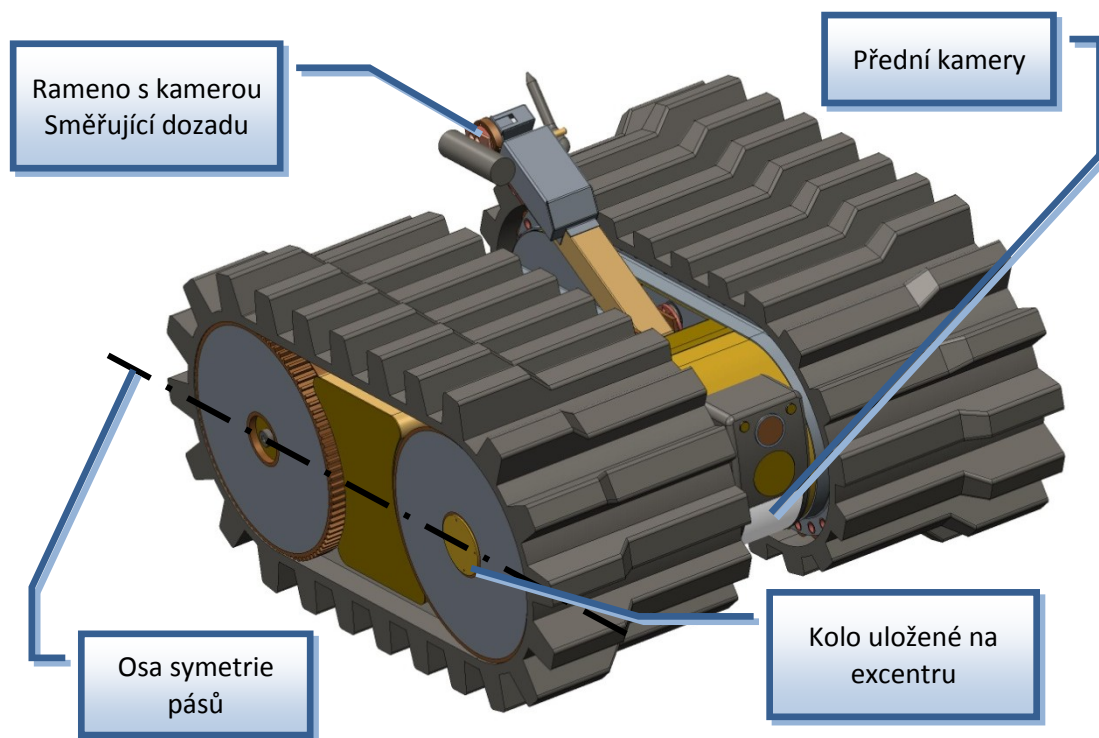


Obr. 6.1 - Pohled na robot (zobrazení bez pásu)

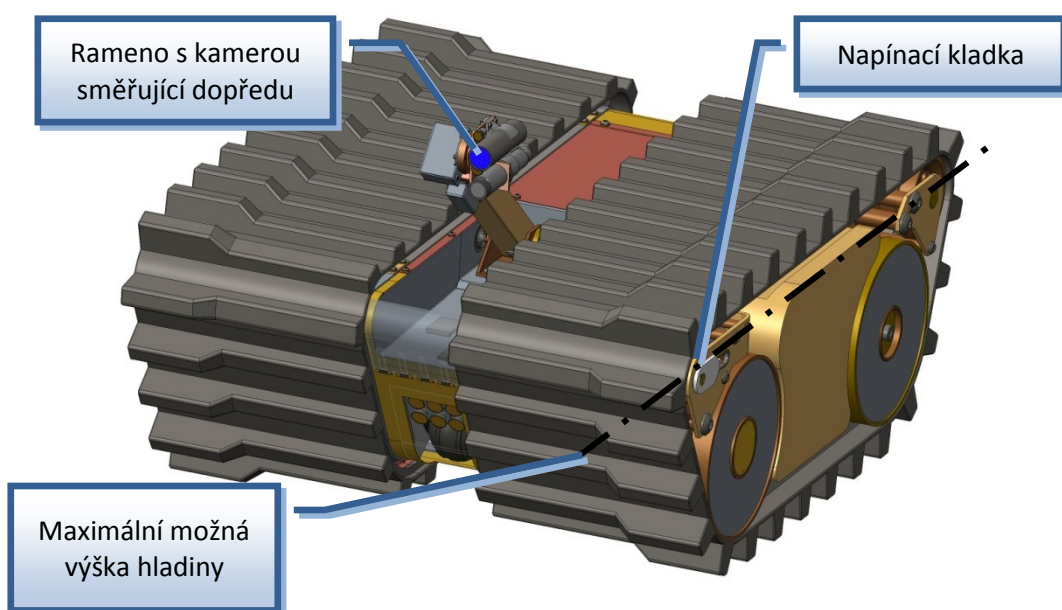
6.1 Částečná změna koncepce

Postupným vývojem prvotní varianty se dospělo k odstranění symetrie, tak že vznikla preferovaná strana, na které je umístěno rameno s kamerou, které ve složené poloze směřuje dozadu. Přední kamery tak mohly být lépe zaměřeny na svoji úlohu monitorování pod hladinou, resp. nad hladinou.

Na základě dalších detailnějších výpočtů a hlubšího prodetailování vybrané varianty bylo nutné částečně změnit koncepci řešení, s tím že bylo snahou zachovat stěžejní přednosti původní varianty. Největší problém spočíval v tom, zachovat kompaktní rozměry těla a přitom udržet nad hladinou dostatečnou část robotu pro bezproblémovou schopnost plavat. Konkrétně, aby byl vztlak dostatečný pro nadnášení robota do $\frac{1}{2}$ výšky nad hladinou, což by zajišťovalo správnou funkci pásů pro pohyb po hladině.



Obr. 6.2 - Podvozek ve stádiu se symetrickými pásy



Obr. 6.3 - Aktuální koncepce robotu – zobrazení vývojových změn

Porovnání základních parametrů robotů

Pro přehlednost je uvedena srovnávací tabulka parametrů týkajících se změny.

Parametr	Původní varianta	Aktuální koncepce
Délka	524 mm	595 mm
Šířka	439 mm	477 mm
Výška	254 mm	256 mm
Rozchod kol	270 mm	300 mm
Průměr hlavních kol	180 mm	150 mm
Maximální možná výška hladiny	127 mm	205 mm
Hmotnost	25,1 kg *	31,8 kg
Vztlak objemu určeného pro ponor	15,08 kg	37,54 kg

Poznámka :* - neaktuální hmotnost (slabé pohony atd. – bylo by nutné navýšit)

Tab. 6.1 - Parametry robotu před a po změně koncepce

Z tabulky vyplývá, že změna koncepce byla snadnou cestou jak docílit potřebných parametrů pro plavání (především možná hloubka ponoru) a zároveň zachování či dokonce zlepšení terénních schopností podvozku.

6.2 Scénář činností servisního robotu

V této kapitole jsou rozebrány některé rutinní činnosti při operování s robotem, či jeho následná údržba. Robot také nabízí některé atypické možnosti, které zde budou blíže představeny.

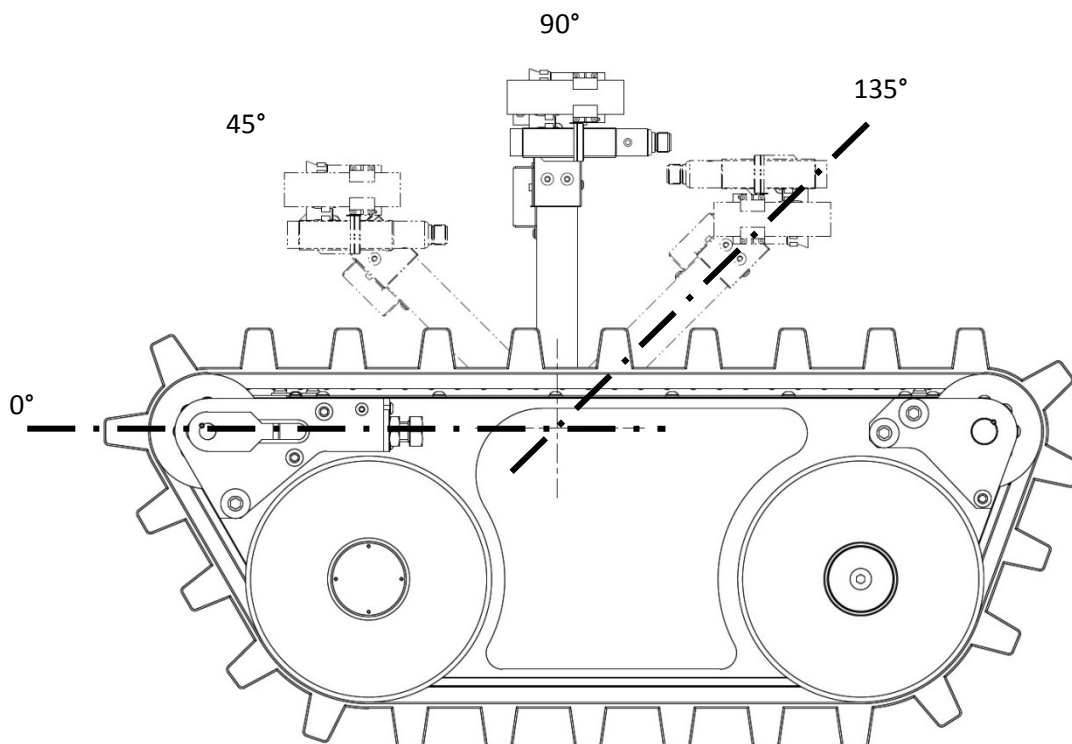
Hlavním účelem tohoto robotu je průzkumná servisní činnost v obtížně dostupném prostředí včetně monitorování pod vodní hladinou. Proto je nutné mít k dispozici sklopné rameno s kamerovým subsystémem a dalšími senzory, což zajistí vizuální kontakt a další informace ze senzorů operátorovi.

6.2.1 Monitorovací možnosti robotu – rameno

Rozsah polohování ramene umožňuje pozorování v polohách od naprostého sklopení (0°) až po úhel 135° vhodný pro monitorování prostoru za robotem. Aretace ramene je zvolena vždy po 45° . Při poloze 90° je orientační ustrojí ramene (viz. podkapitola 6.3.7) v ideální poloze a jsou umožněny nejlepší pozorovací možnosti, pokrývající celé okolí robotu. V této poloze je kamera ve výšce 397 mm nad zemí.

V poloze 0° je rameno skryto pod úroveň těla a kamera je chráněna horním plexisklem což zajišťuje monitorování při průjezdu nízkým profilem, kde by mohlo hrozit poškození ramena či kamery.

Rameno je opatřeno také dalšími senzory. Jedná se o laserový dálkoměr (s dosahem 60m) a tříosým akcelerometrem, tříosým gyroskopem a kompasem. Díky tomuto je možné měřit nejen prostou vzdálenost k objektu, ale také na základě trigonometrie výšku objektů.

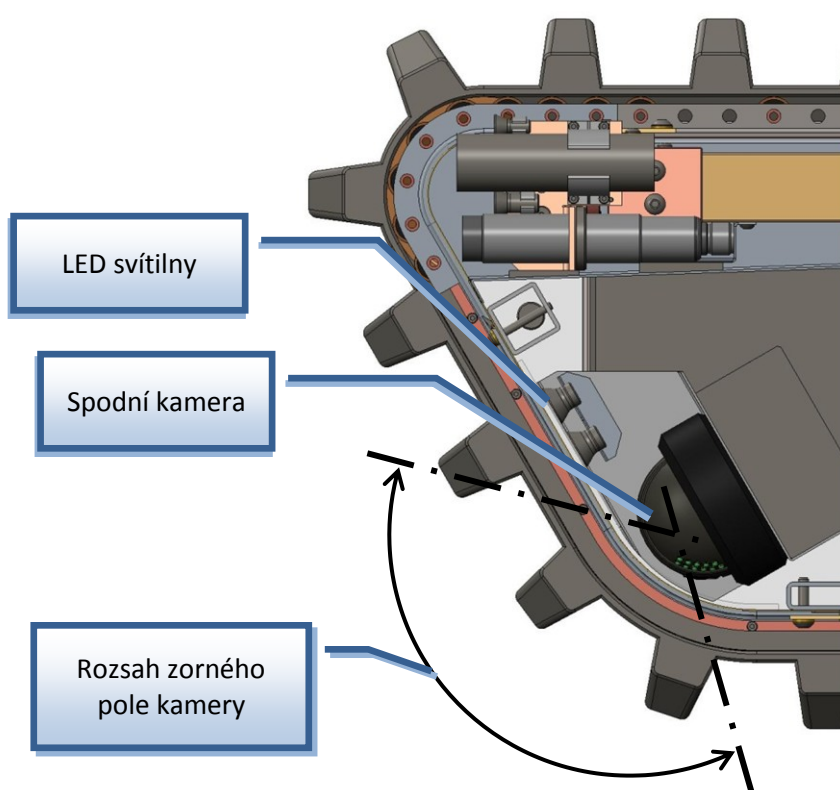


Obr. 6.4 - Rozsah pohybů senzorského subsystému na rameni

6.2.2 Pohyb a monitorování na vodní hladině

Řízení směru na hladině probíhá rozdílnou rotací pásů, stejně jako u diferenčního způsobu řízení na souši. Pro plavání robotu je také důležité umístění těžiště vůči geometrii tělesa. Díky vhodnému rozmístění komponent uvnitř robotu jsou tyto polohy téměř ve stejném bodě.

Monitorování pod vodou je zajištěno kamerou využívající jeden stupeň volnosti pro natáčení v pozorovací rovině. Kamera je umístěnou ve spodní části robotu spolu se šesti vysoce svítivými LED svítilnami, které je možné manuálně nastavit do požadovaných směrů. Tuto kameru kryje tvrzené sklo odolné vůči poškrábání a nárazům.



Obr. 6.5 - Monitorovací možnosti pod hladinou

6.2.3 Převrácení zpět na preferovanou stranu

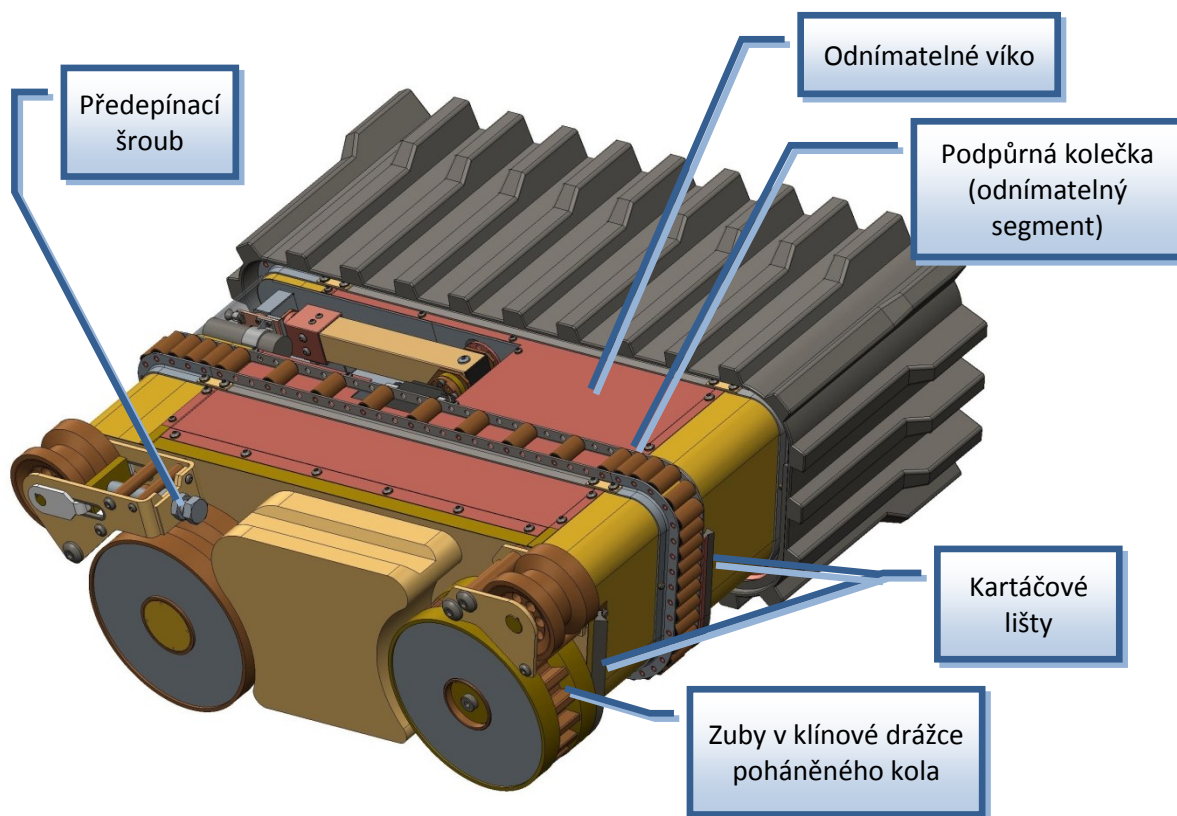
Jelikož je robot schopný provozu také v převrácené podobě, avšak koncepce není symetrická, je nutné umožnit převrácení zpět na preferovanou stranu. Operátor musí vyhodnotit riziko v závislosti na aktuálním terénu a před případným převrácením je nutné složit rameno do sklopené pozorovací polohy, aby nedošlo k poškození ramene, kamery či

senzoriky. Samotné převrácení je možné provést o jakoukoliv dostatečně vysokou kolmou překážku, tak že operátor navede robot přímo na ni a opatrně se o ni převrátí zpět.

