

**VŠB – Technická Univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robotiky**

# Kloub pro polohování kamery

## *Joint for Positioning Cameras*

Student:

Vít Fichna

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vít Fichna**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: Kloub pro polohování kamery  
Joint for Positioning Cameras  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Na základě dodaného obrázku kloubu pro polohování kamery navrhnete alternativní konstrukční řešení s vhodně volenými parametry, využívající aktuálně dostupné prvky.
2. Zpracujte rešerši dané problematiky.
3. Navržené řešení podložte kontrolními výpočty.
4. Zpracujte kompletní výkresovou dokumentaci alternativního řešení.
5. Práci dodejte též ve formátu MS WORD.

### Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Periferní zařízení RTP*. Skripta VŠB-TUO, Ostrava: 2006, 132 s. ISBN 80-248-1221-5.  
KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.  
SKARÚPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



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

### **Čestné prohlášení studenta**

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

V Ostravě ..... 16. 5. 2016



.....  
Vít Fichna

## *Prohlašuji, že*

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou 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 bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské 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 – bakalářskou 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: ..... 16. 5. 2016



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Vít Fichna

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na Kaménce 465/8, Píšť 747 18

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FICHNA, V. *Kloub pro polohování kamery : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2016, 48s. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem polohovacího kloubu kamery. V rešerši jsou porovnány dostupné polohovací klouby a možnost využití polohovacích kloubů. Poté jsou vypracovány tři varianty a následnou vícekriteriální analýzou, je vybrána vítězná. Ta je dále rozpracována do finální podoby, která je navržena pro zvolenou venkovní kameru. Celý mechanismus je zakrytován proti vniknutí vody. Hlavní konstrukční uzly jsou podloženy kontrolními výpočty a je vytvořena celková technická dokumentace.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FICHNA, V. *Joint for Positioning Cameras : bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2016, 48p. Thesis head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

This bachelor thesis is dealing with design of a joint for camera positioning. Comparison and applications of available positioning joints were reviewed in terms of the research. Three variants were elaborated and the most suitable version was chosen based on a value analysis. The chosen version was modified into a final design, which is designed for the chosen outdoor camera. The entire mechanism is sealed in order to avoid water ingress. The main design features are verified by calculations and complete technical documentation was elaborated as well.

**Klíčová slova:** kamera; pan; tilt; Pan&Tilt; polohování; monitorování

# Obsah

Seznam použitého značení .....	8
1 Úvod .....	11
2 Rešerše .....	12
2.1 Polohovací systémy se 2 stupni volnosti .....	12
2.1.1 Klasická Pan&Tilt koncepce .....	13
2.1.2 Milesight C3576 .....	14
2.1.3 MPT 1100-SS .....	14
2.1.4 SD-E4HDU .....	15
2.2 Příklady monitorovacích robotů .....	15
Robot RB-Sdr-92 .....	16
Pásový robot SuperDroid HD2-S .....	16
2.3 Robot ARES .....	17
3 Požadavkový list .....	17
4 Varianty řešení .....	18
4.1 Varianta I .....	18
4.2 Varianta II .....	19
4.3 Varianta III .....	20
5 Vícekriteriální analýza variant .....	21
5.1 Určení významnosti kritérii .....	21
5.2 Výpočty celkových indexů variant .....	22
5.3 Vítězná varianta .....	23
6 Konstrukční řešení vítězné varianty .....	24
6.1 Konstrukční řešení polohování .....	25
6.1.1 Horizontální osa .....	25
6.1.2 Vertikální osa .....	26
6.1.3 Úprava servomotoru HS-55 .....	26

6.1.4	Servomotor s pastorkem .....	28
6.2	Zakrytování kloubu .....	29
6.2.1	Dvoudílný kryt .....	29
6.2.2	Utěsnění rotačních ploch .....	30
7	Monitorování .....	31
7.1	Kamera Pentax Ricoh WG-M1 .....	31
7.2	Připojení na rameno .....	31
7.3	Rozsah natočení.....	32
7.4	Polohování kloubu.....	33
8	Kontrolní výpočty.....	34
8.1	Kontrola servomotorů .....	34
8.1.1	Kontrolní výpočet horizontální osy .....	36
8.1.2	Kontrolní výpočet vertikální osy .....	37
8.2	Kontrola ozubení.....	38
8.3	Kontrola ložisek .....	40
8.4	Kontrola na střih drátěné spony .....	41
8.5	Kontrola vertikálního hřídele .....	42
8.6	Kontrola podstavy kamery .....	43
9	Závěr.....	45
10	Použitá literatura.....	46
11	Seznam příloh.....	47
12	Seznam obrázků.....	47
13	Seznam tabulek.....	48

# Seznam použitého značení

Označení	Význam označení	Jednotka
$h_z$	Výška zubu	[mm]
$R_{e0,8}$	Mez kluzu drátu	[MPa]
$F_d$	Síla působící na drátěnou sponu	[N]
$F_k$	Síla působící od kamery	[N]
$F_s$	Síla na největším průměru pastorku	[N]
$F_v$	Síla působící od celého mechanismu	[N]
$I_{1z}$	Moment setrvačnosti k ose Z (horizontální)	[kg · m <sup>2</sup> ]
$I_{2z}$	Moment setrvačnosti k ose Z (vertikální)	[kg · m <sup>2</sup> ]
$M_H$	Potřebný krouticí moment horizontální osy	[N · m]
$M_O$	Krouticí moment na ozubeném kole	[N · m]
$M_S$	Krouticí moment servomotoru Hitec HS-55	[N · m]:
$M_{SZ}$	Krouticí moment servomotoru Hitec HS-55	[kg · cm]
$M_V$	Potřebný krouticí moment (vertikální)	[N · m]
$M_p$	Krouticí moment pro přepočít	[kg · cm]
$R_e$	Mez kluzu materiálu Hostaform	[MPa]
$R_{p0,2p}$	Mez kluzu materiálu EN AW 6061	[MPa]
$R_{p0,2v}$	Mez kluzu materiálu 1.4301	[MPa]
$W_o$	Modul průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$d_d$	Průměr drátu	[mm]
$d_e$	Průměr ozubení na hlavě	[m]
$d_v$	Rozteč děr	[m]
$i_d$	Počet drátěných spon	[–]
$i_p$	Převodový poměr	[–]



Označení	Význam označení	Jednotka
$k_1$	Koeficient pro mez kluzu v ohybu	[–]
$k_d$	Koeficient bezpečnosti u drátěné spony	[–]
$k_o$	Koeficient bezpečnosti kontroly na ohyb	[–]
$k_p$	Koeficient bezpečnosti podstavy	[–]
$k_v$	Koeficient bezpečnosti na vertikálním hřídeli	[–]
$l_1$	Maximální vzdálenost těžiště od osy Z (horizontální)	[m]
$l_2$	Maximální vzdálenost těžiště od osy Z (vertikální)	[m]
$m_H$	Hmotnost hybné části horizontální osy	[kg]
$m_k$	Hmotnost kamery	[kg]
$m_n$	Modul ozubení	[–]
$m_s$	Hmotnost sestavy	[kg]
$n_o$	Otáčky na ozubeném kole	$\left[\frac{ot.}{min}\right]$
$n_s$	Otáčky servomotoru	$\left[\frac{ot.}{min}\right]$
$n_{sz}$	Otáčky servomotoru	$\left[\frac{s}{60^\circ}\right]$
$s_o$	Šířka ozubení	[mm]
$s_z$	Šířka na patě zubu	[mm]
$t_s$	Doba zrychlení servomotoru	[s]
$x_1$	Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose x (horizontální)	[mm]
$x_2$	Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose x (vertikální)	[mm]
$y_1$	Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose y (horizontální)	[mm]
$y_2$	Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose y (vertikální)	[mm]
$z_p$	Počet zubů pastorku	[–]
$z_1$	Vzdálenost od podpory k těžišti v ose z (horizontální)	[mm]
$z_o$	Počet zubů ozubeného kola	[–]