6.2.4 Údržba a čištění

S vynikajícími terénními schopnostmi také souvisí schopnost provozu v nevhodných podmínkách, např. průjezd bahnem atd. Pro toto je na podvozku provedeno několik opatření. Kartáčové lišty pro zamezení vniknutí bahna mezi prostor pásu a těla. Dále velké zuby pro přenos kroutícího momentu z kola na pás, vytvořené v klínové drážce kola, což zajistí snazší vypadávání bahna z pásu v oblasti funkční části pro přenos Mk.

Po vykonané servisní úloze v takovémto prostředí je nutné očištění kontaminovaných prvků lokomočního ústrojí. Zde je důležité, aby tato činnost nebyla příliš složitá a zdlouhavá. Pro důkladné očištění je nutné sundat pouze pásy, které se uvolní povolením jednoho šroubu na mechanismu napínací kladky. Tento mechanismus vytváří také potřebné předpětí v pásu, které je vhodné uvolnit po každé servisní úloze. Se servisováním také souvisí přístup do vnitřku robotu za pomoci zatěsněného odnímatelného víka. Zde již bohužel není možné, aby byl přístup tak jednoduchý. Nejdříve je nutné odmontovat odnímatelné segmenty lišt s podpůrnými kolečky (celkem 16 šroubů) a poté samotné víko (32 šroubů). Takto vysoký počet šroubů je nutný pro bezpečné zatěsnění. (viz. podkapitola 6.3.8)



Obr. 6.6 - Prvky proti nečistotám a servisování

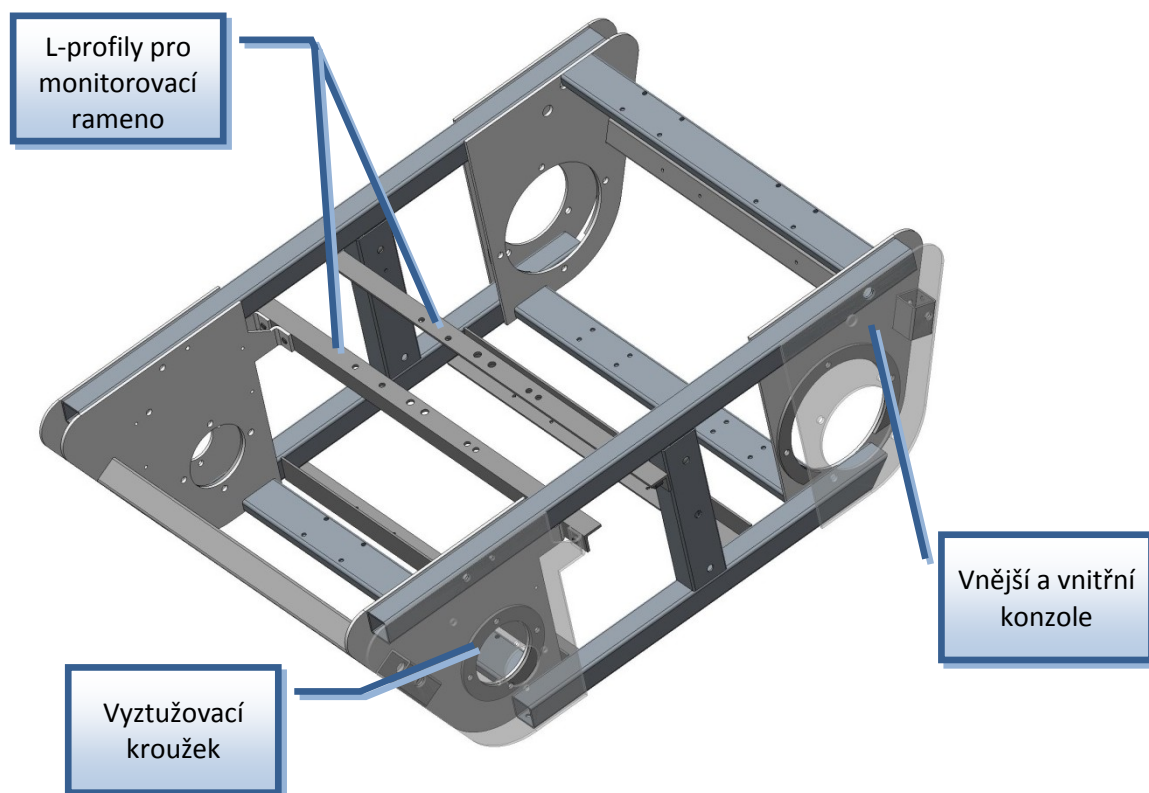
6.3 Popis jednotlivých částí robotu

V této kapitole budou detailněji popsány stěžejní strojní celky v závislosti na celkové funkci v sestavě.

6.3.1 Rám robotu

Nosným prvkem celého podvozku je rám vytvořený z hliníkových slitin EN AW 6063 vykazující velmi dobrou korozní odolnost a svařitelnost, také se vyznačují dobrou obrobitelností. [19]

Pro zachování vodotěsnosti konstrukce je nutné, aby byl rám i při provozním namáhání velice tuhý. Toto je zajištěno svařením tenkostěnných profilů, což zároveň zachová důležitou lehkost konstrukce. K tomuto rámu jsou přišroubovány všechny ostatní prvky, tak aby byla zajištěna smontovatelnost a demontovatelnost jednotlivých strojních podskupin. Poháněná i nepoháněná náprava je pevně připevněna zároveň k vnější i vnitřní konzoly, která je dále vyztužena přivařeným kroužkem. Podsestava monitorovacího ramena je přišroubována k příčným L-profilům, které jsou k rámu také přišroubovány kvůli případné rozsáhlejší demontáži podvozku.

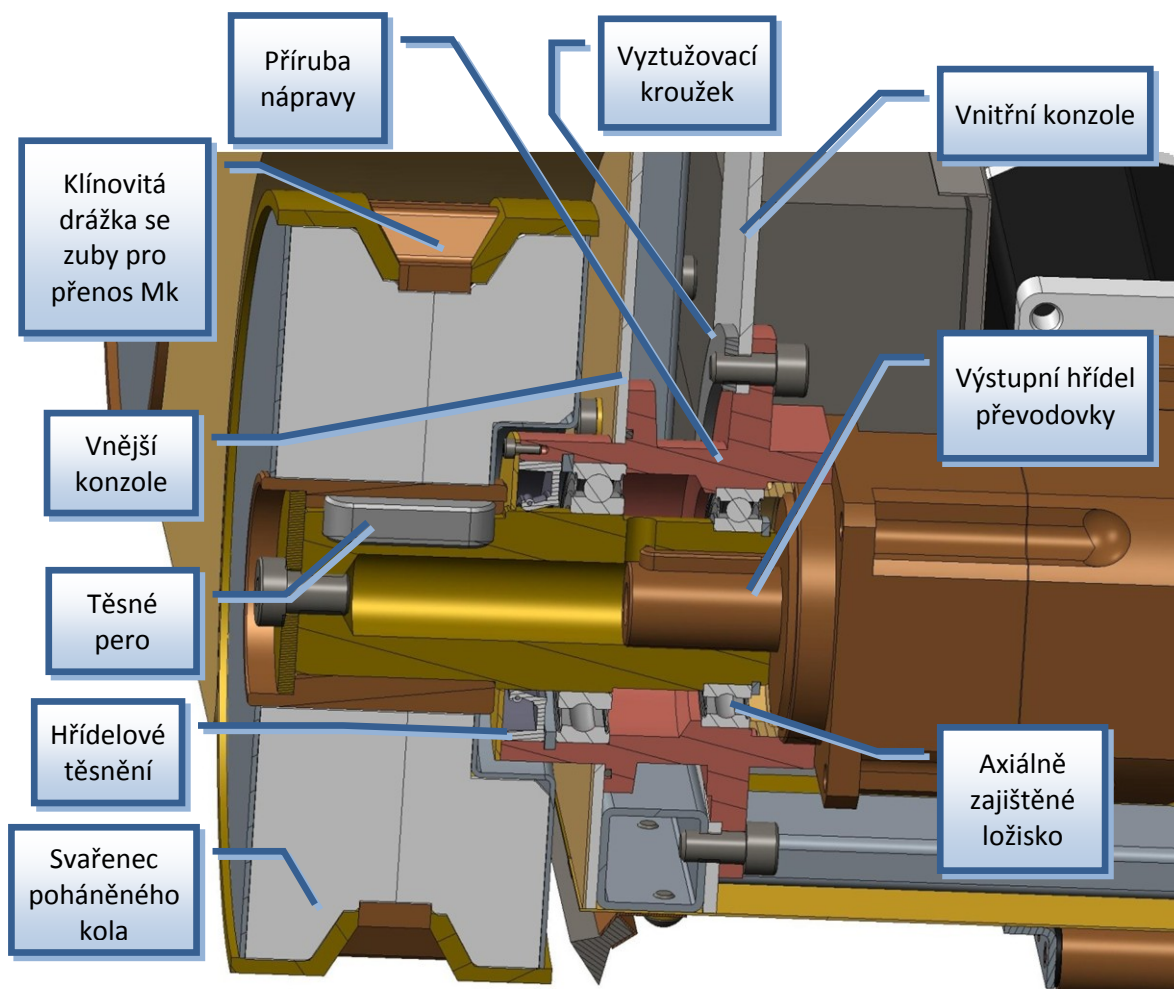


Obr. 6.7 - Rám podvozku

6.3.2 Uložení poháněného kola

Poháněné kolo je vodotěsně svařený celek, tak aby mimo jiné plnil funkci vztlaku. Na obr. 6.8 je vidět klínovitá drážka na věnci kola, kde jsou relativně vysoké zuby pro přenos kroutícího momentu. Toto je z důvodu spolehlivějšího odpadávání nečistot ze zubů na pásu. Kolo je uloženo na hřídeli, ze které je přenášen kroutící moment pomocí těsného pera. Tato hřídel je uložena ve dvou kuličkových ložiscích, přičemž axiální síla je přenášena pomocí jednoho z ložisek viz. obr. 6.8. Těleso příruby nápravy, kde jsou ložiska uložena, slouží rovněž pro zpevnění rámu díky tomu, že je šroubově spojeno s oběma konzolami. Použitý pohon je připojen k přírubě pomocí šroubové a tvarové vazby.

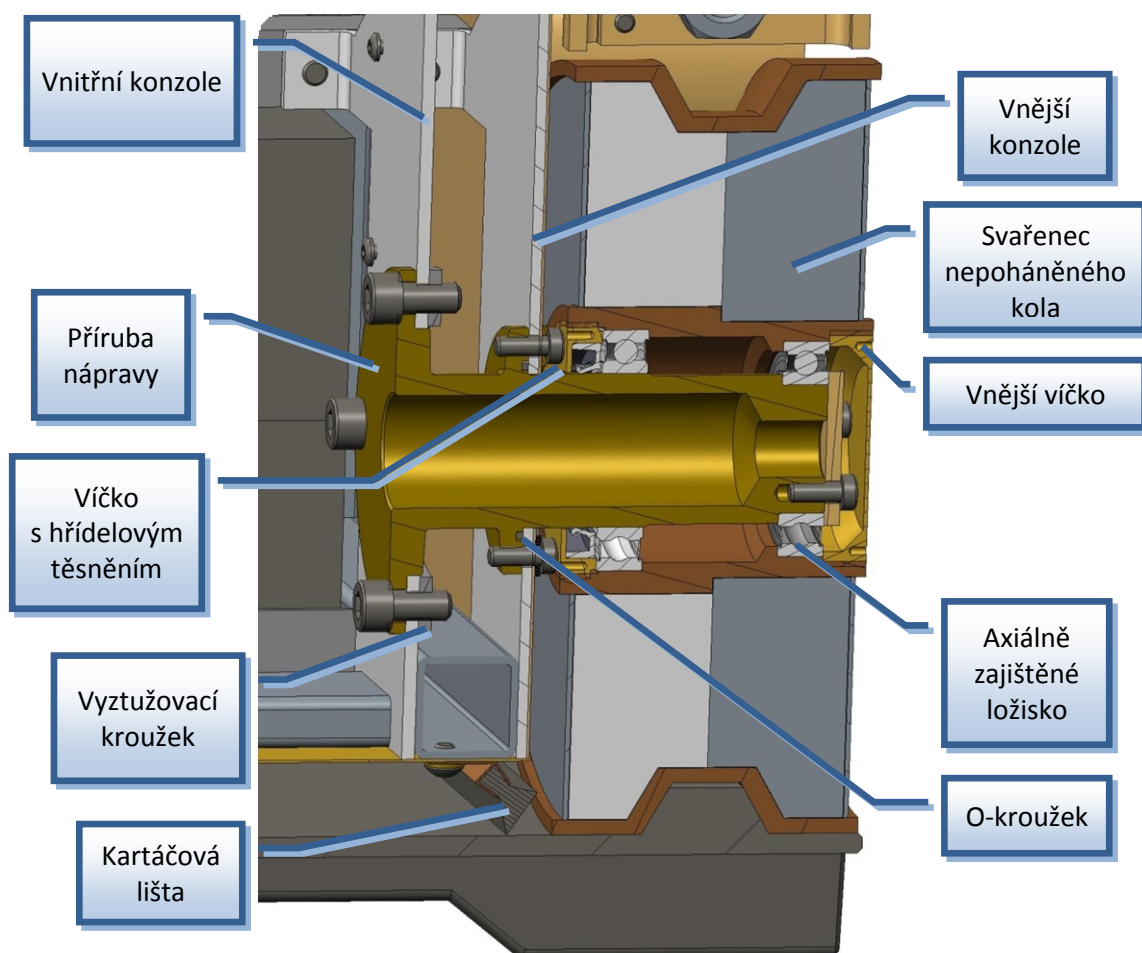
Dimenzování ložisek a těsného pera je provedeno v programu MitCalc. Výsledky výpočtu ložisek jsou uvedeny ve výpočtové části práce – podkapitola 7.4. Dimenzování samotného pohonu je popsáno v kapitole 7.1. (Dimenzování těsného pera je zobrazeno v příloze C).



Obr. 6.8 - Uložení poháněné nápravy

6.3.3 Uložení nepoháněného kola

Nepoháněné kolo je taktéž vodotěsný svařenec z hliníkových slitin. Takto získaný objem vytváří vztlak odpovídající 1,06 kg / 1 kolo. Nosným prvkem kola je příruba nápravy, která rovněž jako v minulém případě pevně spojuje nosné konzole k sobě. Na této přírubě jsou kuličková ložiska umístěná tak že působíště radiální síly působí ideálně mezi nimi. Dynamické těsnění je zajištěno hřídelovým těsněním, které je uloženo v přitlačném víčku. Otvor do těla robota je zatěsněn o-kroužkem a šroubový spoj těsnící podložkou.



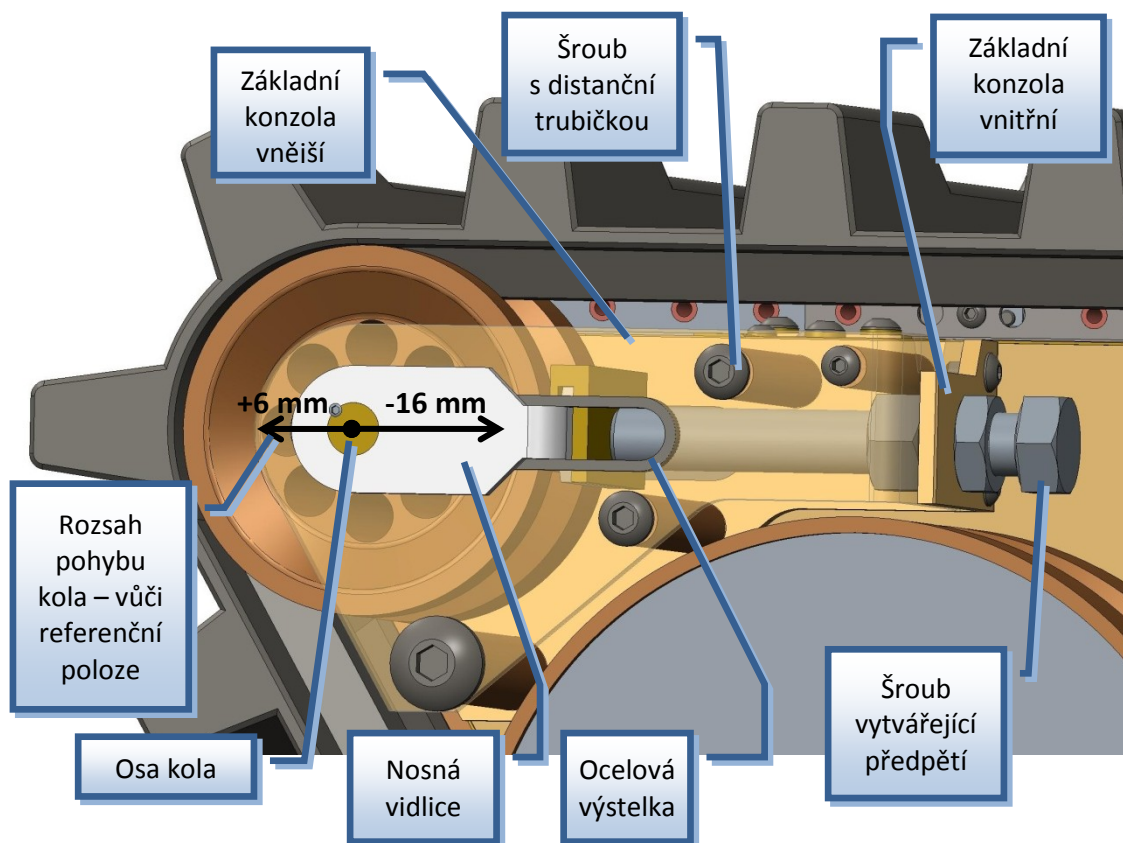
Obr. 6.9 - Uložení nepoháněného kola

6.3.4 Mechanismus napínací kladky

Tento mechanismus vytváří potřebné předpětí v pásu a také zajišťuje snadnou demontáž pásu. Napínací kolo je uloženo na ose přes kluzná ložiska s obrubou H370 vyrobená z plastového kompozitu, který je vhodný do mokrého a znečištěného prostředí [20]. Výpočet životnosti byl zpracován v generátoru firmy Igus s výsledkem 307 hod. Tato hodnota není nijak vysoká, ovšem případná výměna na mechanismu je velice snadná.

Nosný prvek celého mechanismu tvoří vnější a vnitřní konzole, které jsou za pomoci šroubů s distanční trubičkami přišroubovány k rámu robotu. V ocelové výstelce je umožněn posuv osy kola vůči referenční poloze v rozmezí +6 až -16mm. Předpětí od šroubu M12 na osu kola přenáší nosná vidlice.

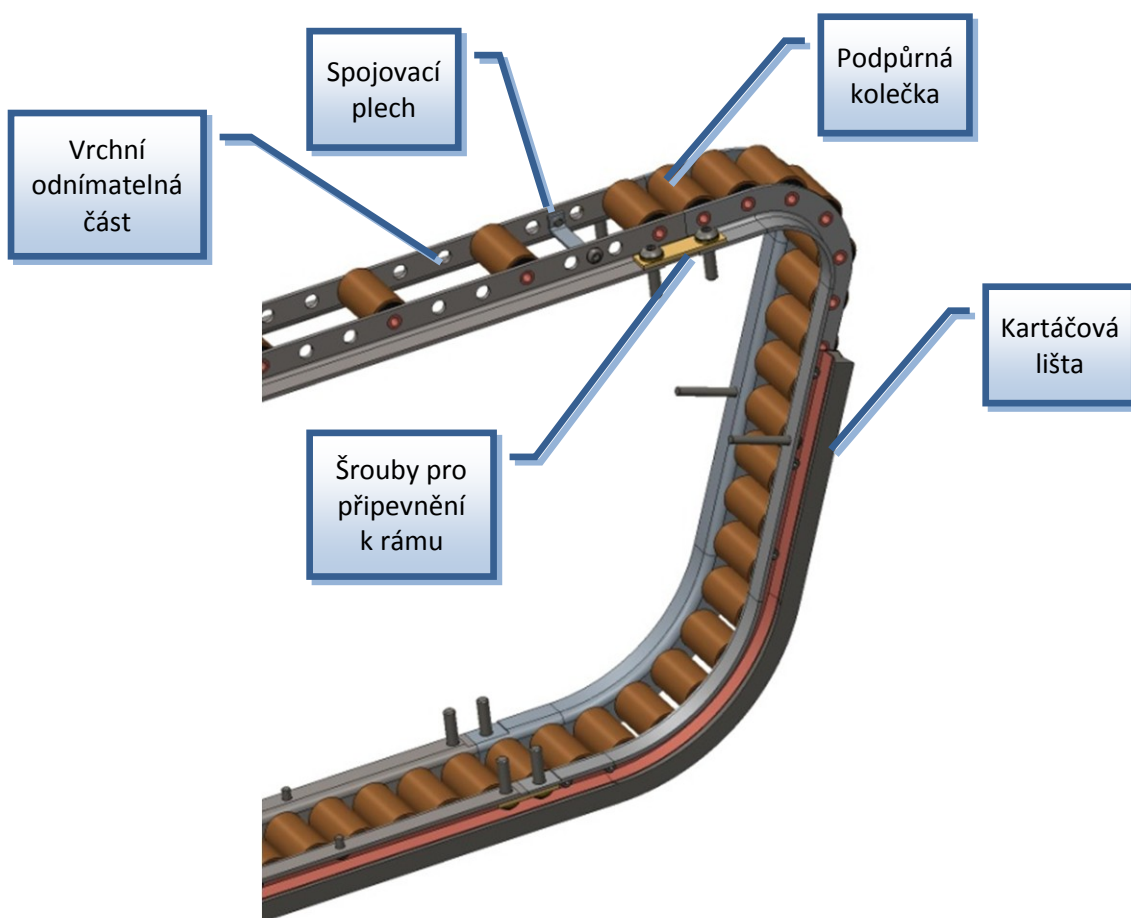
Velikost předepínací síly byla zvolena na základě výpočtu v MitCalcu pro ozubený řemen velikosti XH, rozměrově odpovídající zubům na pásu, při stanovení rozměrových a výkonnostních parametrů odpovídajících poměrům na podvozku. Vypočtená síla má hodnotu $F_0 = 147 \text{ N}$.



Obr. 6.10 - Napínací mechanismus

6.3.5 Podpůrná kolečka po obvodu

Vnitřní okraj pásu je podpírán množstvím podpůrných koleček, pro případ najetí na překážku v oblasti snížených zubů. Tuto podporu zajišťují obvodové lišty s kolečky uloženými na kluzných ložiscích z plastového kompozitu HM370. [20] Lišty jsou po obvodě rozděleny na čtyři segmenty kvůli vyrobitelnosti a také z důvodu odejmutí servisního víka robotu při servisování. Na vnitřní lištu (směrem ke středu robotu) je připevněna kartáčová lišta pro zamezení vniknutí nečistot. Z tohoto důvodu jsou ve spodní části kolečka posázena tak hustě u sebe, aby zbytečně nedocházelo k otěru pásu o lištu kartáčů.



Obr. 6.11 - Podpůrná obvodová kolečka (zobrazena zadní část)

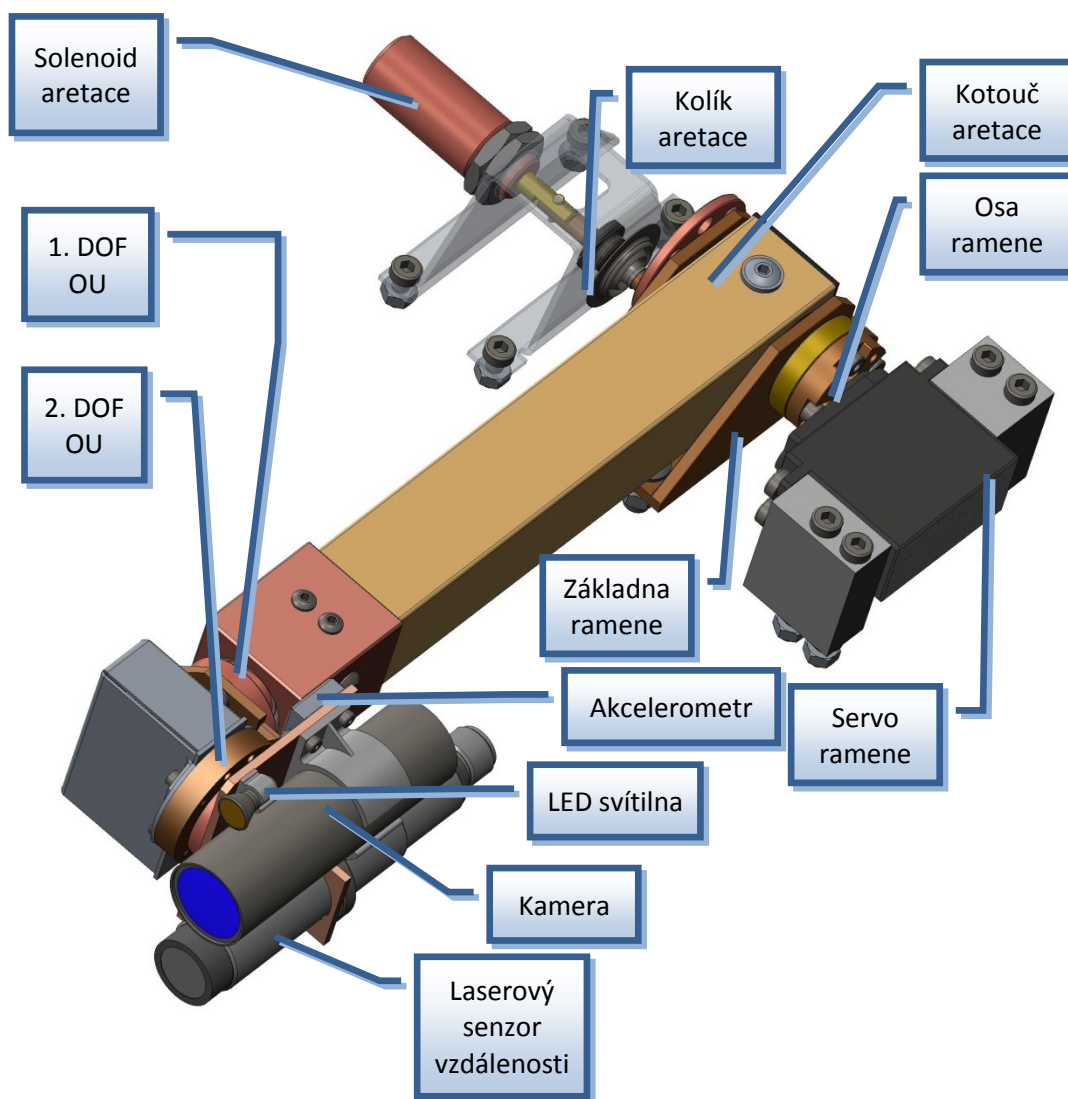
6.3.6 Boční plováky

Po bocích robotu mezi hlavními koly jsou umístěny plováky (viz. obr. 6.1) vytvořené z tvrzeného polystyrenu. Jeden plovák vykazuje vztlakovou sílu odpovídající 1,54 kg. Mezi tělem robotu a plovákem je mezera 1mm, aby mohlo v této oblasti docházet k odvodu tepla z těla robotu

6.3.7 Rameno se senzorkým subsystémem

Robot je vybaven manipulačním ramenem pro kamerový a senzorký subsystém. Rozsah pohybů je rozebrán v podkapitole 6.2.1, kde jsou také popsány monitorovací možnosti. Polohování kamery je zajištěno celkem třemi rotačními klouby poháněnými vodotěsnými modelářskými servy.

Rameno je uloženo v základně, která je přišroubovaná k rámu robotu. Z jedné strany základny je servo Savox SW 1210 [21] připojené přes přírubu k ose ramene, kde je tudíž první rotační kloub. Z druhé strany je kolíkový aretační mechanismus s akčním členem zastoupeným válcovým solenoidem T1632. [22] Kolík zajede v aretační poloze do aretačního kotouče, přičemž dále je fixován v základně. Ve sklopené poloze je orientační ústrojí položené na pryžových podložkách, což odlehčí právě aretačnímu mechanismu.



Obr. 6.12 - Rameno se senzorkým subsystémem

Polohování kamery při pozorování umožňuje orientační ústrojí ramene, čili poslední dva stupně volnosti (viz. obr. 6.12). Pohon je zajištěn pomocí vodotěsných serv značky Turnigy 380 MG. [23] Zde je navíc provedeno krytování z plechu zamezující vniknutí nečistot i tekutin, dále chrání před mechanickým poškozením. Při konstrukci tohoto ústrojí byla vyvíjena snaha mít těžiště zainteresovaných hmot co nejbližší k ose rotace. (viz. podkapitola 7.6)

Zde je již umístěna stěžejní sensorika: Vodotěsná kamera pro adrenalinové sporty Extreme Cam V2 umožňující snímat obraz v day/night režimu což zajišťuje kvalitní obraz i při špatných světelných podmínkách. Tato kamera je vybavena optickou stabilizací pro zmírnění otřesů snímaného obrazu a také obsahuje integrovaný mikrofon. Pro přisvětlení snímané scény jsou umístěny při kameře dvě vysoce svítivé LED svítilny. [24]

Dále je zde laserový dálkoměr firmy SICK VSE 18L s dosahem měření 60m [25]. Ten spolu se senzorem Pololu MinIMU9 V2 což je současně tříosí akcelerometr, tříosí gyroskop a kompas [26] je schopný měřit jak vzdálenost k danému objektu tak na základě trigonometrie také přibližnou výšku objektu, jelikož můžeme určit úhel natočení senzoru od referenční roviny.

6.3.8 Těsnění

U obojživelného robotu je bezpodmínečně nutné, aby byl prostor robotu zatěsněn proti vniknutí vody. Krytování robotu je posvařované z 0,5mm silných hliníkových plechů metodou WIG. Následně je nutná zkouška vodotěsnosti spojů. [27]

Vzájemně rotující plochy jsou zatěsněny pomocí radiálního hřídelového těsnění značky Trelleborg typ TRA s maximálním pracovním tlakem 0,05MPa což dle výpočtu hydrostatického tlaku odpovídá 5m vodního sloupce [18]. Pro statické plochy je použito několik druhů těsnění jako klasické o-kroužky, či těsnění vystřižená z pryžových plátů. Pro zatěsnění šroubových spojů jsou použity těsnící podložky GM1000 které se skládají z vnějšího kovového prstence a vnitřního pryžového těsnění viz. obr. 6.13. [17]



Obr. 6.13 - Těsnící podložka GM1000

Zbylé plochy jsou zatěsněny trvale elastickým těsnícím tmelem odolávající mechanickému namáhání značky Elring Dirko-S Profí HT [16].

Pro ošetření zbylé vlhkosti v robotu je možné použít pohlcovače vlhkosti např. na bázi silikagelu.