<b>Označení</b>	<b>Význam označení</b>	<b>Jednotka</b>
$z_2$	Vzdálenost od podpory k těžišti v ose z (vertikální)	[ <i>mm</i> ]
$\varepsilon_o$	Úhlového zrychlení	$\left[\frac{rad}{s^2}\right]$
$\mu_D$	Účinnost dotyku ozubených kol	[–]
$\mu_L$	Účinnost ložisek	[–]
$\sigma_{do}$	Dovolená mez v ohybu	[ <i>MPa</i> ]
$\sigma_{dop}$	Dovolená mez kluzu v ohybu podstavy	[ <i>MPa</i> ]
$\sigma_{dovh}$	Dovolená mez kluzu v ohybu vertikálního hřídele	[ <i>MPa</i> ]
$\sigma_o$	Napětí na patě zubu	[ <i>MPa</i> ]
$\sigma_{op}$	Maximální napětí na podstavě	[ <i>MPa</i> ]
$\sigma_{ovh}$	Maximální napětí na vertikálním hřídeli	[ <i>MPa</i> ]
$\tau_{ds}$	Dovolené napětí ve stříhu	[ <i>MPa</i> ]
$\tau_s$	Napětí v drátěné sponě	[ <i>MPa</i> ]
$\omega_o$	Úhlová rychlost ozubeného kola	$\left[\frac{rad}{s}\right]$

# 1 Úvod

Člověk vnímá asi 80% všech informací zrakem, u robotů tomu není jinak. Kamerový systém je u mobilních robotů nedílnou součástí. Pokud robot provádí úlohu, která není přesně specifikována, jako třeba deaktivace výbušniny, je potřeba operátor. Operátor, tedy člověk, který řídí robot na určitou vzdálenost, je schopen se rozhodovat na základě zrakových vjemů, které jsou přenášeny skrze kamerový systém umístěný na platformě robotu či na rameni.

Monitorovací kamery jsou umístěny na veřejných prostranstvích, v obchodech nebo také v karosérii vozu. V prvních dvou případech se většinou jedná o kamery, které jsou opatřeny polohovacím kloubem. Tyto klouby v drtivé většině mají dva stupně volnosti. Typu kamer je na trhu nespočet, zatímco polohovacích kloubů (PK) není mnoho. Většinou se totiž kamera a PK prodává jako celek.

Při monitorování objektů, krajiny či pohybu slunce po obloze, není žádoucí, aby se kamera pohybovala trhaně, ale vyžaduje se plynulý pomalý pohyb. Trendem poslední doby jsou takzvané „slowmotion“ záběry, tedy velmi zpomalené. Při těchto záběrech lze zachovat vysokou rychlost otáčení, ale je nutno použít kamery k tomu určené, avšak nelze sledovat obraz v reálném čase.

Zadaný PK by měl být umístěn na již funkčním robotu Ares, zkonstruovaném na katedře robotiky. Pokud by byl Ares vybaven polohovacím ramenem se zadaným kloubem, měl by být schopen monitorovat určitou oblast či prostory a to i ve venkovním prostředí.

Krytí PK je další úskalí, které je nutno řešit. Bylo již zkonstruováno nespočet PK, ale většina nebyla opatřena krytím.

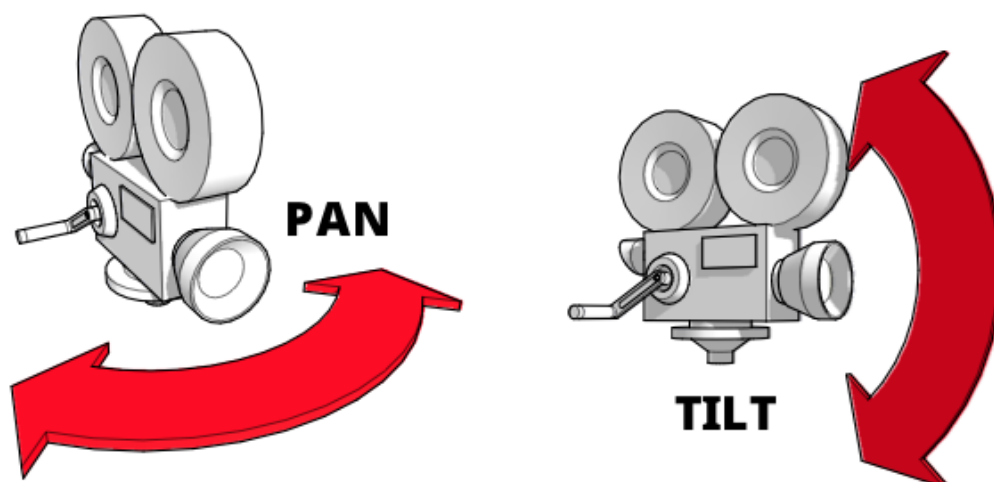
V této bakalářské práci bude uveden postup při návrhu PK v této návaznosti. Nejprve se zhodnotí dostupné PK, následně budou vymodelovány tři varianty, které mají svoje výhody a nevýhody. Nejvýhodnější varianta bude vymodelována do finální podoby, tato podoba bude detailně popsána a zkontrolována výpočty.

## 2 Rešerše

### 2.1 Polohovací systémy se 2 stupni volnosti

Polohovatelné systémy se dvěma stupni volnosti mají veliké zastoupení v oblasti kamerových systémů, tam není třeba využívat třetí stupeň volnosti, protože pouze v minimálním množství příkladů potřebujeme naklánět kameru a tím i obraz okolo osy rotace kamery. V současné době máme spoustu kamerových systémů, které využívají již zmiňované dva stupně volnosti a jsou pevně přichyceny konzolí k určitému místu. Nejvíce využíván je kamerový systém (CCTV – Closed Circuit Television [uzavřený televizní okruh]), který je užíván ke sledování prostor, následné zobrazení na monitoru a archivaci na hardware. Dnešní kamerové systémy jsou budovány s pomocí počítačových softwarů, umožňující sledovat podezřelou osobu, hlídat ponechaný předmět nebo třeba zjistit rozpoznat SPZ.[17]

Na trhu jsou běžně dostupné roboty s kamerovým systémem PTZ. Zkratka PTZ je odvozena z anglických slov Pan, Tilt a Zoom (Obr. 1). „Pan“ znamená pohyb okolo vertikální osy, „Tilt“ je pohyb okolo horizontální osy a „Zoom“ umožňuje přiblížení a oddálení sledovaného objektu. Jedná se tedy o kamery s ovládáním otočení, náklonu a přiblížení. Náklon a otočení zajišťuje polohovací kloub a přiblížení obstarává kamera a příslušnou funkci „zoom“.[17]



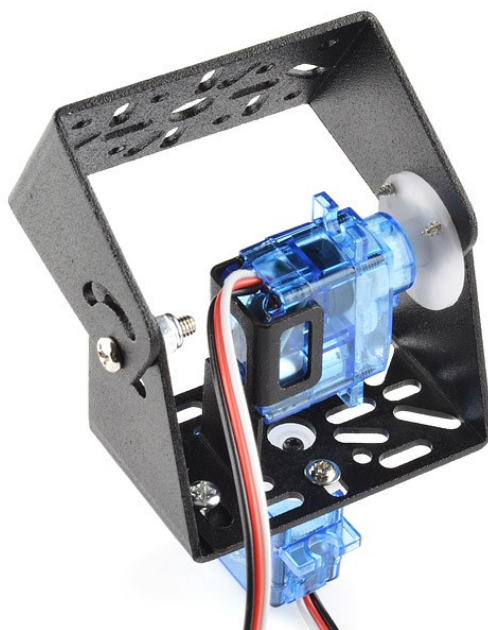
Obr. 1 - Znárodnění náklonu a otáčení[7]

Polohovací systémy, jejichž součástí je kamera, jsou určeny k monitorování nebo třeba natáčení videí. Na trhu je spousta typů systémů, kterými se dá polohovat ve dvou osách. Rozdíly polohovacích kloubů spočívají v konstrukci, nosnosti a rozsahu snímání. Dalším důležitým faktorem je zástavbový prostor. Jsou polohovací systémy, které unesou několik kilogramů a některé jsou zase určeny pro miniaturní kamery. Podle toho se liší velikost konstrukce. Koupit polohovací subsystémy můžeme s kamerou či bez kamery.