7 Výpočtová část návrhu

Tato kapitola se zabývá dimenzováním stěžejních prvků robotu.

7.1 Návrh pohonu

Na začátku výpočtu je provedeno předběžné dimenzování pohonu, následně je zkontrolován konkrétní pohon pro rozjezd po rovině a rozjezd do kopce. Výpočet probíhal s podporou programu Mathcad

Vstupní parametry pro návrh pohonu

Rychlost robotu (po rovině) $v_{\text{rob}} = 10 \text{ km/h} = 2,78 \text{ m/s}$

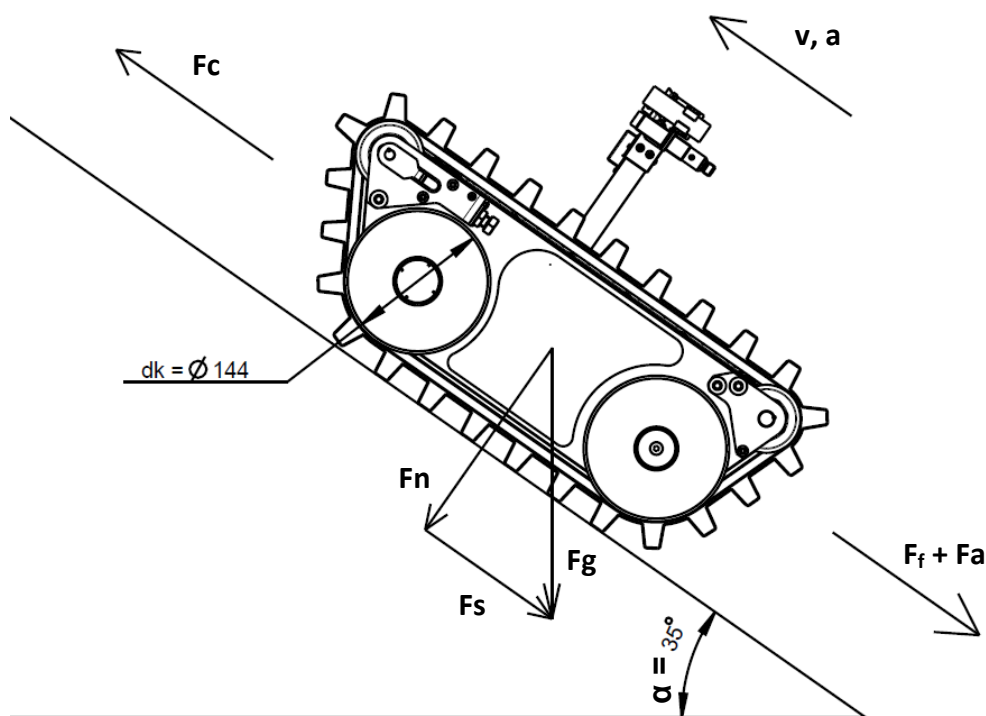
Zrychlení robotu $a_{\text{rob}} = 0,6 \text{ m/s}^2$

Průměr poháněného kola
(v místě kontaktu zubů) $d_k = 144 \text{ mm}$

Hmotnost robotu $m_{\text{rob}} = 31,8 \text{ kg}$
(hmotnost z Crea + 0,4kg na kabeláž atd.)

Výpočet výstupních otáček

Otáčky kola
$$n_{\text{vyst}} = \frac{v_{\text{rob}}}{\pi \cdot d_k} = \frac{2,78}{\pi \cdot 0,148} = 6,14 \text{ ot/s} = 368,4 \text{ ot/min} \quad [7.1]$$



Obr. 7.1 - Schéma pro dimenzování pohonu (rozjezd do svahu)

Návrh pohonu pro pohyb po rovině

Trakční součinitel tření $\mu_p = 0,3$ (převzato z [1])

Bezpečnostní koeficient $k_b = 1,4$

Třecí odpory $F_{f.rov} = m_{rob} \cdot g \cdot \mu_p = 31,8 \cdot 9,81 \cdot 0,3 = 93,56 N$ [7.2]

Odpor proti zrychlení $F_a = m_{rob} \cdot a_{rob} = 31,8 \cdot 0,6 = 19,08 N$ [7.3]

Předběžný kroutící moment

$$Mk_{rov.} = (F_{f.rov} + F_a) \cdot \frac{d_k}{2} \cdot k_b = (93,56 + 19,08) \cdot \frac{0,144}{2} \cdot 1,4 = 11,354 N \cdot m$$
 [7.4]

Předběžný výkon motoru $P_{predb} = Mk_{rov} \cdot \omega_{vyst} = 11,354 \cdot 38,579 = 438,027 W$ [7.5]

Na základě předběžného návrhu pohonu je zvolen motor **Dunkernmotoren BG75x25** [28, příloha A]

Převodovka je zvolena z generátoru firmy **Apex Dynamix ABR 60**, s odpovídajícími přípojovacími rozměry k motoru. [29, příloha B]

Základní parametry motoru

Nominální výkon motoru $P_{mot} = 250 W$
Nominální otáčky motoru $n_{mot} = 3620 \text{ ot} / \text{min} = 60,33 \text{ ot} / \text{s}$
Nominální kroutící moment (při nominálním proudu 13,1A) $Mk_{nom} = 0,66 \text{ Nm}$
Maximální kroutící moment při 50A $Mk_{max} = 2,2 \text{ Nm}$
(50A je omezení controlleru, maximum samotného motoru je 65A)
Moment setrvačnosti rotoru $J_m = 240 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$

Základní parametry převodovky

Převodový poměr $i_{prev} = 10$
Účinnost převodovky $\eta_{prev} = 95\%$
Přípustný výstupní kroutící moment $Mk_{max,prev} = 40 \text{ Nm}$
Moment setrvačnosti na výstupní hřídeli $J_{prev} = 0,035 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$

Výsledné parametry pohonu

Výstupní otáčky $n_{vyst.sk} = \frac{n_{mot}}{i_{prev}} = \frac{3620}{10} = 362 \text{ ot} / \text{min} = 6,033 \text{ ot} / \text{s}$ [7.6]

Nominální výstupní moment $Mk_{vyst.nom} = Mk_{max} \cdot i_{prev} \cdot \eta_{prev} = 0,66 \cdot 10 \cdot 0,95 = 6,27 \text{ Nm}$ [7.7]

Maximální výstupní moment $Mk_{\text{vyst max}} = Mk_{\text{max}} \cdot i_{\text{prev}} \cdot \eta_{\text{prev}} = 2,2 \cdot 10 \cdot 0,95 = 20,9 \text{ Nm}$ [7.8]

Výsledná rychlost robotu při nominálním výkonu

$$v_{\text{rob.sk}} = \pi \cdot d_k \cdot n_{\text{vyst.sk}} = \pi \cdot 0,144 \cdot 6,033 = 2,729 \text{ m/s} = 9,82 \text{ km/h}$$
 [7.9]

Výpočet momentu k urychlení rotačních hmot

Úhlové zrychlení $\varepsilon_{\text{rob}} = \frac{2 \cdot a_{\text{rob}}}{d_k} = \frac{2 \cdot 0,6}{0,144} = 8,333 \text{ rad/s}$ [7.10]

Moment setrvačnosti rotoru vztažený na výstupní hřídel převodovky

$$J_{m.v} = J_m \cdot i_{\text{prev}}^2 = 0,24 \cdot 10^2 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
 [7.11]

Moment setrvačnosti hmot na poháněném kole $J_{\text{poh.k}} = 2,318 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ [7.12]

Moment setrvačnosti hmot na nepoháněném kole $J_{\text{nepoh.k}} = 1,783 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ [7.13]

Moment setrvačnosti celkový

$$J_{\text{celk}} = J_{m.v} + J_{\text{prev}} + J_{\text{poh.k}} + J_{\text{nepoh.k}} = 2,41 \cdot 10^{-3} + 3,5 \cdot 10^{-6} + 2,318 \cdot 10^{-3} + 1,783 \cdot 10^{-3} = 6,505 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
 [7.14]

Moment potřebný k urychlení rotačních hmot na obou pohonech

$$Mk_{\text{rot}} = 2 \cdot \varepsilon_{\text{rob}} \cdot J_{\text{celk}} = 2 \cdot 8,333 \cdot 6,505 \cdot 10^{-3} = 0,108 \text{ Nm}$$
 [7.15]

Kontrola zvoleného pohonu pro rozjezd po rovině

$$Mk_{\text{rov.}} = \left[Mk_{\text{rot}} + (F_{f.\text{rov}} + F_a) \cdot \frac{d_k}{2} \right] \cdot k_b = \left[0,108 + (93,56 + 19,08) \cdot \frac{0,144}{2} \right] \cdot 1,4 = 11,505 \text{ N} \cdot \text{m}$$
 [7.16]

$$2 \cdot Mk_{\text{vyst nom}} \geq Mk_{\text{rov}} \rightarrow 2 \cdot 6,27 \geq 11,505 \rightarrow 12,54 \geq 11,505$$
 [7.17]

Vyhovuje

Kontrola zvoleného pohonu pro rozjezd do svahu

Úhel stoupání svahu $\alpha_{\text{svah}} = 35^\circ$

Síla pro překonání svahu $F_s = m_{\text{rob}} \cdot g \cdot \sin(\alpha_{\text{svah}}) = 31,8 \cdot 9,81 \cdot \sin(35^\circ) = 178,871 \text{ N}$ [7.18]

Normálová síla $F_n = m_{\text{rob}} \cdot g \cdot \cos(\alpha_{\text{svah}}) = 31,8 \cdot 9,81 \cdot \cos(35^\circ) = 255,454 \text{ N}$ [7.19]

Třecí odpory $F_f = F_n \cdot \mu_p = 255,454 \cdot 0,3 = 76,636 \text{ N}$ [7.20]

Potřebný kroutící moment pro rozjezd do svahu

$$Mk_{svah} = \left[Mk_{rot} + (F_f + F_a) \cdot \frac{d_k}{2} \right] \cdot k_b = \left[0,108 + (76,636 + 19,08) \cdot \frac{0,144}{2} \right] \cdot 1,4 = 27,83 N \cdot m \quad [7.21]$$

$$2 \cdot Mk_{vyst\ max} \geq Mk_{svah} \quad \rightarrow \quad 2 \cdot 20,9 \geq 27,83 \quad \rightarrow \quad 41,8 \geq 27,83 \quad [7.22]$$

Vyhovuje

Odběr proudu při rozjezdu do kopce odečten z charakteristiky motoru bude 26 A. (viz příloha A)

$$\text{Maximální tahová síla v jednom pásu} \quad F_{tah} = \frac{Mk_{vyst.\max} \cdot 2}{d_k} = \frac{20,9 \cdot 2}{0,144} = 278,667 N \quad [7.23]$$

7.2 Výpočet vztlakové síly

Pro tento výpočet jsou použity objemy hlavních těles robotu zjištěné v systému Creo, přičemž je počítáno s hloubkou ponoru 205 mm (viz. obr. 6.3). Objemy menších dílů zde nejsou započteny, tudíž je zde určitá chyba směrem k bezpečnosti. Výpočet vztlaku je proveden na principu Archimédova zákona.

$$\text{Archimédův zákon} \quad F = F_g - F_{vz}$$

$$\text{Hustota vody} \quad \rho = 1000 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Objem těla robotu} \quad V_{rob} = 26,44 \text{ L}$$

$$\text{Objem jednoho pásu} \quad V_{pas} = 1,892 \text{ L}$$

$$\text{Objem jednoho kola} \quad V_k = 1,06 \text{ L}$$

$$\text{Objem jednoho bočního plováku} \quad V_{pl} = 1,54 \text{ L}$$

Výtlak počítaného objemu

$$m_{vyt} = (V_{rob} + 2 \cdot V_{pas} + 4 \cdot V_k + 2 \cdot V_{pl}) \cdot \rho = (26,44 + 2 \cdot 1,892 + 4 \cdot 1,06 + 2 \cdot 1,54) \cdot \rho = 37,544 \text{ kg} \quad [7.24]$$

$$m_{vyt} \geq m_{rob} \quad \rightarrow \quad 37,544 \geq 31,8 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje} \quad [7.25]$$

7.3 Kontrola uchlazení robotu

V této podkapitole je provedena kontrola na oteplení vnitřního prostoru robotu. Ve výpočtu je brán zřetel pouze na ztrátový výkon trakčních motorů. [28; příloha A] Ostatní prvky jsou v tomto výpočtu zanedbány. Vytvořený tepelný výkon je předáván do okolí pouze prostupem stěnou, tudíž se použije příslušný postup. [37]

Referenční teplota uvnitř robotu je omezena na 50°C z důvodu přípustných teplot elektronických komponent.

Součinitel tepelné vodivosti hliníku $\lambda = 237 \frac{W}{m \cdot K}$

Součinitel přestupu tepla (vnitřní strana) $\alpha_1 = 17 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Součinitel přestupu tepla (vnější strana) $\alpha_2 = 19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Tloušťka stěny $s_{st} = 0,0005 \text{ m}$

Plošný obsah stěny $S_{st} = 0,577 \text{ m}^2$

Přístupná vnitřní teplota $T_1 = 323,15 \text{ K} = 50 \text{ °C}$

Teplota venkovního okolí $T_2 = 293,15 \text{ K} = 20 \text{ °C}$

Tepelný výkon chladiče $q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{st}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot S_{st} = \frac{50 - 20}{\frac{1}{17} + \frac{0,0005}{237} + \frac{1}{19}} \cdot 0,577 = 155,306W$ [7.26]

Účinnost motoru při nominálním výkonu $\eta_{mot} = 85\%$

Účinnost motoru při rozjezdu do kopce $\eta_{mot.svah} = 70\%$

Výkon motoru při rozjezdu do kopce $P_{mot.svah} = 400W$

Ztrátový výkon obou trakčních motorů při nominálním výkonu [28]

$$P_{ztrat} = P_{mot} \cdot \eta_{mot} \cdot 2 = 250 \cdot (1 - 0,85) \cdot 2 = 75W$$
 [7.27]

Ztrátový výkon obou trakčních motorů při rozjezdu do kopce [28]

$$P_{ztrat.svah} = P_{mot.svah} \cdot \eta_{mot.svah} \cdot 2 = 400 \cdot (1 - 0,70) \cdot 2 = 240W$$
 [7.28]

Součinitelé přestupu tepla je velice obtížné zjistit, závisí totiž na mnoha různých faktorech, jako je druh tekutiny, či způsob proudění v okolí stěny. Proto jsou zvolené koeficienty α_1 a α_2 převzaty z podobných příkladů ve sbírce příkladů. [37]

Z kontroly vyplývá, že ochlazování při jízdě rovně je cca 2x předimenzované tudíž **vyhovuje**.

Ztrátový výkon při rozjezdu do kopce je však větší než kolik dokáže stěna ochladit, tudíž by při tomto výkonu docházelo k oteplování vnitřního prostoru.

7.4 Zatížení ložisek na nápravě poháněného kola

Síly zatěžující tato ložiska jsou brány jako reakce kola na nosnou hřídel. Proto je zprvu důležité určit reakci v podporách na daném nosníku. Síla předpětí v pásu je zjištěna z výpočtu ozubeného řemen velikosti XH při stejných rozměrových a výkonových vstupních parametrech v programu Mitcalc.