Pohyb systému lze ovládat na dálku ze speciálního ovládacího pultu. Systém Pan&Tilt klávesnice také umožňuje ukládat do paměti zvolené pozice. Na tyto pozice pak může být kamera rychle směřována a to nejen uživatelem, ale také například sepnutím nějaké alarmové události.[17]

## **Klasická Pan&Tilt koncepce**

Klasická koncepce (Obr. 2), která se hojně využívá pro servisní roboty, je velice jednoduchá. Použité jsou dva servomotory, zajišťující příslušné dva stupně volnosti. Spodní pohon je pevně uložen a na rotační přírubě je uchycena plechová konstrukce, držící další servomotor. Vrchní část je řešena obdobně jako ta spodní. Na konci příruby je prostor a drážky k tomu, aby mohla zde být přichycena kamera. Tato konstrukce může být použita ve venkovním prostředí jedině v případě, že servomotory jsou vodotěsné a plechová konstrukce je korozi vzdorná.[4]



*Obr. 2 - Klasická koncepce[4]*

## Milesight C3576

Tato profesionální kamera (Obr. 3) s polohovatelným kloubem má rozlišení 3MPx. Jedná se o klasickou koncepci, kterou je možno vidět v nákupních centrech. Kamera nemá přenos přes Wi-Fi, nicméně je možnost připojení přes kabel a tím kameru dálkově řídit a vidět tak obraz v reálném čase. Má taky slot na SD kartu do maximální paměti 64 Gb. Výhodou je přiložený software vyvinutý výrobcem. Rozsah snímání je 180 stupňů okolo vertikální a 60 stupňů okolo horizontální osy.[18]



Obr. 3 - MILESIGHT C3576[18]

## MPT 1100-SS

Tato 1,5 kg vážící konstrukce typu MPT 1100-SS (Obr. 4) unese zátěž až 3 kg. Pohon tvoří malé elektromotory (12V), na jejichž koncích je připevněn pastorek. Pastorek pohání několika násobně větší ozubená kola. Tím dojde ke zvětšení krouticího momentu, což je výhodou tohoto převodu. Zároveň je docílena pomalá rychlost otáčení, která je používána třeba pro monitorování krajiny. Tento typ není možné vystavit dešti. Kameru, umístěnou na koncové konzoli, si můžeme zvolit. Můžeme použít například zrcadlový fotoaparát nebo jakoukoliv kameru do 3 kg. Rozsah snímání je 360° v horizontální i vertikální ose. Jediným omezujícím elementem je kabeláž. Tato konstrukce se prodává za cca 15 600 Kč.[5]



Obr. 4 - MPT 1100-SS[5]

## SD-E4HDU

Jedná se o jednu z nejvyužívanějších koncepcí (Obr. 5) pro CCTV kamery. Ve spodní části je zajištěna rotace okolo vertikální osy a ve vrchní části okolo horizontální osy. Kamera může být přichycena ke zdi. Rozsah má 110° v horizontální a 250° ve vertikální ose. Maximální rychlost otáčení je 12° za sekundu a maximální rychlost v náklonu je 10° za sekundu. Polohovací systém má spoustu možností například panoramatický rozhled, kde se nastaví 2 krajní body a mezi těmi se kamera určitou rychlostí pohybuje. Součástí tohoto polohovacího systému je taky kamera. Tato kamera opět disponuje čtyřnásobným přiblížením, ochranou IP66 a prodává se za cca 15 600 Kč.[6]



Obr. 5 - SD -E4HDU[6]

## 2.2 Příklady monitorovacích robotů

S monitorovacími roboty jsou spojené kamerové systémy, umožňující osobě, která robota ovládá, vidět přenos v reálném čase a tím vyhodnocovat určitou situaci. Valná většina robotů, s monitorovacím zařízením, je určena k ovládání na dálku. Jedná se o pyrotechnické roboty určené k likvidaci výbušnin, nebezpečný průzkum objektu či přilehlého okolí, odběr nebezpečných vzorků nebo třeba průzkum špatně přístupných oblastí. Je důležité, aby kamery, které okolí snímaly, byly kvalitní, s vysokým rozlišením a případně vidění v noci.[3]

## Robot RB-Sdr-92

Je to robot (Obr. 6), který je nejvíce využívaný pro taktické vojenské účely. Je vybaven PTZ kamerou s dvěma stupni volnosti, která je uchycena na pantografickém zařízení a její podstava je tedy pořád ve vodorovné poloze. Kamera má 27x optický zoom. Může využívat i nahrávací zařízení, které má v sobě umístěno. Řízení je pomocí operátora přes Wi-Fi. Jeho výdrž je okolo 4 hodin a jeho maximální rychlost je 1.5 m/s. Při roztažení pantografu, je výška od země ke středu čočky 131 cm. Při stažení pantografu na minimální výšku, je to 55 cm. Hodí se skvěle pro prohlídky interiéru aut zvenčí.[19]



*Obr. 6 - RB-Sdr-92[19]*

## Pásový robot SuperDroid HD2-S

Robot (Obr. 7) je vybaven robotickou robustní rukou s pěti stupni volnosti. Toto rameno lze rychle namontovat či demontovat v případě nouze. Váha robota je 54 kg a jeho maximální rychlost 1.2 m/s. Jedna kamera je pevně přichycena na ramenu pro lepší manipulaci s ramenem a druhá je umístěna vedle ramene a je vybavena dvěma stupni volnosti a nočním viděním. Datový tok informací je realizován přes Wi-Fi a robot je tak řízen operátorem v reálném čase. Struktura je navržena tak, aby robot mohl otevřít dveře nebo průzkum oblastí, nebezpečný dohled a likvidaci nebezpečných zařízení.[19]

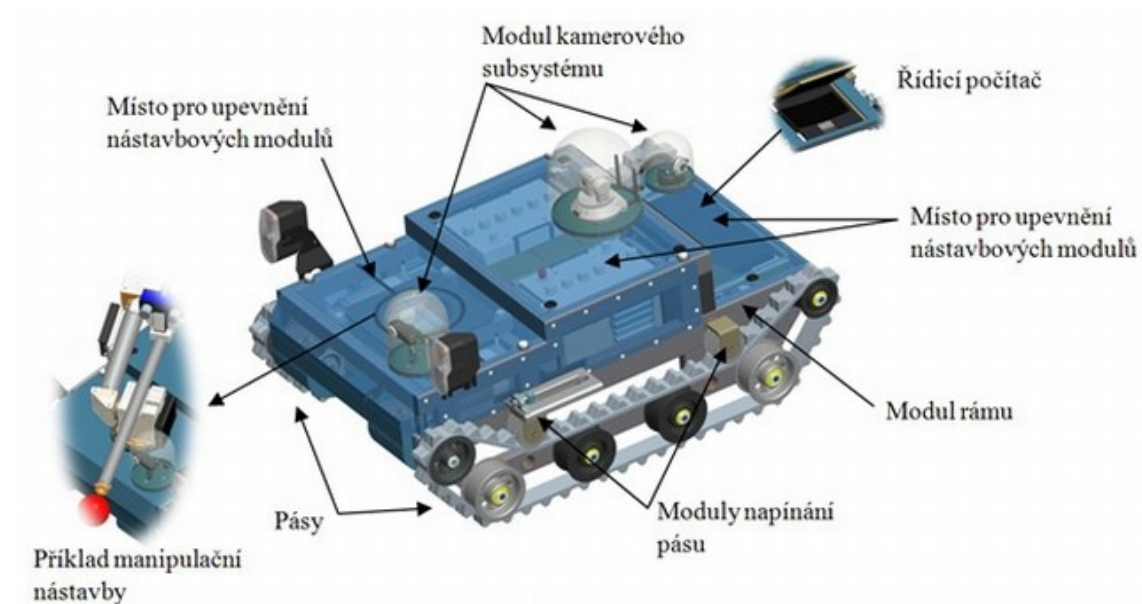


*Obr. 7- SuperDroid HD2-S[19]*



## 2.3 Robot ARES

Tento pásový modulární robot (Obr. 8) byl zkonstruován na katedře robotiky. Řízení je prováděno smykem. Tento robot nemá přesnou specifikaci použití, ta se odvíjí podle nástavby, kterou zajišťuje rameno. Rameno může být vybaveno efektozem pro odběr vzorků nebo třeba manipulaci. Rozsah použití má opravdu velký a to i díky tomu, že robot je určen pro venkovní prostředí. Ares má 2 DC motory, které zajišťují pohyb (600 W, 24 V) a senzorický systém zajišťuje kamera v přední části. [18]



Obr. 8 - Robot ARES[8]

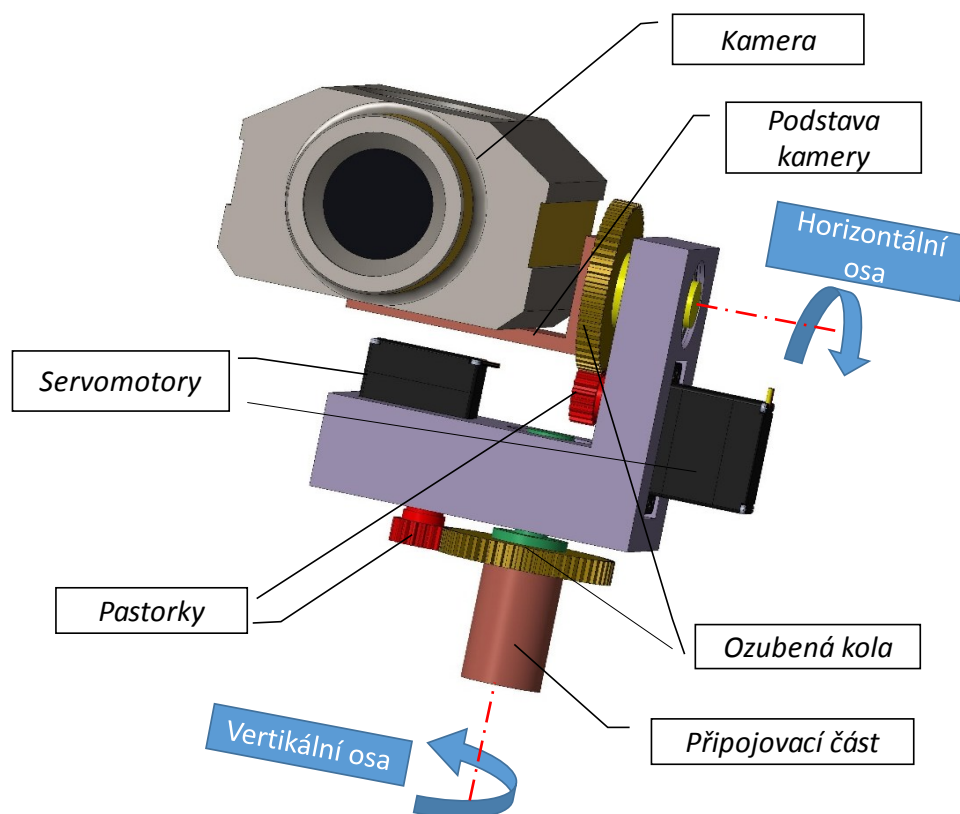
## 3 Požadavkový list

- Uložení na polohovatelném kloubu se dvěma stupni volnosti
- Rozsah snímání okolo horizontální osy-  $\pm 30^\circ$
- Rozsah snímání okolo vertikální osy-  $\pm 180^\circ$
- Rychlost otáčení okolo  $60^\circ/\text{s}$
- Možnost použití ve venkovním prostředí.
- Dálkové ovládání kamery a kloubu
- Minimalizace cen
- Dobré rozlišení kamery
- Použití běžně dostupných materiálů.

## 4 Varianty řešení

### 4.1 Varianta I

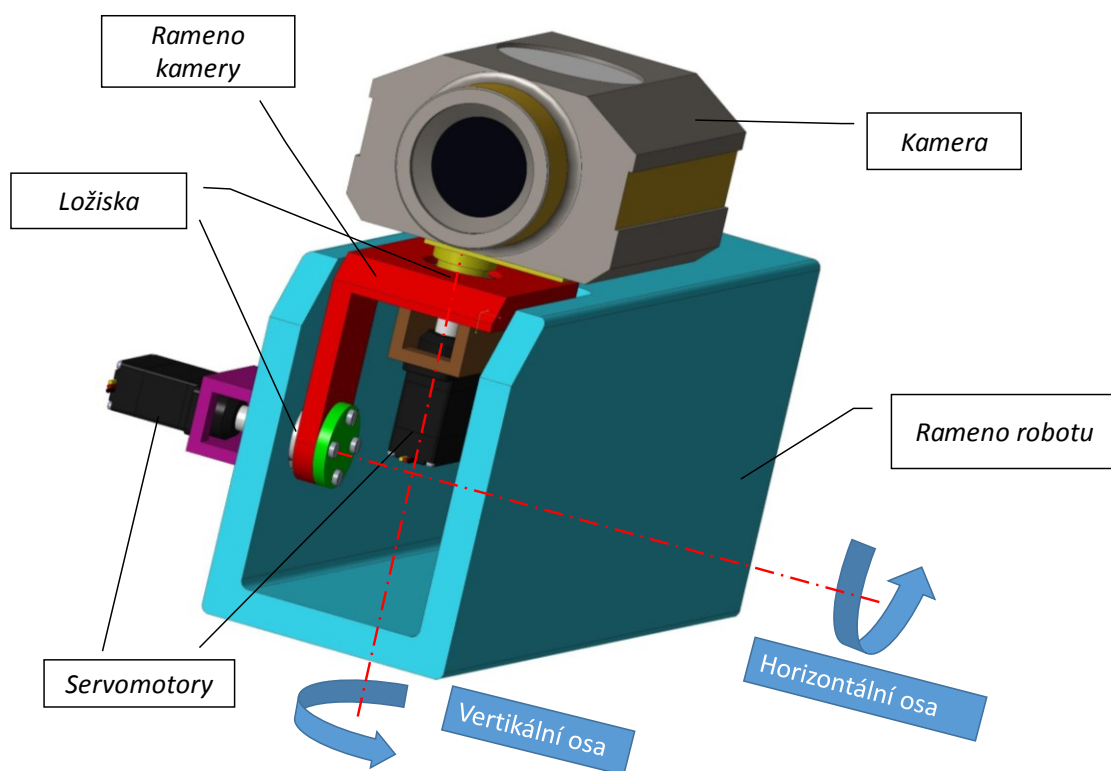
Konstrukční řešení této varianty (Obr. 9) je inspirováno modelem MPT 1100-SS (Obr. 4). Pohon tvoří servomotory, pevně uchycené k tělesu. Krouticí moment je zvětšený pomocí ozubeného převodu, který je tvořen dvěma ozubenými koly (na obou osách). První stupeň volnosti ve vertikální (spodní) ose je tvořen pevným ozubeným kolem a pastorkem, obíhajícím okolo ozubeného kola. Druhý stupeň volnosti tvoří horizontální (vrchní) osa a ta je tvořena pastorkem, který zabírá do ozubeného kola u kamery. Ozubené kolo je pevně spojeno s podstavou kamery a tím dochází k naklání kamery. Výhoda této varianty je malá rychlost naklápění a snadné připojení k ramenu. Nevýhoda je složitější konstrukce a montáž.



Obr. 9- Varianta I

## 4.2 Varianta II

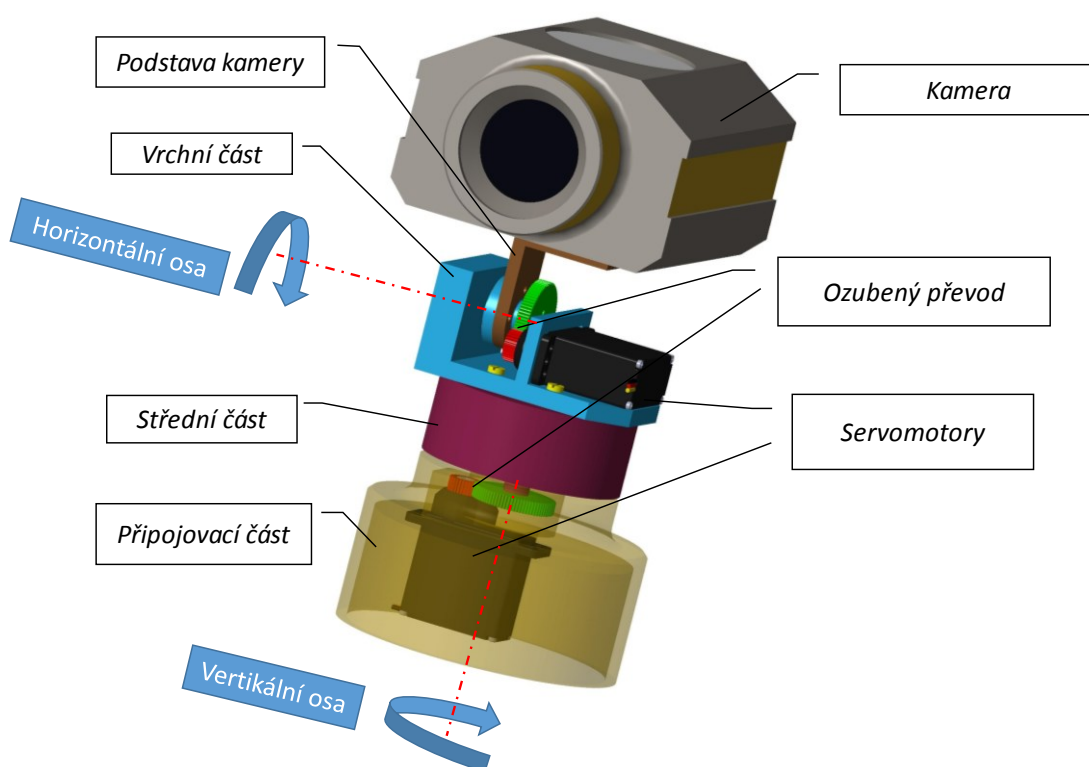
Tato varianta (Obr. 10) je inspirována těmi nejjednoduššími polohovacími klouby. Montáž k ramenu je provedena přes ložisko, proto do ramena musí být vyfrézován otvor, s odpovídajícím uložením. Jsou použité dvě ložiska s kosoúhlým stykem (pro každou osu jedno). První servomotor je přimontován pevně k ramenu a naklápí kameru a připojené části mechanismu. Druhý servomotor je umístěn pevně pod kamerou a otáčí s ní. Podstava, na které je umístěna kamera, nemusí mít tak dlouhé rameno, aby nezvětšovalo zbytečně klopný moment. Výhodou tohoto řešení je jednoduchá konstrukce a krytování. Nevýhodami je složitá montáž k ramenu robotu a tím, že žádný pohyb není z převodován, není zaručeno, že pohyb bude při malé rychlosti plynulý.