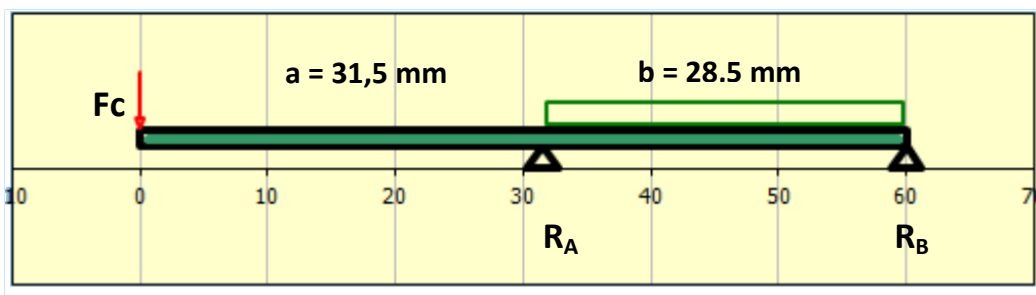
Maximální tahová síla v jednom pásu [7.23] $F_{tah} = 290.278 \text{ N}$

Celková tíha robotu $F_g = m_{rob} \cdot g = 31,8 \cdot 9,81 = 311,851 \text{ N}$ [7.29]

Předpětí v pásu $F_o = 147 \text{ N}$ [7.30]

(zjištěno z Mitcalcu pro výpočet ozubeného řemenu)

Celková síla $F_c = F_{tah} + \frac{1}{4} \cdot F_g + F_o = 278,667 + \frac{1}{4} \cdot 311,655 + 147 = 515,241 \text{ N}$ [7.31]



Obr. 7.2 - Nosník odpovídající uložení poháněného kola

$$\sum M_{(B)} = 0 \quad R_A = \frac{F_c \cdot (a + b)}{b} = \frac{515,241 \cdot (31,5 + 28,5)}{28,5} = 1085 \text{ N} \quad [7.32]$$

$$\sum F = 0 \quad R_B = R_A - F_c = 1085 - 515,241 = 569,777 \text{ N} \quad [7.33]$$

Výpočet ložiska v místě reakce R_A (proveden v Mitcalcu)

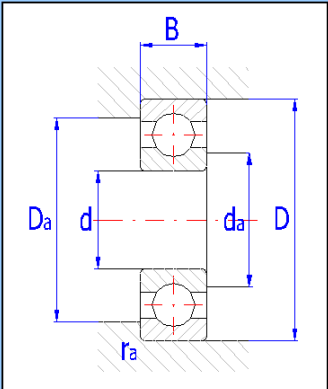
Zvolené ložisko - zakrytované SKF 61907 – 2RZ

1.7 Zatížení ložiska		Proměnlivé zatížení	
1.8 Otáčky	n	362,0	[/min]
1.9 Radiální zatížení	Fr	1085,0	[N]
1.10 Axiální zatížení	Fa	0,0	[N]
1.11 Součinitel přidavných dynamických sil		1,2	
1.12 Požadované parametry ložiska			
1.13 Trvanlivost ložiska	Lh	10000	[h]
1.14 Součinitel statické bezpečnosti	s0	2,00	

Tab. 7.1 - Základní vstupní parametry výpočtu ložiska - Ra

2.2 Parametry ložiska			
2.3	Základní dynamická únosnost	C	9560 [N]
2.4	Dynamické ekvivalentní zatížení	P	1302 [N]
2.5	Základní trvanlivost	L10h	18226 [h]
2.6	Základní statická únosnost	C0	6800 [N]
2.7	Statické ekvivalentní zatížení	P0	1302 [N]
2.8	Součinitel statické bezpečnosti	s0	5,22
2.9	Dovolené radiální zatížení	F _{rmax}	- [N]
2.10	Dovolené axiální zatížení	F _a max	- [N]
2.11	Referenční otáčky	n _r	26000 [/min]
2.12	Mezní otáčky	n _{max}	16000 [/min]
2.13	Ztrátový výkon	NR	1,3 [W]
2.14	Váha ložiska	g	0,08 [kg]

d	35
D	55
B	10
r _{amax}	0,6
D _{amax}	51,8
d _{amin}	38,2



Tab. 7.2 - Výstupní parametry zvoleného ložiska- Ra

Výpočet ložiska v místě reakce R_B (proveden v Mitcalcu)

Zvolené ložisko - zakrytované SKF 61906 – 2RZ

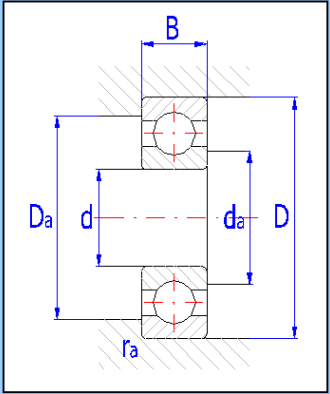
Ložisko R_B je axiálně zajištěno (viz. obr. 6.8), velikost axiální síly s ohledem na bezpečnost je zvolena 350N.

1.7 Zatížení ložiska		Proměnlivé zatížení	
1.8	Otáčky	n	362,0 [/min]
1.9	Radiální zatížení	F _r	569,5 [N]
1.10	Axiální zatížení	F _a	350,0 [N]
1.11	Součinitel přidavných dynamických sil		1,2
1.12 Požadované parametry ložiska			
1.13	Trvanlivost ložiska	L _h	10000 [h]
1.14	Součinitel statické bezpečnosti	s0	2,00

Tab. 7.3 - Základní vstupní parametry výpočtu ložiska - Rb

2.2 Parametry ložiska			
2.3 Základní dynamická únosnost	C	7280	[N]
2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení	P	1004,3	[N]
2.5 Základní trvanlivost	L10h	17537	[h]
2.6 Základní statická únosnost	C0	4550	[N]
2.7 Statické ekvivalentní zatížení	P0	683,4	[N]
2.8 Součinitel statické bezpečnosti	s0	6,66	
2.9 Dovolené radiální zatížení	F _{rmax}	-	[N]
2.10 Dovolené axiální zatížení	F _a max	-	[N]
2.11 Referenční otáčky	n _r	30000	[/min]
2.12 Mezní otáčky	n _{max}	19000	[/min]
2.13 Ztrátový výkon	NR	0,86	[W]
2.14 Váha ložiska	g	0,051	[kg]

d	30
D	47
B	9
ramax	0,3
Damax	45
damin	32

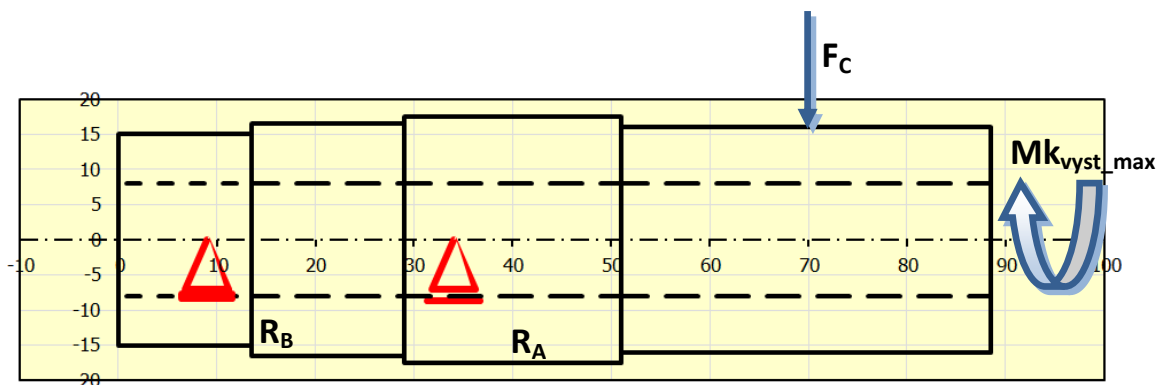


Tab. 7.4 - Výstupní parametry zvoleného ložiska- Rb

Vypočtená doba životnosti je u obou ložisek přes 17 000 hodin, což značí dostatečné předimenzování pro aplikaci na servisním robotu.

7.5 Dimenzování hřídele poháněné nápravy

Výpočet je proveden v programu Mitcalc, přičemž vstupními parametry jsou výsledky z předchozích výpočtů ([7.8] [7.32] [7.33]) a rozměrově odpovídá zadání obr. 6.8 a 7.2.



Obr. 7.3 - Zatížení hřídele poháněného kola

	x	y	z	$\Sigma y+z$	
7.1 Reakce v podpoře R1	370	0	895,30319	895,30319	[N]
7.2 Reakce v podpoře R2	0	0	-1514,1003	1514,1003	[N]
7.3 Celková hmotnost hřídele	m	0,44			[kg]
7.4 Maximální průhyb	y	0,0022			[mm]
7.5 Maximální zkroucení	φ	0,0126			[°]
7.6 Naklonění v R1	ϑ	0,0006			[°]
7.7 Naklonění v R2	ϑ	0,0010			[°]
7.8 Max. napětí v ohybu	σ_e	7,2			[MPa]
7.9 Max. napětí ve střihu	τ_s	1,8			[MPa]
7.10 Max. napětí v krutu	τ_t	6,5			[MPa]
7.11 Max. napětí v tahu/tlaku	σ_g	-0,8			[MPa]
7.12 Max. redukované napětí	σ_r	14,6			[MPa]
7.13 Min. statická bezpečnost	SF _{St}	13,86			
7.14 Min. dynamická bezpečnost	SF _D	8,42			
7.15 Rezonanční otáčky (A)	n_c	0,0			[/min]
Rezonanční otáčky (B)	n_c	469305,4			[/min]
Rezonanční otáčky (C)	n_c	367921,8			[/min]

Tab. 7.5 - Výsledek kontroly hřídele poháněného kola

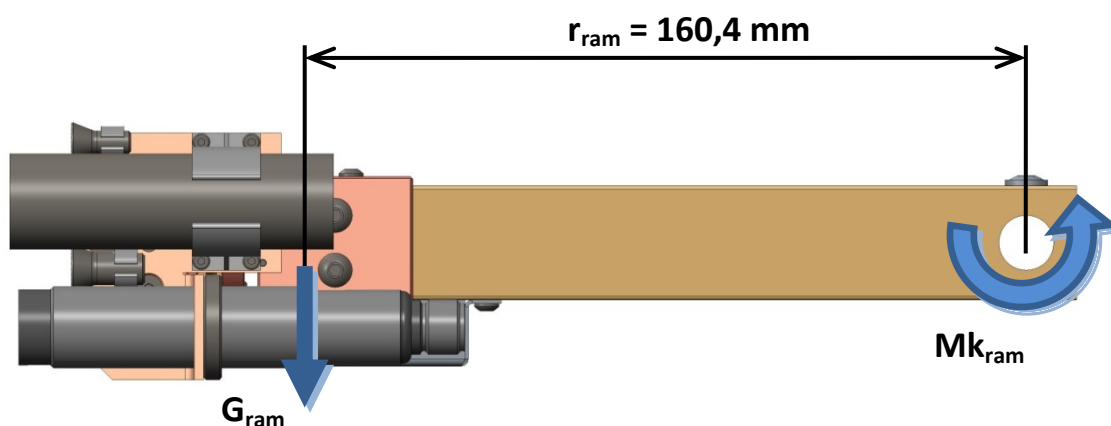
Jako materiál hřídele je zvolena nerezová ocel **X90CrMoV19** s pevností v tahu 490MPa.

Minimální dynamická **bezpečnost** dle výpočtu v Mitcalcu vyšla **8,42**.

7.6 Kontrola použitých modelářských serv na rameni

Dimenzování je provedeno zjednodušenou formou a to bez výpočtu zrychlení hmot.

Dimenzování pohonu v základu



Obr. 7.4 - Dispozice pro výpočet pohonu v základu

Celková hmotnost vytvářející moment na pohon $m_{ram} = 0,421 \text{ kg}$
 Vzdálenost těžiště od osy rotace $r_{ram} = 160,4 \text{ mm}$
 Tíhová síla ramene $G_{ram} = m_{ram} \cdot g = 0,421 \cdot 9,81 = 4,13 \text{ N}$ [7.34]

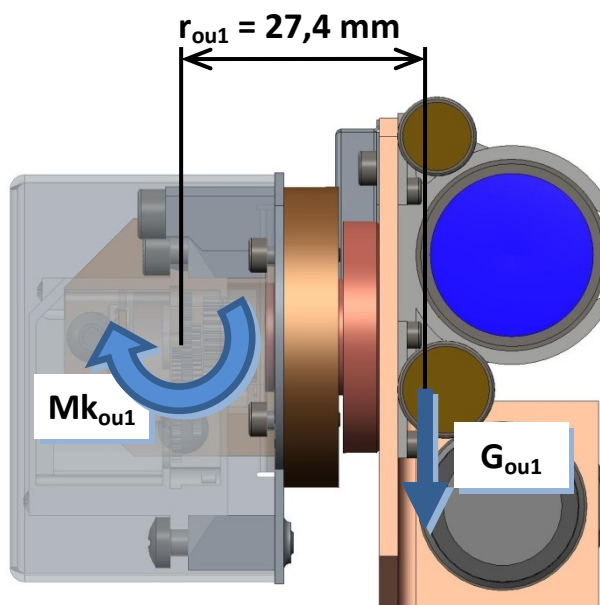
Potřebný kroutící moment $Mk_{ram} = G_{ram} \cdot r_{ram} = 4,13 \cdot 0,1604 = 0,663 \text{ Nm}$ [7.35]

Použité vodotěsné servo Savox SW1210 má

výstupní kroutící moment $Mk_{serv_ram} = 1,96 \text{ Nm}$ [21]

Z výpočtu vyplývá hodnota **předimenzování = 2,96**

Dimenzování pohonu orientačního ústrojí č.1



Obr. 7.5 - Dispozice pro výpočet pohonu orientačního ústrojí č.1

Celková hmotnost vytvářející moment na pohon $m_{ou1} = 0,279 \text{ kg}$
 Vzdálenost těžiště od osy rotace $r_{ou1} = 27,4 \text{ mm}$
 Tíhová síla ramene $G_{ou1} = m_{ou1} \cdot g = 0,279 \cdot 9,81 = 2,74 \text{ N}$ [7.36]

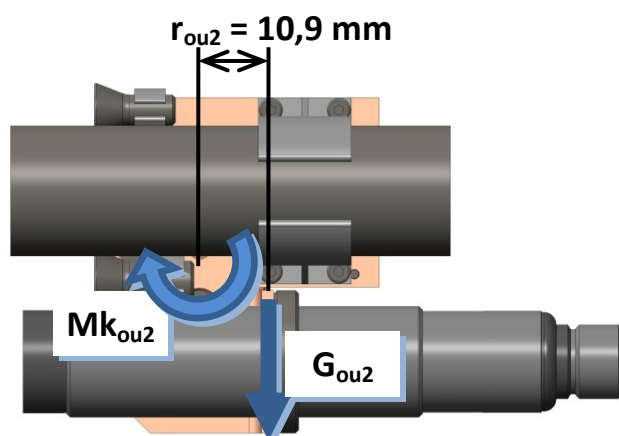
Potřebný kroutící moment $Mk_{ou1} = G_{ou1} \cdot r_{ou1} = 2,74 \cdot 0,027 = 0,075 \text{ Nm}$ [7.37]

Použité vodotěsné servo Turnigy 380MG má

výstupní kroutící moment $Mk_{serv_ou} = 0,41 \text{ Nm}$ [21]

Z výpočtu vyplývá hodnota **předimenzování = 5,5**

Dimenzování pohonu orientačního ústrojí č.2



Obr. 7.6 - Dispozice pro výpočet pohonu orientačního ústrojí č.2

Celková hmotnost vytvářející moment na pohon $m_{ou2} = 0,222 \text{ kg}$

Vzdálenost těžiště od osy rotace $r_{ou2} = 10,9 \text{ mm}$

Tíhová síla ramene $G_{ou2} = m_{ou2} \cdot g = 0,222 \cdot 9,81 = 2,19 \text{ N}$ [7.36]

Potřebný krouticí moment $Mk_{ou2} = G_{ou2} \cdot r_{ou2} = 2,19 \cdot 0,0109 = 0,024 \text{ Nm}$ [7.37]

Použité vodotěsné servo Turnigy 380MG má

výstupní krouticí moment $Mk_{serv_ou} = 0,41 \text{ Nm}$ [21]

Z výpočtu vyplývá hodnota **předimenzování = 17**

7.7 Záběr pásů ve vodě

Výpočet je proveden na základě obtékání šikmé desky, která zastupuje jak čelní plochu robotu (odpor), tak zuby na páslech (záběr). [38] Výpočet probíhal v programu Mathcad.

Záběr pásu

Úhel sklonu zubu na pásu $\alpha_p = 81,9^\circ$

Celkový odporový součinitel pásů (převzato z [38])

$$c_{np} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin(\alpha_p)}} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin(81,9)}} = 1,969 \quad [7.38]$$

Odporový součinitel v ose x $c_{xp} = c_{np} \cdot \sin(\alpha_p) = 1,969 \cdot \sin(81,9) = 1,949$ [7.39]

Celková plocha zubu v záběru $S_p = 2,747 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Počet zubů v záběru na obou pásech $n_p = 16$
Referenční otáčky motoru ve vodě $n_{\text{mot vod}} = 4000 \text{ ot/min}$
(odečteno z přílohy A při vypočteném zatížení)

Rychlost pohybu pásů $v_p = v_{\text{rob.sk}} \cdot \frac{n_{\text{mot.vod}}}{n_{\text{nom}}} = 2,729 \cdot \frac{4000}{3620} = 3,016 \text{ m/s}$ [7.40]

Odhadovaný skluz vlivem více zubů $\eta_p = 0,35$
(odhad poměru při použití jedné velké desky a nebo 16 malými plochami).