Obr. 10- Varianta II

## 4.3 Varianta III

V této variantě (Obr. 11) jsou opět použity dva servomotory. Pastorek je umístěn na tisícíhranu servomotoru, který je pevně připojen k příslušnému tělesu. Moment je tedy znásoben o příslušný převodový poměr. Připojovací část varianty je variabilní. Na vnitřním průměru je vyřezán závit a tím může být vyroben protikus, který by byl přimontován na příslušné rameno (momentálně není vyrobeno). Ve střední části je uloženo ložisko s kosoúhlým stykem, skrze které je připojeno ozubené kolo pro vertikální část. Při otáčení okolo vertikální osy je statická pouze připojovací část, vrchní a střední část se otáčí. Horizontální část je řešena obdobně jako vertikální. Výhodou tohoto řešení je velký rozsah snímání (360 stupňů okolo vertikální a 180 stupňů okolo horizontální) a taky zakrytování spodního servomotoru už ze základní konstrukce. Nevýhodou je poněkud složitější připojovací část, montáž a vedení kabeláže horizontální servomotoru.



Obr. 11- Varianta III

# 5 Vícekriteriální analýza variant

## 5.1 Určení významnosti kritérii

Pro vybrání nejvhodnější varianty byla použita vícekriteriální analýza. Jako první byly zvoleny kritéria. Poté bylo metodou porovnání páru zjištěno, která varianta je nejdůležitější a dle rozsahu počtu voleb a zvoleném rozsahu významnosti, byla z grafu, který byl vytvořen v programu Excel (Graf 1), vyčtena rovnice [5.1], jež určuje hodnotu významnosti.

$$y = 0,5 \cdot x + 0,5 \text{ [5.1]}$$

Zkratka	Název kritéria
K1	Hmotnost
K2	Rychlost otáčení
K3	Složitost výroby
K4	Složitost montáže

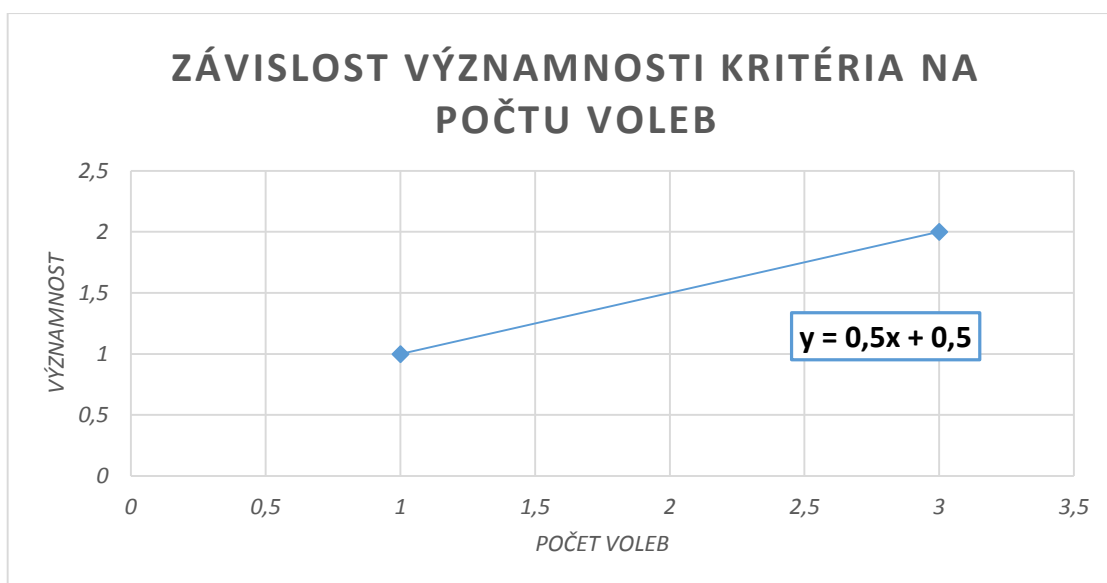
Tabulka 1 – Zvolené kritéria

Hodnoty kritérii	
Vysoká	5
Dobrá	4
Průměrná	3
Nízká	2
Nevyhovující	1

Tabulka 2 – Bodovací stupnice

Porovnání variant			Součet voleb (x)	Pořadí	Váha významnosti (y)
K1	K1	K1	1	3. - 4.	1
K2	K3	K4			
	K2	K2	3	1.	2
	K3	K4			
		K3	1,5	2.	1,25
		K4	1	3. - 4.	1

Tabulka 3 - Porovnání metodou párů



Graf 1 – Závislost významnosti kritéria na počtu voleb

Pořadí	Kritérium	Váha
1.	K2 (rychlost otáčení)	2
2.	K3 (Složitost výroby)	1,25
3. - 4.	K1 (hmotnost)	1
3. - 4.	K4 (Složitost montáže)	1

Tabulka 4 - Konečné pořadí kritérii

## 5.2 Výpočty celkových indexů variant

Všechny hodnoty byly posouzeny na základě subjektivního názoru, mimo hmotnosti, ta byla odečtena z programu CREO3.0.

Varianta 1	Hodnota	Váha	Vážený index
K1	3	1	3
K2	5	2	10
K3	3	1,25	3,75
K4	3	1	3
Celkový součet vážených indexů:			19,75

Tabulka 5 - Hodnoty varianty I

Varianta 2	Hodnota	Váha	Vážený index
K1	4	1	4
K2	2	2	4
K3	4	1,25	5
K4	2	1	2
Celkový součet vážených indexů:			15

Tabulka 6 - Hodnoty varianty II

Varianta 3	Hodnota	Váha	Vážený index
K1	2	1	2
K2	4	2	8
K3	2	1,25	2,5
K4	3	1	3
Celkový součet vážených indexů:			15,5

Tabulka 7 - Hodnoty varianty III

## 5.3 Vítězná varianta

Vítěznou variantu vybíráme podle největšího součtu vážených indexů varianty.

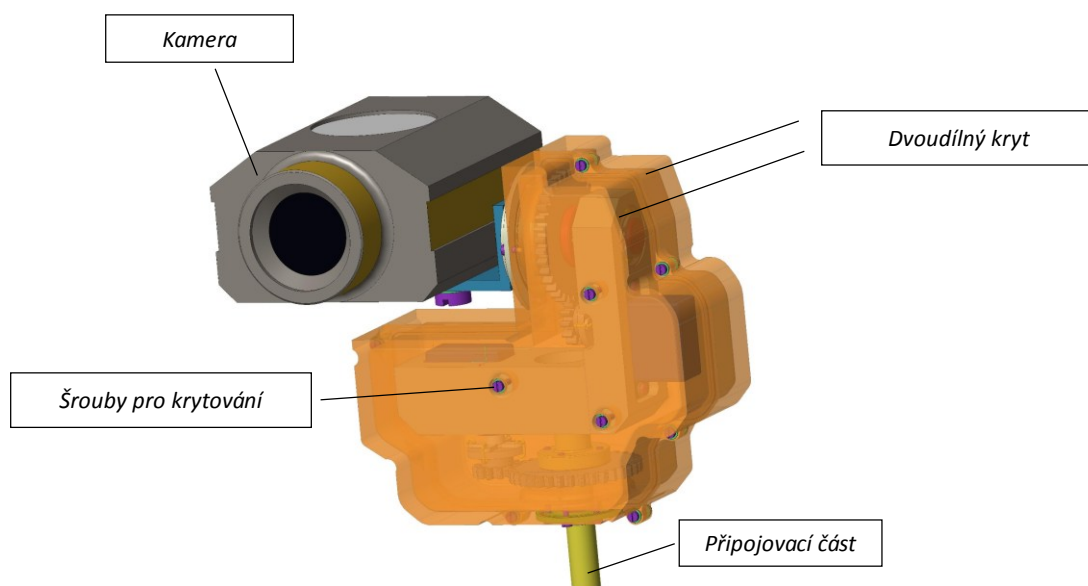
Varianta	Celkový součet vážených indexů
1	19,75
2	15
3	15,5

Tabulka 8 - Pořadí variant

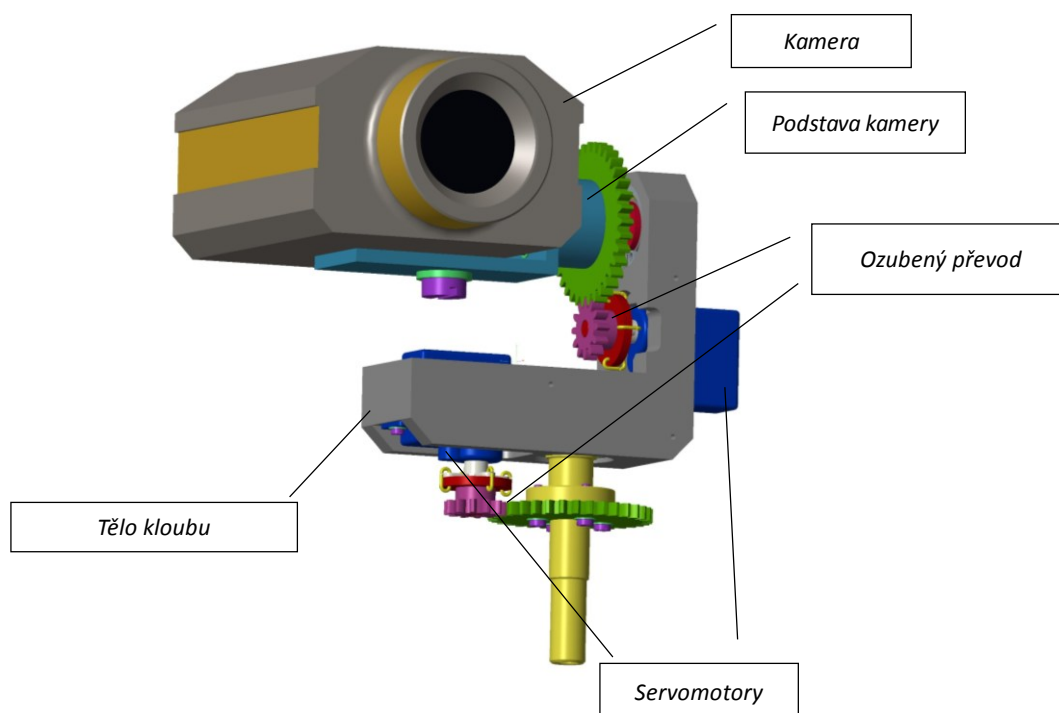
Z tabulky (8) vyčteme, že vítězná je Varianta I.

## 6 Konstrukční řešení vítězná varianty

Vítězná varianta (obr. 12 a 13) má převodový mechanismus s ozubenými koly a disponuje požadovanými dvěma stupni volnosti.



Obr. 12 - Zakrytovaná vítězná varianta



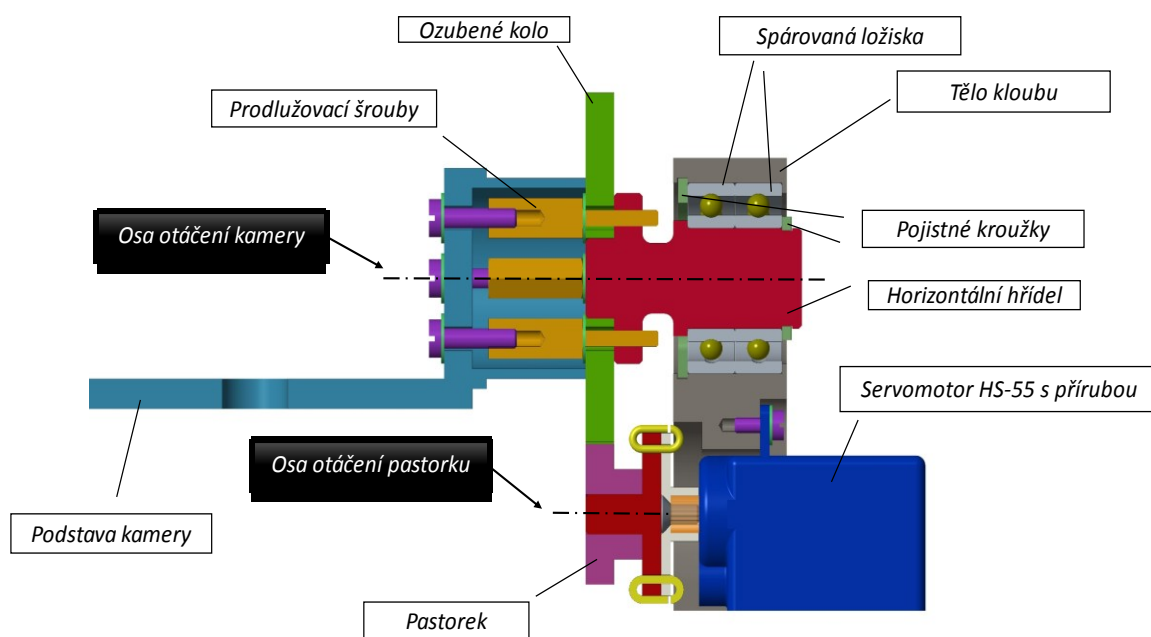
Obr. 13- Vítězná varianta bez krytování



# 6.1 Konstrukční řešení polohování

## 6.1.1 Horizontální osa

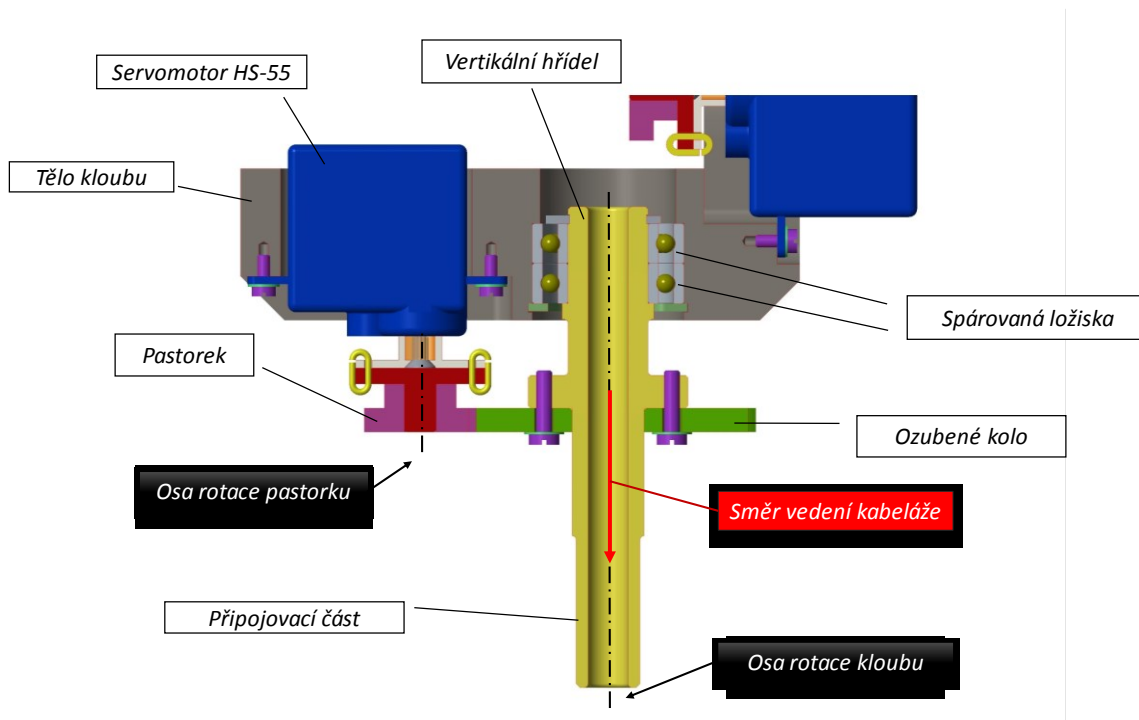
Konstrukční řešení spočívá v přenesení a zvětšení krouticího momentu z pastorku na ozubené kolo, ke kterému je připevněna podstava kamery. Ozubené kolo je standardní s modulem 1. Materiál je plast, konkrétně Hostaform © (POM). Ozubené kolo i pastorek je dodán firmou T.E.A. Technik, však musí být upraveny do požadovaných rozměrů. Kuličková ložiska jsou od firmy SKF, typ 61800. Pro korekci rozteče můžeme využít prostor, který se nachází v přípevňovací části, mezi šroubem dírou. Změna polohy nebude na těchto šroubech výrazná, ale bude postačující.