Dopředná síla od 2 pásů (převzato z [38])

$$F_{xp} = c_{xp} \cdot S_p \cdot n_p \cdot \frac{v_p^2}{2} \cdot \rho \cdot \eta_p = 1,949 \cdot 2,747 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \frac{3,016^2}{2} \cdot \rho \cdot \eta_p = 136,39 \text{ N}$$
 [7.41]

Normálová síla na dva pásy (kontrola pohonu)

$$F_{np} = c_{np} \cdot S_p \cdot n_p \cdot \frac{v_p^2}{2} \cdot \rho \cdot \eta_p = 1,969 \cdot 2,747 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \frac{3,016^2}{2} \cdot \rho \cdot \eta_p = 137,76 \text{ N}$$
 [7.42]

Kroutící moment na dva pohony $Mk_{\text{vod}} = F_{np} \cdot \frac{d_k}{2} = 137,76 \cdot \frac{0,144}{2} = 9,919 \text{ Nm}$ [7.43]

Kroutící moment na jeden motor $Mk_{\text{vod.mot}} = \frac{Mk_{\text{vod}}}{i_{\text{prev}} \cdot 2} = \frac{9,919}{10 \cdot 2} = 0,496 \text{ Nm}$ [7.44]

Čelní odpor přední desky

Úhel sklonu zubu na pásu $\alpha_p = 60^\circ$

Celkový odporový součinitel pásů (převzato z [38])

$$c_{nd} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin(\alpha_d)}} = \frac{1}{0,222 + \frac{0,283}{\sin(60)}} = 1,822$$
 [7.45]

Odporový součinitel v ose x $c_{xd} = c_{nd} \cdot \sin(\alpha_d) = 1,822 \cdot \sin(60) = 1,578$ [7.46]

Celková plocha zubu v záběru $S_p = 0,0942 \text{ m}^2$

Výsledná rychlost robotu ve vodě se vyjádří ze vztahu $F_{xd} = F_{xp}$ [7.47]

$$v_d = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{xd}}{c_{xd} \cdot S_d \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 136,385}{1,578 \cdot 0,0942 \cdot 1000}} = 1,355 \text{ m/s}$$
 [7.48]

Předpokládaná rychlost pohybu robotu ve vodě je 1,355 m / s což odpovídá 4,878 km / h.

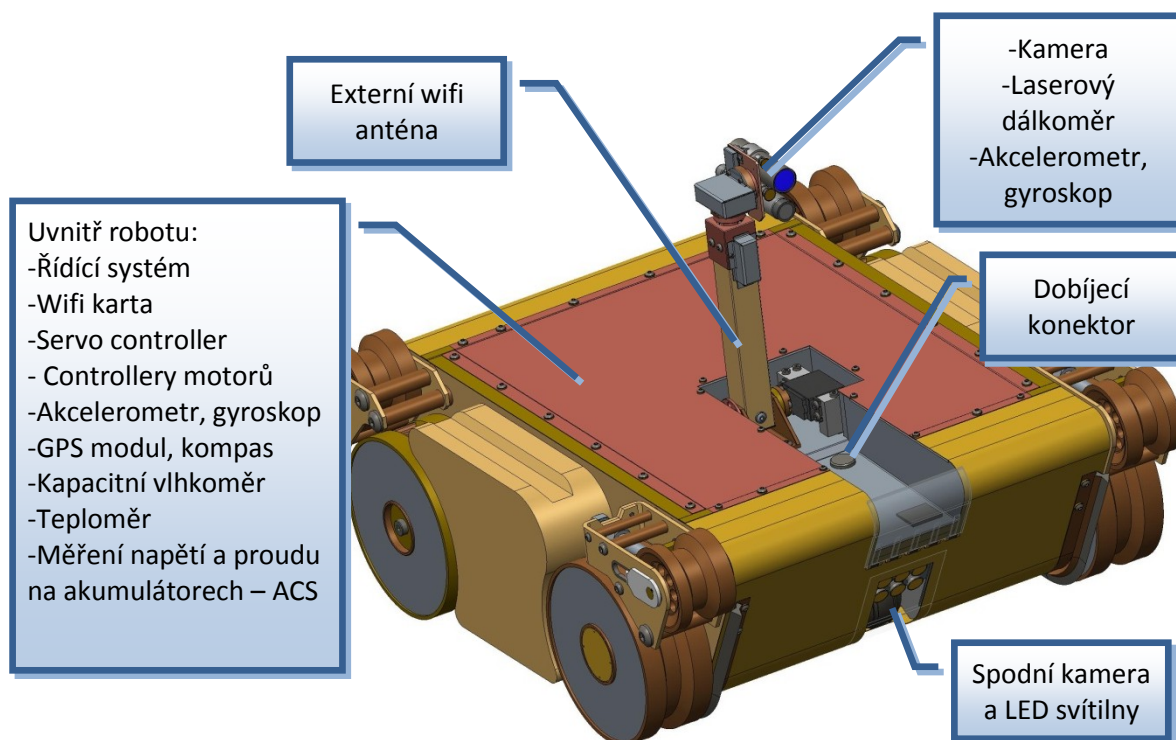
8 Návrh elektroniky, řízení a senzorky

Práce není přímo zaměřena na návrh elektronických komponent, přesto bude v této kapitole krátce pojednáváno o možném zvolení jednotlivých prvků, které by mohly posloužit jako základ pro kompletní vypracování elektrického zapojení robotu. Je důležité zmínit, že robot je řízen bezdrátově operátorem. Dále je v této kapitole proveden návrh operativní doby na jedno nabití akumulátorů.

8.1 Výpis zvolených komponent

Jako hlavní řídicí prvek robotu slouží **Arduino Mega 2560**, který v základu komunikuje přes USB nebo RS232, dále je dostupné dostatečné množství digitálních a analogových vstupů a výstupů, či I2C sběrnice. Tuto základní desku je možné rozšířit o široké spektrum přídatných modulů jako je například: video-vstupní m., ethernetový m., CAN sběrnici, atd. [31]

Bezdrátová komunikace s operátorem je zajištěna **Wifi modulem - LN96** s dosahem až 1500 m s externí anténou umístěnou na rameni robotu, tak aby nedocházelo ke stínění signálu krytováním robotu[32].



8.1 - Obecné umístění komponent na robotu

Řízení modelářských serv je zajištěno **PWM modulem - Adafruit 16-Channel 12-bit PWM/Servo Driver**. Tento servo driver má až 16 PWM výstupů, přičemž 3 jsou použity pro řízení modelářských serv a dalších 8 napájí LED svítilny. [33]

Řízení trakčních motorů je zajištěno originálními **contollery BGE 6050** komunikujících s Arduinem pomocí CAN sběrnice. Tyto řídicí jednotky umožňují master a slave zapojení, což znamená že jsou propojeny mezi sebou CAN sběrnici. Maximální výstupní proud z této jednotky je 50A. Tato jednotka umožňuje 4Q řízení, což znamená že je schopna řídit otáčky jedním směrem a kroutící moment druhým, čehož by se využilo pro kontrolované sjíždění prudkých svahů. [30]

Senzorický subsystém je zastoupen např. tříosým **akcelerometrem**, tříosým **gyroskopem** a **kompasem** v jedné součástce **Pololu MinIMU9 V2** [26], která je použita jednou v těle robotu pro získání referenčních hodnot a jednou na koncovém členu kamerového ramene (viz. podkapitoly 6.2.1 a 6.3.7). Dále je zde **teploměr** pro kontrolu vnitřní teploty, **GPS** modul a kapacitní **vlhkoměr**.

Kamerový subsystém tvoří **kamera Extreme Cam V2** určená pro extrémní sporty, což je podpořeno vodotěsným tělem a optickou stabilizací [24]. Při špatných světelných podmínkách je možné snímat obraz v night režimu. Při této kameře jsou umístěny 2 LED svítilny o výkonu 2 x 5 W a **laserový dálkoměr SICK VSE 18 L** s dosahem až 60 m, tělo tohoto snímače je vodotěsné s normou IP 67 [25]. Pro snímání obrazu pod vodou je zvolena **IP kamera ZoneWay NC625M** mající vlastní polohovací systém. [36] Výbava také zahrnuje 14 IR přisvětlovacích LED diod a integrovaný mikrofón. Dále je u této kamery umístěno 6 vysoce svítivých LED svítílen o celkovém výkonu 30W s možností manuálního nastavení směru.

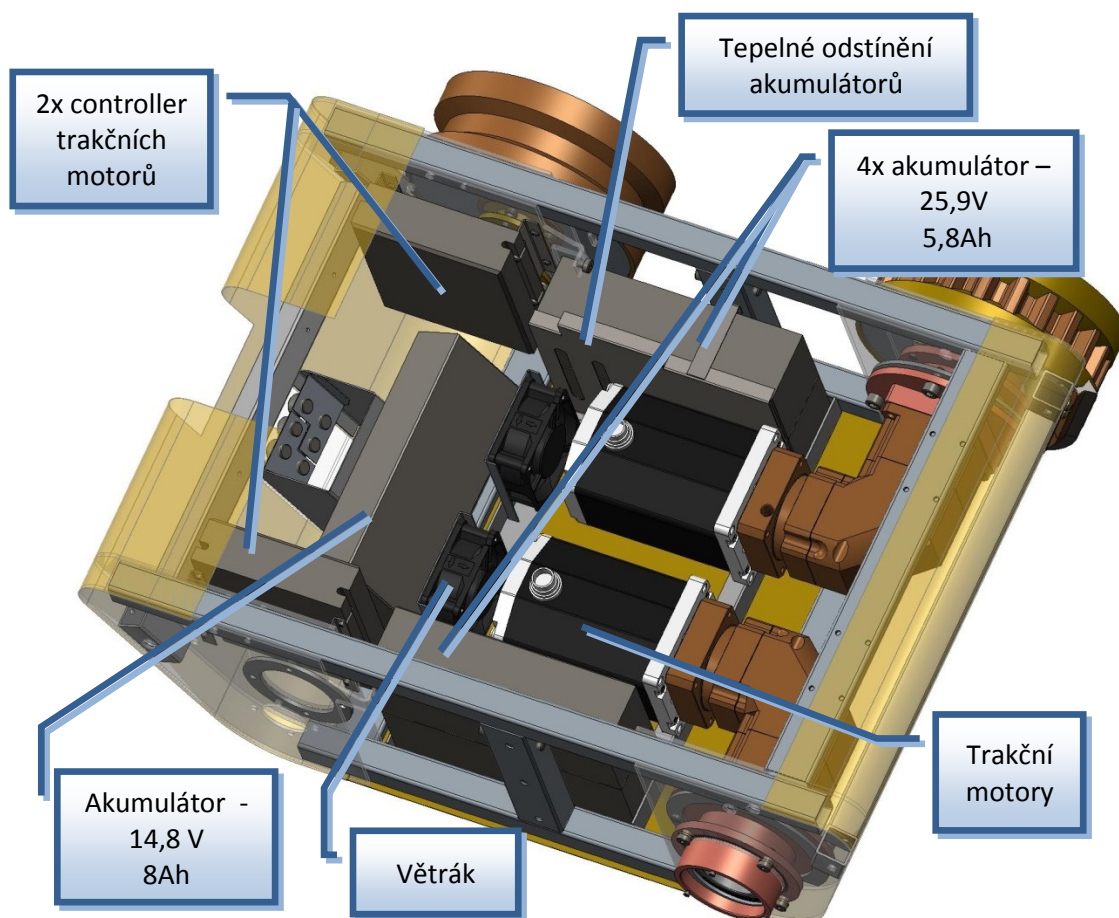
Potřebné napájení zajišťují dva napájecí okruhy z akumulátorů. Výkonový okruh napájející trakční motory je zajištěn čtyřmi **Li-Poly Zippy Compact akumulátory** s nominálním napětím 25,9V a kapacitou 5,8Ah. [34] Napájení Řídicího systému, senzorky a modelářských serv probíhá z jednoho akumulátoru **Li-Poly Zippy FightMax** s nominálním napětím 14,8V a kapacitou 8Ah. [35] U těchto akumulátorů je nutné hlídat minimální a maximální výstupní parametry což zajišťuje **ACS modul**. Potřebné napětí pro jednotlivé spotřebiče je snižováno pomocí **Step – down měniče**.

Dobíjení akumulátorů probíhá přes **dobíjecí konektor** umístěný na těle robotu. Konektor obsahuje také piny pro řídicí signál, což by se využilo při doprogramování řídicích jednotek.

8.2 Vnitřní uspořádání elektroniky

Do prostoru zatěsněného těla je nutné ukrýt veškerou elektroniku nutnou pro provoz servisního robotu. Z toho plyne nemožnost výměny tepla prouděním vzduchu do okolního prostředí. Veškerá výměna tepla je možná pouze na základě prostupu tepla stěnou. Proto jsou uvnitř robotu umístěny ventilátory, které zajistí cirkulaci vzduchu a tudíž i rovnoměrnou teplotu uvnitř robotu, viz podkapitola 7.3.

Prvkem s největší spotřebou energie jsou trakční motory Dunkermotoren BG 75x25 napájeny 24V[28]. Motory jsou napájeny ze čtyř akumulátorů Zippy s výstupním napětím 25,9V a kapacitě 5,8Ah každý. [34] (výpočet doby provozu je proveden v podkapitole. 8.3) Akumulátory bylo nutné z dispozičních důvodů umístit vedle motorů a proto jsou tepelně odstíněny plechem, který zároveň slouží jako mechanické zajištění proti pohybu. K řízení motorů jsou použity originální controllery BGE 6050[30]. Ostatní elektronika (řídící systém, sensorika a modelářská serva) je napájena z akumulátoru s výstupním napětím 14,8V a kapacitou 8Ah. [35]



Obr. 8.2 - Uspořádání vnitřní elektroniky

8.3 Výpočet operativní doby na jedno nabití akumulátorů

V této podkapitole je zpracována doba provozu řídicího a výkonového okruhu z akumulátorů na jedno nabití.

Řídicí okruh

Řídicí okruh je napájen z akumulátoru Zippy FightMax 14,8V 8000mAh. Akumulátor má kapacitu 118,4 Wh. [35]

U jednotlivých komponent je bráno v potaz jejich procentuální vytížení při průměrné operaci. Tuto skutečnost by nejvíce ovlivnilo svícení všemi osmi LED svítilnami po celou dobu operace.

Název komponenty	Napájecí napětí [V]	Proud [mA]	Procentuální vytížení [%]	Počet kusů	Celková spotřeba [W]
Controller BGE 6050	12	130	100	2	3,12
Kamera Extreme cam V2	12	100	100	1	1,2
Laserový dálkoměr SICK VSE 18 L	12	25	30	1	0,09
IP kamera ZoneWay	12	500	100	1	6
Servo Savox SW1210	6	5000	15	1	4,5
Solenoid T1632	12	450	3	1	0,162
Miniservo Turnigy 380 MG	6	3000	20	2	7,2
Akcelerometr Pololu MinINU 9 v2	3,4	10	100	2	0,068
Řídicí počítač Arduino Mega 2560	12	250	100	1	3
Wifi modul LN96	5	550	100	1	2,75
PWM modul Adafruit 16-Channel-	5	50	100	1	0,25
LED Xeon 5W	3,4	1500	25	8	10,2
GPS modul	5	80	100	1	0,4
Teploměr	5	30	100	1	0,15
ACS modul	5	15	100	3	0,225
Větráček 60mm	5	12	100	2	0,12
Celková spotřeba řídicího okruhu [W]					39.435

Tab. 8.1 - Kalkulace spotřeby řídicího okruhu

Na základě spotřeby komponent a kapacity akumulátoru vyšla průměrná **výdrž řídicího okruhu na 3 hodiny.**

Výkonový okruh

Výkonový okruh napájí pouze trakční motory napětím 24V ze čtyř akumulátorů Zippy Compact 25,9V 5800mAh. Akumulátory mají celkovou kapacitu 600,9 Wh. [34]

Spotřeba jednoho motoru při jízdě po rovině
(Odečteno z charakteristiky motoru viz. příloha A)

$$I_{rov} = 12A$$

Napájecí napětí motoru

$$U_{mot} = 24V$$

Celková kapacita 4 akumulátorů

$$C_{aku} = 600,9 \text{ Wh} \quad [8.1]$$

Výpočet operační doby obou motorů

$$t_{oper} = \frac{C_{aku}}{2 \cdot I_{rov} \cdot U_{mot}} = \frac{600,9}{2 \cdot 12 \cdot 24} = 1,0432 \text{ hod} \quad [8.2]$$

Celková kapacita akumulátorů vystačí pro motory při jízdě po rovině na 1hod a 3min.