Obr. 14- Řez horizontální osou bez krytování

## 6.1.2 Vertikální osa

Vertikální osa je rovněž řešena přes ozubený převod, a to ve stejném převodovém poměru. Pastorek i velké ozubené kolo jsou stejné jako v horizontální části. Na připojovací části je vyřezán vnější závit M8, který se prostrčí otvorem, v místě kde má být kamera umístěna. Z obou stran se nasunou matice a dotáhnou se, tím je možné částečně změnit výšku ustavení ústrojí. Skrze hřídel je provrtán otvor, kterým se povede kabeláž od servomotorů. Na obou koncích jsou hrany zaobleny, aby se kabely nepoškodily. Hřídel je statická a pastorek tedy rotuje okolo ozubeného kola. Tím, že se otáčí pastorek okolo hřídele, se otáčí i celé tělo kloubu, na kterém je umístěna kamera.



Obr. 15 - Řez vertikální osou bez krytování

## 6.1.3 Úprava servomotoru HS-55

V obou osách jsou použity klasické modelářské servomotory Hitec HS-55 (Obr. 16). Z důvodu nedostatečného natočení servomotoru, musíme provést modifikaci, která umožní rotaci výstupní hřídele serva. Na horizontální ose by úprava nebyla nutná, avšak z důvodu stejného řízení servomotoru je provedena. Úprava servomotoru není složitá, nicméně vyžaduje určitou manuální zručnost. Po úpravě se bude servo řídit opět šířkou impulsu, ale ta nám bude udávat směr a rychlost otáčení, namísto úhlu natočení.

## Parametry HS-55 [19]

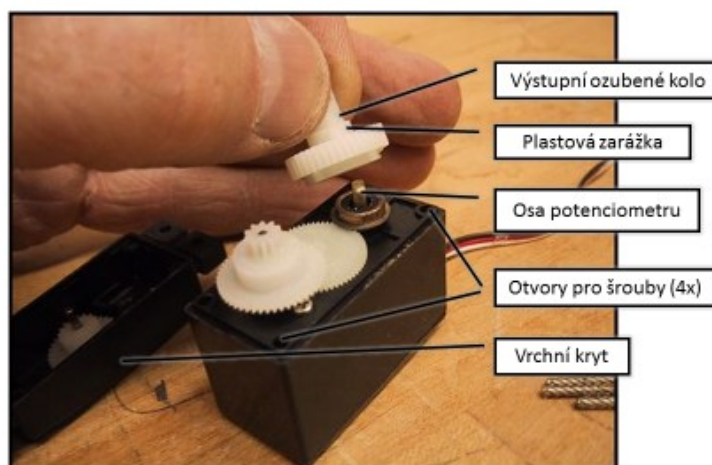
- Rozměry: 22,8 x 11,6 x 24 [mm]
- Hmotnost: 8 [g]
- Tah při 6 [V]: 1,3 [kg/cm]
- Rychlost při 6 [V]: 0,14 [s/60st.]
- Rozsah natočení: 180 [°]



Obr. 16 - HS-55[19]

## Návod na úpravu serva

- 1.Krok* Odmontujeme „vrtulku“ serva.
- 2.Krok* Vyšroubujeme čtyři šroubky, ze spodní strany.
- 3.Krok* Odstraníme vrchní kryt (spatříme převody s ozubenými koly).
- 4.Krok* Sejmeme výstupní ozubené kolo převodovky (Obr. 17).
- 5.Krok* Na spodní straně ozubeného kola je umístěn vnější kroužek kluzného ložiska, ten vyjmeme (Obr. 18).
- 6.Krok* Vyjmeme plastový unášec potenciometru. V některých případech nemusí být odnímatelný. V těchto případech jsou na vnitřním průměru plastové výběžky, jež musíme odstranit (vrtákem, nožem). Tímto krokem bylo docíleno, že hlavní osa není mechanicky spojena s potenciometrem.

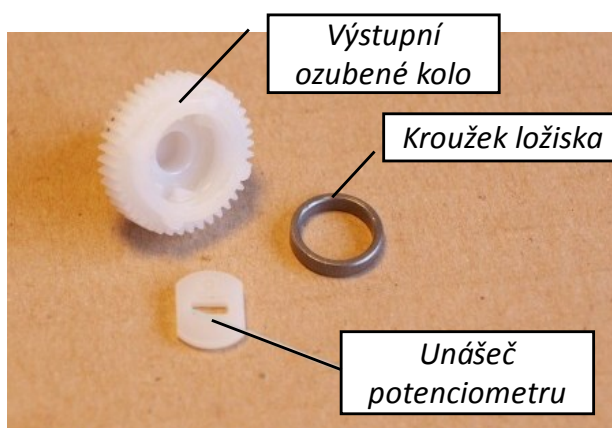


Obr. 17 - Částečně rozebrané servo[10]

- 7.Krok* Ze stejného plastového kola odstraníme zarážku, která slouží jako mechanický doraz.

8.Krok V této chvíli musíme servo připojit na příslušnou řídicí jednotku a nastavit impuls tak, aby nám hřídel dávala střed. Poté osu potenciometru doladíme tak, aby se nám motor zastavil. Jelikož je klidová závislá na napětí, musíme zařídit, aby bylo stabilní.

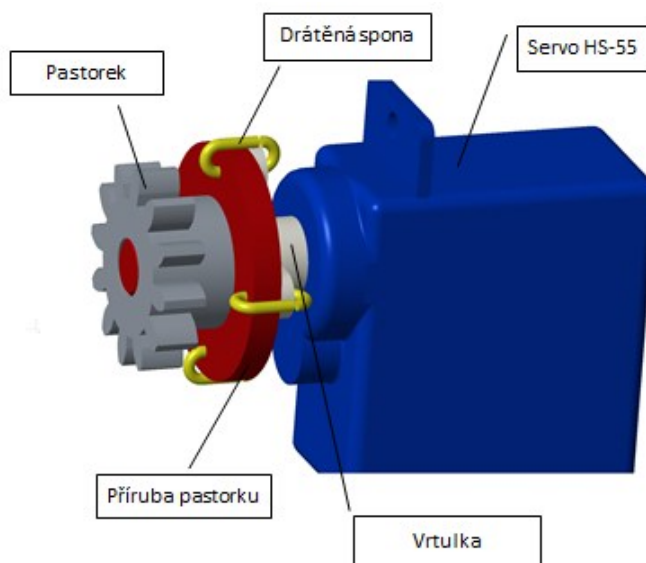
9.Krok Opatrně nasadíme zpět zbytek převodovky a servo zakrytujeme opačným postupem, než bylo psáno na začátku návodu.[9]



Obr. 18 - Detail výstupního ozubeného kola[9]

### 6.1.4 Servomotor s pastorkem

K servomotoru (Obr. 19) je přimontována „vrtulka“, dodána přímo od dodavatele. Ve „vrtulce“ jsou vyvrtány čtyři díry o průměru 1 mm. Skrze tyto díry je přimontována příruba pastorku pomocí drátku o průměru 0,8 mm. Pastorek je k přírubě přilepen, pomocí lepidla UHU Kontakt gel, které se hodí pro nesavé materiály.[11]