Z výsledků je patrné že řídicí okruh je schopný napájet komponenty třikrát déle než vydrží akumulátory pro trakční motory při výkonu odpovídajícímu rozjezdu po rovině. Operativní doba byla v požadavcích stanovena na 2 hod. Tohoto je robot schopný dosáhnout při úloze, kdy by cca jednu hodinu prováděl pouze stacionární monitorování.

9 Ekonomické zhodnocení konstrukce

V této kapitole bude proveden cenový odhad výroby prototypu. Ceny nakupovaných dílů je možné snadno dohledat u prodejců, ovšem výrobní ceny dílů je nutné určit pouze dle zkušeností autora.

Následující tabulka zobrazuje podrobnou kalkulaci cen nakupovaných dílů.

Název komponenty	Cena / kus [Kč]	Počet kusů	Cena celkem [Kč]
Motor Dunkermotoren BG75x25	8500	2	17 000
Převodovka Apex ABR 60	5300	2	10 600
Controller BGE 6050	7500	2	15 000
Kamera Extreme cam V2	4119	1	4 119
Laserový dálkoměr SICK VSE 18 L	4849	1	4 849
IP kamera ZoneWay	2540	1	2 540
Servo Savox SW1210	1900	1	1 900
Solenoid T1632	1918	1	1 918
Miniservo Turnigy 380 MG	279	2	558
Akcelerometr Pololu MinINU 9 v2	599	2	1 198

Řídící počítač Arduino Mega 2560	1230	1	1 230
Wifi modul LN96	2 275	1	2 275
PWM modul Adafruit 16-Channel- Servo Driver	299	1	299
Akumulátor Zippy Compact 25,9V, 5800mAh	1 568	4	6 272
Akumulátor Zippy FightMax 14,8V, 8000mAh	1 290	1	1 290
LED Xeon 5W	350	8	2 800
GPS modul	1 030	1	1 030
Teploměr	200	1	200
ACS modul	280	3	840
Větráček 60mm	120	2	240
Kuličková ložiska	780	8	6 240
Radiální hřídelová těsnění	190	4	760
Kluzná pouzdra	75	266	19 950
Ostatní nakupované díly	-	-	3 500
Celková cena			106 608

Tab. 9.1 - Cenová kalkulace nakupovaných dílů

V následující tabulce jsou vyčísleny ceny vyráběných dílů.

Název komponenty	Cena celkem [Kč]
Rám robotu	20 000
Krytování	25 000
Pásky	20 000
Ostatní vyráběné díly	85 000
Cena montáže	40 000
Celková cena	190 000

Tab. 9.2 - Odhadovaná cena vyráběných dílů včetně práce

Výsledná cena nakupovaných dílů je stanovena na 106 608 Kč, přičemž některé komponenty nebyly vyčísleny přesně kvůli velkému počtu použitých typů.

Celková cena vyráběných dílů byla odhadnuta na 190 000 Kč. Částka zahrnuje nákup materiálu, výrobu dílů a kompletaci robotu.

Celková cena robotu je odhadnuta na 296 608 Kč.

10 Závěr

Zadání diplomové práce definovalo velice komplexní úlohu návrhu obojživelného průzkumného robotu, na základě něhož byly postupně řešeny dílčí problémy. V počátku řešení bylo velice užitečné zpracovat analýzu současného stavu již existujících obojživelných robotů. Z analýzy vyplynulo, že značná část servisních robotů schopných pohybu ve vodě, nemá současně vynikající terénní schopnosti. Na základě tohoto zjištění byl následně sestaven požadavkový list, kde figurují jak schopnosti ve vodě, tak na souši. Tento fakt dává předpoklad vzniku podvozku servisního robotu, vykazujícího obstojné terénní schopnosti zároveň s dobrými vlastnostmi pohybu po vodní hladině.

Dle požadavků byly vypracovány celkem čtyři varianty robotů s kolovým a pásovým podvozkem rozdílných koncepcí. Za pomoci kritériální analýzy sestavené na základě požadavkového listu, byla vybrána optimální varianta, která je detailně zpracována ve stěžejní části práce, jejíž součástí je právě 3D model pásového obojživelného robotu.

Navržený obojživelný průzkumný robot se vykazuje speciální konstrukcí pásového podvozku, k němuž se dospělo postupným vývojem původní varianty. Tímto rozvojem podvozku se docílilo unikátních terénních schopností, jako možnost převrácení a neomezený průjezdný profil, spolu se zajištěnou způsobilostí pro pohyb po vodní hladině. Vynikající monitorovací možnosti zabezpečuje samostatné rameno s kamerou a další senzorkou. Pro pohled pod hladinu je robot osazen další kamerou umístěnou ve spodní části podvozku. Vodotěsnost podvozku vyžaduje mimo jiné nadstandardní tuhost rámu, čehož je docíleno účelně svařovanou konstrukcí z hliníkových slitin. Na tu je následně vodotěsně přivařeno krytování, přičemž po montáži a zatěsnění nezbytných součástí je nutné vodotěsnost pečlivě zkontrolovat. Robot určený do náročného venkovního prostředí je nutné v případě velkého znečištění řádně očistit. Snahou je, aby tato činnost byla co možná nejsnazší. Podmínka sundání širokého pásu je tudíž vyřešena pouze povolením jednoho šroubu na napínacím mechanismu.

Výpočtová část práce dokládá funkčnost stěžejních prvků konstrukce. Návrh a následná kontrola pohonu ověřuje možnost použití robotu v těžkém terénu při dosažení požadované rychlosti 10 km/h. Pohon je vyhovující také pro záběr pásů ve vodě při rychlosti 4,9 km/h, což bylo zjištěno zjednodušeným výpočtem pro obtékání těles. S vysokým výkonem souvisí také vyzařované ztrátové teplo, které je nutné pro bezproblémový provoz směnit s okolím. U vodotěsného těla připadá v úvahu pouze prostup tepla stěnou, z čehož plyne nutnost

rovnoměrně rozptýlit vzduch uvnitř robotu pomocí větráčků. Tím bylo docíleno toho, že se uchladí až dvakrát větší ztrátový výkon, než je potřebný pro rozjezd robotu po rovině.

Součástí práce je nastínění potřebných elektronických komponent pro zajištění funkce řízení pohonů, senzorického subsystému či bezdrátové komunikace s operátorem. V této kapitole je také proveden výpočet operativní doby robotu na jedno nabití akumulátorů. Robot je schopný po dobu jedné hodiny podávat výkon odpovídající rozjezdu po rovině. Řídicí okruh je napájen samostatným akumulátorem s dostatečnou výdrží 3 hodiny.

V poslední kapitole je provedeno ekonomické zhodnocení konstrukce, přičemž v odhadu nákladů na vyráběné díly může být jistá odchylka od skutečných nákladů. Celková cena prototypu byla odhadnuta na 300 000 Kč.

Pro finální realizaci prototypu by bylo nutné dořešit především zapojení elektronických komponent včetně softwarového základu pro komunikaci s operátorem. Řešení s kluznými pouzdry by bylo dobré zkonzultovat s odborníkem, pro případné nalezení vhodnějšího řešení. Reálná výroba pásů by možná vyžadovala drobné zásahy do konstrukce. Přesnou rychlost podvozku ve vodě by bylo možné zjistit s největší pravděpodobností až s odzkoušením prototypu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB - TUO, 2004. 144 s. ISBN 80-248-06-6.
- [2] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vydání. Ostrava : VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [5] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.
- [6] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z [www: http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/)
- [7] Amphibious snake-like robot "ACM-R5". FUKUSHIMA LAB, Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering. *Fukushima Robotics Lab* [online]. 2005 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/hirose/robot/snake/acm-r5/acm-r5_e.html
- [8] The AQUA Project. MCGILL MOBILE ROBOTICS LAB. *The AQUA Underwater Robot* [online]. 2006 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://epitome.cim.mcgill.ca:8080/AQUA/project.htm>
- [9] Cu-Amphibot. ULRICH.C. *Ulrich.DE* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.ulrichc.de/project/cu-amphibot/>
- [10] Department of Advanced Robotics. CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Chiba Institute of Technology* [online]. 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.it-chiba.ac.jp/english/eng/robotics.html>
- [11] Hull Cleaning Robot for Large Ships. WTWH MEDIA. *Design world* [online]. 2010 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.designworldonline.com/hull-cleaning-robot-for-large-ships/>

- [12] Humdinga. GIBBS. *Gibbs amphibitrucks* [online]. 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://gibbsamphitrucks.com/humdinga>
- [13] Amphibious vehicle - 39 mph on water and 55 mph on land. *Gizmag* [online]. 2007 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/6906/>
- [14] ZBD 2000. MILITARY-TODAY.COM. *Military-today* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.military-today.com/tanks/zbd_2000_light_tank.htm
- [15] Disaster Relief by Water: DARPA Captive Air Amphibious Transporters. GADIZMO. *Gadizmo* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://gadizmo.com/disaster-relief-by-water-darpa-captive-air-amphibious-transporters.php>
- [16] Těsnící tmely Elring. ELRING AG. *Elring* [online]. 2010 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.elring.de/fileadmin/Dateiablage_DE/PDF_Produkte/Dichtmassen_CZ.pdf
- [17] Těsnění statická. TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS. *Trelleborg* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.tss.trelleborg.com/cz/cz/products_2/staticseals/static-seals.html
- [18] Těsnění rotačních pohybů. TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS. *Trelleborg* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.tss.trelleborg.com/cz/cz/products_2/rotarysealsshafeseals/rotary-seals-shaft-seals.html
- [19] Hliníkové profily a tyče. ALFUN A.S. *ALFUN* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/sortiment/hlinik/tyce-a-profil>
- [20] Iglidur® H370 tvar S, metrické rozměry. IGUS. *Igus* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.igus.cz/iPro/iPro_02_0020_0000_CZcs.htm?c=CZ&l=cs
- [21] Savox SW-1210SG Waterproof Digital Servo. SAVOX USA. *Savox* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.savoxusa.com/Savox_SW1210SG_Waterproof_Digital_Servo_p/savsw1210sg.htm
- [22] Válcový solenoid Série T1632. ING. JIŘÍ GROSS. *Transmotec* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz/valcove-solenoidy/serie-t1632.html>

- [23] Turnigy 380MG Micro Servo (Metal Gear). HOBBYKING.COM. *HobbyKing* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__51198__Turnigy_380MG_Micro_Servo_Metal_Gear_3_6kg_15sec_15_6g_AU_Warehouse_.html
- [24] The Extreme Cam V. 2.0. ADRENALINE SYSTEMS. *Adrenaline systems* [online]. 2009 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.adrenalinesystems.com/800076_Extreme_Helmet_Cam_580_INTEGRATED_MIKE.html
- [25] Photoelectric sensors: V18 Laser, Through-beam photoelectric sensor. SICK AG. *SICK AG* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=425&Category=Produktfinder&Selections=36401>
- [26] Pololu - MinIMU-9 v2 Gyro, Accelerometer, and Compass. POLOLU CORPORATION. *Pololu* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.pololu.com/product/1268>
- [27] Technologie svařování hliníku a jeho slitin. MIGATRONIC CZ A.S. *Automig* [online]. 2002 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://automig.cz/fileadmin/pub/doc/pdf/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD%20hlin%C3%ADku.pdf>
- [28] BG 75. DUNKERMOTOREN GMBH. *Dunkermotoren* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.dunkermotoren.com/data/technical_data/motors/pdf/121005_BG75.pdf#page=1
- [29] AB/ABR řada - APEX DYNAMICS CZECH. APEX DYNAMICS CZECH S.R.O. *APEX DYNAMICS CZECH* [online]. 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.apexdynaczech.cz/ab_abr.php#prettyPhoto
- [30] BGE 6050. DUNKERMOTOREN GMBH. *Dunkermotoren* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.dunkermotoren.com/data/technical_data/controllers/pdf/BGE6050.pdf#page=1
- [31] Arduino Mega 2560. ARDUINO. *Arduino* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

- [32] Modem Long Range 915MHz: LN96. THE LITTLE BIRD COMPANY PTY LTD. *Little bird electronics* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://littlebirdelectronics.com.au/products/modem-long-range-915mhz-ln96-includes-antenna-and-cable>
- [33] Adafruit 16-Channel 12-bit PWM/Servo Driver - I2C interface. ADAFRUIT INDUSTRIES. *Adafruit* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.adafruit.com/products/815>
- [34] ZIPPY Compact 5800mAh 7S 25C Lipo Pack. HOBBYKING. *HobbyKing* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__21384__ZIPPY_Compact_5800mAh_7S_25C_Lipo_Pack.html
- [35] ZIPPY Flightmax 8000mAh 4S1P 30C. HOBBYKING. *HobbyKing* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__38301__ZIPPY_Flightmax_8000mAh_4S1P_30C_EU_warehouse_.html
- [36] IP kamera ZONEWAY dome NC627M. PRODEJIPKAMER.CZ. *ProdejIPkamer* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.prodejipkamer.cz/ip-kamera-dome-zoneway-nc-625-M>
- [37] KADLEC, Zdeněk. *Termomechanika: návody do cvičení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 97 s. ISBN 80-707-8912-3.
- [38] JANALÍK, Jaroslav. *Obtékání a odpor těles*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1911-2.

Seznam příloh

Příloha A	Katalogový list motoru Dunkermotoren BG 75x25	
Příloha B	Katalogový list převodky Apex Dynamix ABR 60	
Příloha C	Výpočet těsného pera v programu Mitcalc	
Příloha D	Výkres sestavy	DP-01-00
Příloha E	Výkres podsestavy rámu	DP-02-00
Příloha F	Výkres uložení poháněného kola	DP-03-00
Příloha G	Výkres uložení nepoháněného kola	DP-04-00
Příloha H	Výkres monitorovacího ramene	DP-05-00
Příloha I	Diplomová práce na DVD	

BG 75, 220 - 530 W

Versions of BG 75 / Ausführungen BG 75	Page / Seite
Controllers / Regelelektroniken	
- motor without controller / Motor ohne Elektronik (BG75)	58
- integral 4Q speed controller / mit integrierter 4Q-Steuerungselektronik (BG75SI)	60
- with parametrization software inclusive / mit Parametriersoftware inklusive (BG75PI)	62
- with master functionality / mit Masterfunktionalität (BG75MI)	68
- with external 4Q servo controller / mit externem 4Q-Servoregler (BGE 3515/6010/6050)	72
With absolut encoder / Mit Absolutwertgeber	110
With gearbox / Als Getriebemotor	81
With brake / Als Bremsmotor	106

■ Standard / Standard ■ On request / auf Anfrage

- Highly dynamic 3-phase EC motor with 8-pole neodymium magnet
- Available with internal and external controllers (see following pages)
- Connection via 2 plugs (commutation and power stage)
- Direct mains connection on request
- With its completely closed housing made of anodized aluminium the motor can be supplied with a high protection class up to IP 65
- Square flange on output shaft side of the motor. Octagonal motor flange for combinations with gearboxes
- The compact design coupled with a favourable price-performance ratio make this motor suitable for numerous applications

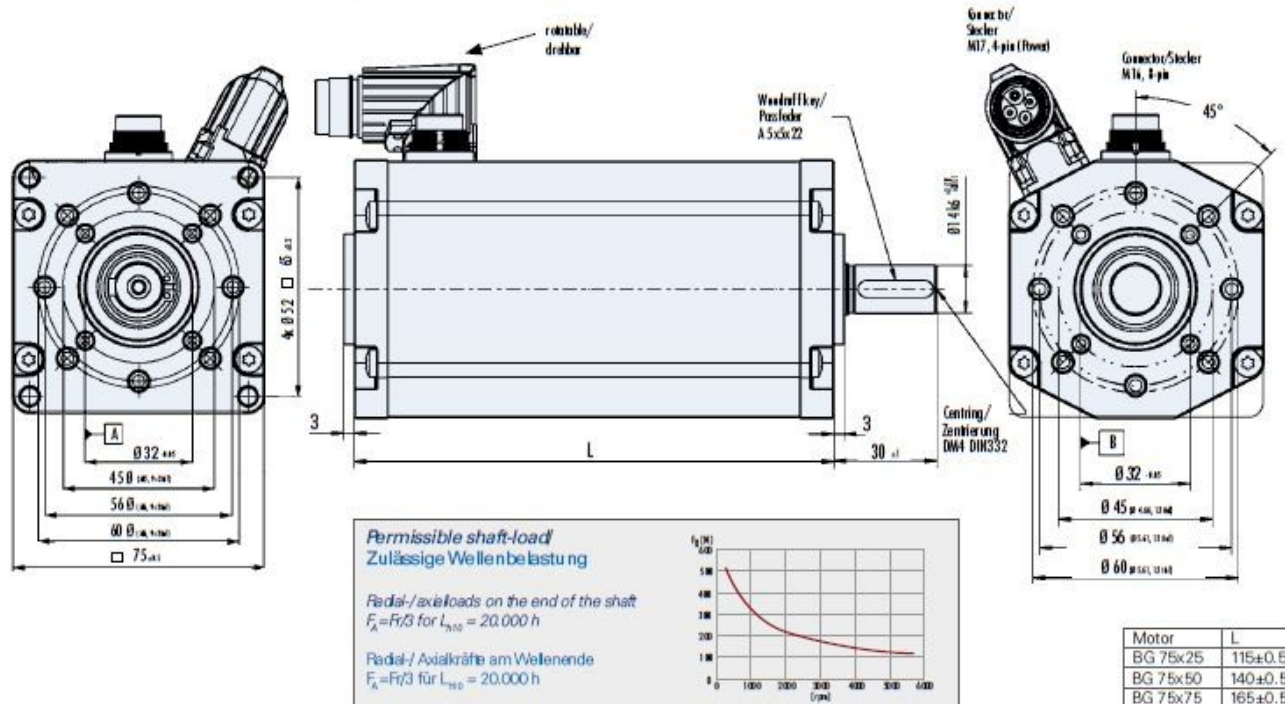
- Hochdynamischer 3-strängiger EC-Motor mit 8-poligem Neodymmagnet
- Mit integrierter oder externer Steuerungselektronik erhältlich (siehe Folgeseiten)
- Der Anschluss erfolgt über 2 Stecker (Kommutierung, Leistung)
- Direkter Netzanschluss auf Anfrage
- Durch sein komplett geschlossenes Gehäuse aus eloxiertem Aluminium kann der Motor mit hoher Schutzart bis IP 65 geliefert werden
- Motor wellenseitig mit quadratischen Flansch. Bei Motor-Getriebe-Kombinationen wird der Motor mit achteckigem Flansch geliefert
- Die hohe Leistungsdichte und die außergewöhnliche Wirtschaftlichkeit des Antriebs gestatten den Einsatz in zahlreichen Anwendungen



Data / Technische Daten		BG 75x25		BG 75x50		BG 75x75
Nominal voltage/ Nennspannung	VDC	24	40	24	40	40
Nominal current/ Nennstrom	A ^{*)}	13.1	7.4	21.2	12	15.6
Nominal torque/ Nennmoment	Ncm ^{*)}	66	64	110	110	150
Nominal speed/ Nenn Drehzahl	rpm ^{*)}	3620	3500	3700	3500	3370
Friction torque/ Reibungsmoment	Ncm ^{*)}	11	10	8	8	13
Peak stall torque/ Max. Anhaltenmoment	Ncm ^{**)}	250	250	500	500	630
No load speed/ Leerlaufdrehzahl	rpm ^{*)}	4950	4800	4660	4400	4100
Maximum output power/ Maximale Abgabeleistung	W ^{**)}	420	420	860	865	1150
Torque constant/ Drehmomentkonstante	Ncm A ^{-1***)}	6.4	11	5.2	11.7	11.9
Terminal Resistance/ Anschlußwiderstand	Ω	0.074	0.22	0.04	0.1	0.07
Terminal inductance/ Anschlußinduktivität	mH	0.4	1.2	0.25	0.63	0.45
Peak current/ Zulässiger Spitzenstrom (2 sec.)	A ^{*)}	65	37	98	55	63
Rotor inertia/ Rotor Trägheitsmoment	gcm ²	240	240	440	440	650
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	1.6	1.6	2.2	2.2	2.8

*) Δθ_w = 100 K; **) θ_n = 20°C ***) at nominal point / im Nennpunkt

Dimensions in mm / Maßzeichnung in mm

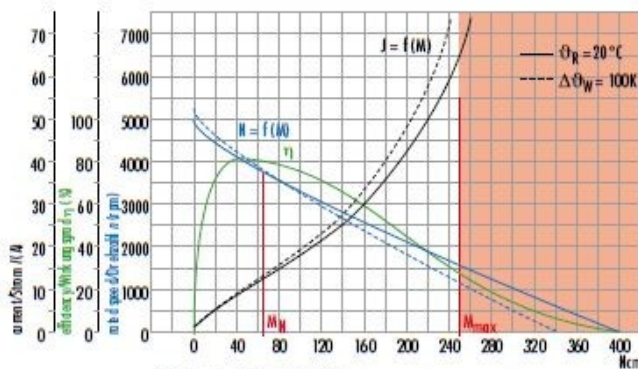


Pin assignment / Pinbelegung

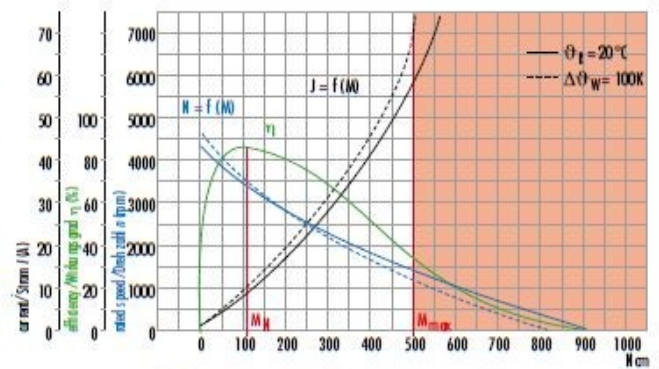
8-Pin				4-Pin	
Signal				Power / Signal	
1	n.c.	5	HS1	1	A (motor)
2	n.c.	6	HS2	2	B (motor)
3	n.c.	7	HS3	3	C (motor)
4	GND ₁₋₈	8	U ₁₋₈	4	Earth

Characteristic diagram / Belastungskennlinien

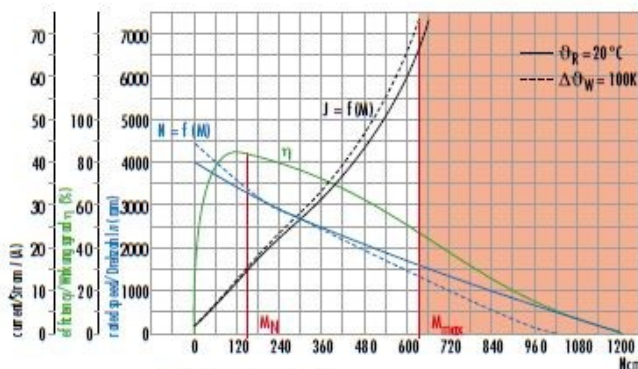
In accordance with EN 60034
 Belastungskennlinien gezeichnet nach EN 60034



BG 75x25, 24 V



BG 75x50, 40 V



BG 75x75, 40 V

ABR Series

Specifications

Gearbox Performance

Model No.	Stage	Ratio ¹	ABR042	ABR060	ABR090	ABR115	ABR142	ABR180	ABR220	
Nominal Output Torque T_{2N}	1	3	9	36	90	195	342	588	1,140	
		4	12	48	120	260	520	1,040	1,680	
		5	15	60	150	325	650	1,200	2,000	
		6	18	55	150	310	600	1,100	1,900	
		7	19	50	140	300	550	1,100	1,800	
		8	17	45	120	260	500	1,000	1,600	
		9	14	40	100	230	450	900	1,500	
		10	14	40	100	230	450	900	1,500	
		14	–	42	140	300	550	1,100	1,800	
		20	–	40	100	230	450	900	1,500	
	2	15	14	–	–	–	–	–	–	–
		20	14	–	–	–	–	–	–	–
		25	15	60	150	325	650	1,200	2,000	
		30	20	55	150	310	600	1,100	1,900	
		35	19	50	140	300	550	1,100	1,800	
		40	17	45	120	260	500	1,000	1,600	
		45	14	40	100	230	450	900	1,500	
		50	14	60	100	230	650	1,200	2,000	
		60	20	55	150	310	600	1,100	1,900	
		70	19	50	140	300	550	1,100	1,800	
80	17	45	120	260	500	1,000	1,600			
90	14	40	100	230	450	900	1,500			
100	14	40	100	230	450	900	1,500			
120	–	–	150	310	600	1,100	1,900			
140	–	–	140	300	550	1,100	1,800			
160	–	–	120	260	550	1,000	1,600			
180	–	–	100	230	450	900	1,500			
200	–	–	100	230	450	900	1,500			
Emergency Stop Torque T_{2NOT} ²	Nm	1,2	3~200	3 times of Nominal Output Torque						
Nominal Input Speed n_{IN}	rpm	1,2	3~200	5,000	5,000	4,000	4,000	3,000	3,000	2,000
Max. Input Speed n_{IB}	rpm	1,2	3~200	10,000	10,000	8,000	8,000	6,000	6,000	4,000
Micro Backlash $P0$	arcmin	1	3~20	–	–	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2
		2	25~200	–	–	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4
Reduced Backlash $P1$	arcmin	1	3~20	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4
		2	25~200	≤7	≤7	≤7	≤7	≤7	≤7	≤7
Standard Backlash $P2$	arcmin	1	3~20	≤6	≤6	≤6	≤6	≤6	≤6	≤6
		2	25~200	≤9	≤9	≤9	≤9	≤9	≤9	≤9
Torsional Rigidity	Nm/arcmin	1,2	3~200	3	7	14	25	50	145	225
Max. Radial Load F_{2RB} ³	N	1,2	3~200	780	1,530	3,250	6,700	9,400	14,500	50,000
Max. Axial Load F_{2a1B} ³	N	1,2	3~200	350	630	1,300	3,000	4,000	6,200	35,000
Max. Axial Load F_{2a2B} ³	N	1,2	3~200	390	765	1,625	3,350	4,700	7,250	25,000
Service Life	hr	1,2	3~200	20,000*						
Efficiency η	%	1	3~20	≥95%						
		2	25~200	≥92%						
Weight	kg	1	3~20	0,9	2,1	6,4	13	24,5	51	83
		2	25~200	1,2	1,5	7,8	14,2	27,5	54	95
Operating Temp	°C	1,2	3~200	-10°C~+90°C						
Lubrication		1,2	3~200	synthetic gear grease (NYOGEL 792D)						
Degree of Gearbox Protection		1,2	3~200	IP65						
Mounting Position		1,2	3~200	all directions						
Noise Level ($n_1=3000$ rpm)	dB	1,2	3~200	≤61	≤63	≤65	≤68	≤70	≤72	≤74

Gearbox Inertia

Model No.	Stage	Ratio ¹	ABR042	ABR060	ABR090	ABR115	ABR142	ABR180	ABR220
Mass Moments of Inertia J_1	1	3~10	0,09	0,35	2,25	6,84	23,4	68,9	135,4
		14	–	0,07	1,87	6,25	21,8	65,6	119,8
		20	–	0,07	1,87	6,25	21,8	65,6	119,8
	2	15	0,09	–	–	–	–	–	–
		20	0,09	–	–	–	–	–	–
		25~100	0,09	0,09	0,35	2,25	6,84	23,4	68,9
		120~200	–	–	0,31	1,87	6,25	21,8	65,6

Příloha C – Výpočet těsného pera v programu Mitcalc

1.0 Společné vstupní údaje

1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Přenášený výkon	P	1,07 [kW]
1.3	Otáčky hřídele	n	362,0 [/min]
1.4	Krouticí moment	T	28,33 [Nm]
1.5 Způsob zatížení, provozní parametry			
1.6	Charakter pohonu	Lehké rázy	
1.7	Typ zatížení	Silné rázy	
1.8	Charakter provozu	Plně obousměrný	
1.9	Počet rozběhů v tisících	10	
1.10	Požadovaná životnost spoje	6000	[h]
1.11 Provedení spoje, předběžný návrh průměru hřídele			
1.12	Provedení spoje	Pevný spoj	
1.13	Vnitřní průměr dutého hřídele	d_h	16,000 [mm]
1.14	Požadovaná bezpečnost	s_f	1,70
1.15	Minimální průměr hřídele	d_{min}	18,4 [mm]
1.16	Materiál hřídele (min. pevnost v tahu) [tvrdost]		
1.17	B...Uhlíková ocel zušlechťená (500) [HB 220-270]		
1.18	Mez pevnosti v tahu	R_{mmin}	500 [MPa]
1.19	Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]
1.20	Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	200 [MPa]
1.21	Materiál náboje (min. pevnost v tahu) [tvrdost]		
1.22	H...Hliníková slitina (250)		
1.23	Mez pevnosti v tahu	R_{mmin}	250 [MPa]
1.24	Dovolený tlak	p_D	90 [MPa]
1.25	Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	100 [MPa]
1.26	Provozní koeficienty		
1.27	Koeficient provedení spoje	K_d	1,0
1.28	Koeficient využití spoje	K_s	2,1
1.29	Koeficient životnosti	K_f	1,0
1.30	Koeficient opotřebení	K_w	1,0

A - Přesná pera

2.0 Parametry spoje, materiál pera, návrh rozměrů

2.1	Parametry spoje			2.6	Materiál pera (min. pevnost v tahu) [tvrdost]		
2.2	Typ pera	F ... CSN 022562		2.7	B...Uhlíková ocel zušlechťená (500) [HB 220-270]		
2.3	Počet per	1		2.8	Mez pevnosti v tahu	R_{mmin}	500 [MPa]
2.4	Koeficient rozložení zatížení	K_L	1,00	2.9	Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]
2.5	Celkový provozní koeficient	K_S	2,10	2.10	Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	200 [MPa]
2.11 Návrh rozměrů spoje							
2.12	Pera pro průměry	6 ~ 230	[mm]				
2.13	Min. průměr hřídele	d_{1min}	18,4 [mm]				
2.14	Průměr hřídele	d	32,000 32 [mm]				
2.15	Pero	10 x 8					
2.16	Šířka / výška pera	b / h	10 8 [mm]				
2.17	Zaoblení pera / sražení hran	R / s	5 0,7 [mm]				
2.18	Parametry drážky v hřídeli	t / d_1	4,7 27,3 [mm]				
2.19	Minimální funkční délka pera	L_{fmin}	18 [mm]				
2.20	Minimální délka pera	L_{min}	28 [mm]				
2.21	Dovolený rozsah délek pera		25 ~ 110 [mm]				
2.22	Zvolená délka pera	L	32,000 32 [mm]				

3.0 Pevnostní kontroly spoje

3.1 Kontrola hřídele na krut				3.5 Kontrola otláčení drážky hřídele			
3.2	Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	200 [MPa]	3.6	Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]
3.3	Srovnávací napětí	τ	16,9 [MPa]	3.7	Srovnávací tlak	p	54,7 [MPa]
3.4	Bezpečnost		11,85	3.8	Bezpečnost		2,38
3.9 Kontrola pera na otláčení				3.13 Kontrola otláčení drážky náboje			
3.10	Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]	3.14	Dovolený tlak	p_D	90 [MPa]
3.11	Srovnávací tlak	p	54,7 [MPa]	3.15	Srovnávací tlak	p	43,2 [MPa]
3.12	Bezpečnost		2,38	3.16	Bezpečnost		2,08