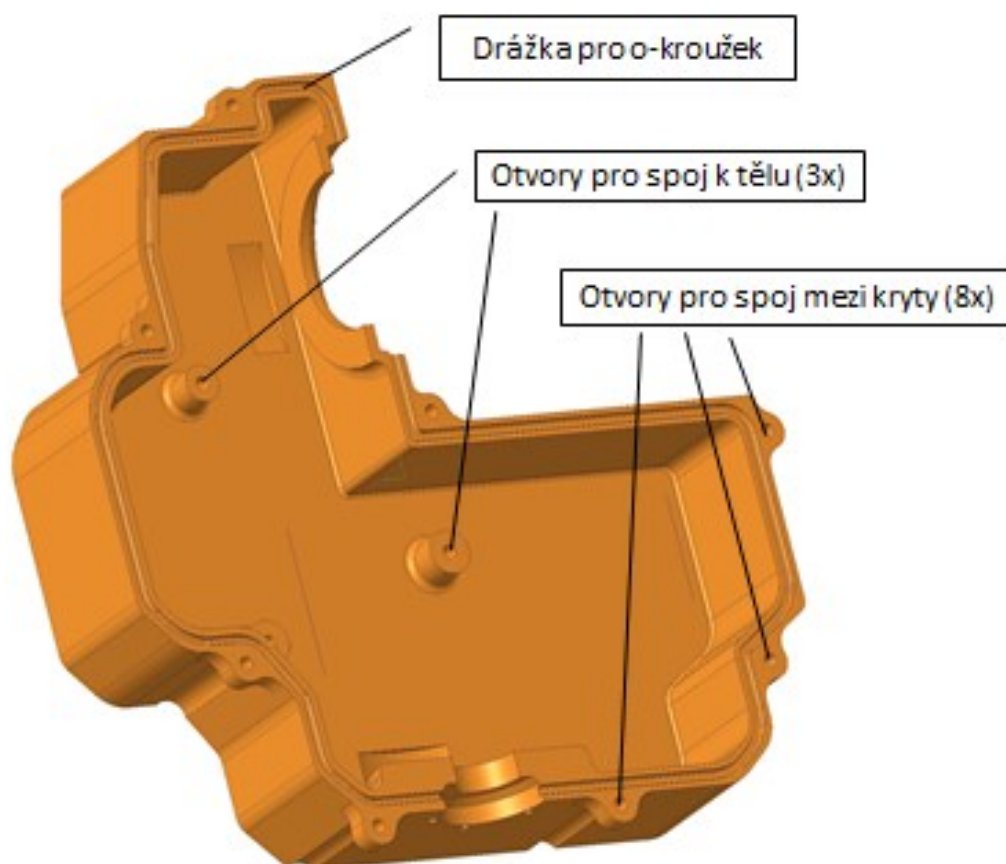
Obr. 19 - Servomotor s pastorkem

## 6.2 Zakrytování kloubu

Jelikož robot Ares, na který má být kloub umístěn, je určený i pro pohyb ve venkovním prostředí, je nutné ho opatřit elementy, které znepřístupní vniknutí vody mezi součástky.

### 6.2.1 Dvoudílný kryt

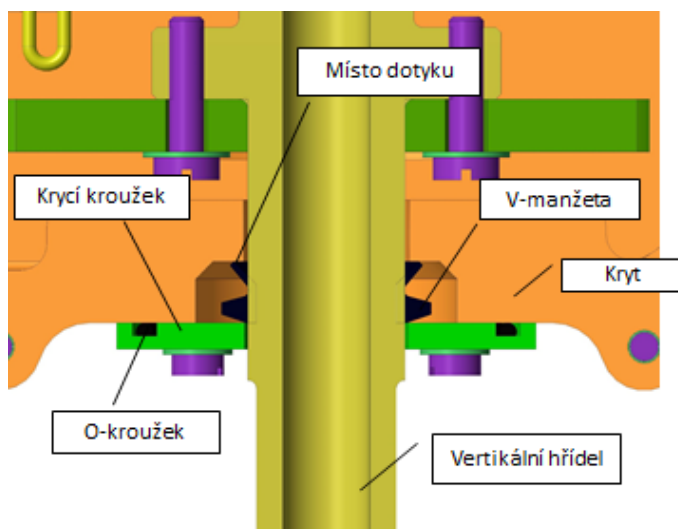
Dvoudílný kryt (Obr. 20) je z důvodu složitosti vyroben pomocí 3D tisku a následného opracování na CNC frézce. Materiál je ABS. Části krytu jsou oboustranně symetrické, jediný rozdíl mezi nimi je drážka pro o-kroužek. Tato drážka je pouze na jedné z částí. O-kroužek bude chránit vnitřní část před vniknutím vody nebo jiných nečistot. O-kroužek průměru 1 mm je dodán od společnosti Rubena a to ve formě „nitě“. Pokud by kryt viditelně nedoléhal některá místa, je nutno tato místa dotěsnit silikonem.



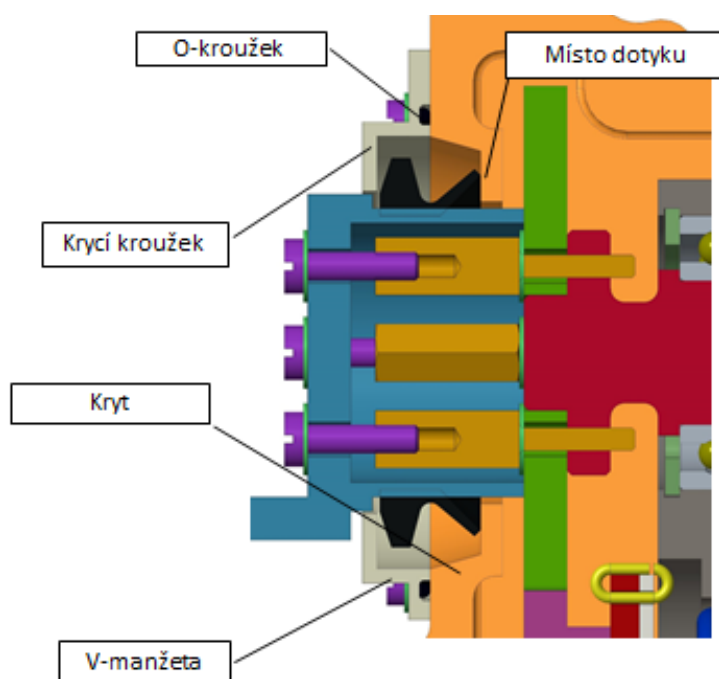
Obr. 20 - Část krytu s drážkou

## 6.2.2 Utěsnění rotačních ploch

K utěsnění rotačních ploch byla vybrána pryžová V-manžeta od společnosti Rubena. Díky malé styčné ploše v bodě dotyku bude tření nízké, což je žádoucí. Pro V-manžetu nemusí být použito axiální zajištění proti posuvu, protože manžeta je na hřídeli uložena s přesahem. Aby se nečistoty nedostaly okolo manžety, je zde uložen ještě krycí kroužek, ten je navíc opatřen o-kroužkem. O-kroužek je uložen v drážce a šrouby je přitlačen ke krytu. Mezi krycím kroužkem a vertikálním čepem, popřípadě válcové části podstavy kamery, vzniká minimální mezera, zde by větší nečistoty projít neměly. Dle konstrukčního řešení by ústrojí mělo splňovat stupeň krytí IP65, tedy odolnost před vniknutím jakéhokoliv nástroje a krytí před stříkající vodou v jakémkoliv směru. Tedy pokud je splněná podmínka, že voda nenateče skrze otvor pro kabeláž. Řešení je v obou osách obdobné.



Obr. 21 - Krytí vertikální osy



Obr. 22 - Krytí horizontální osy

## 7 Monitorování

### 7.1 Kamera Pentax Ricoh WG-M1

Tato venkovní kamera (Obr. 23) byla zvolena na základě kompaktních rozměrů a dostatečného rozlišení. Wi-Fi rozhraní umožňuje ovládat kameru pomocí chytrého telefonu. Kamera je vodotěsná až do hloubky 10 metrů. Kamera je na spodní straně opatřena závitem, pomocí kterého lze jednoduše připevnit na stativ nebo podstavu, kterou obsahuje náš kloub. Používá se na natáčení outdoorových sportů.[12]

#### Parametry kamery[12]:

- Rozměry: 66 x 43 x 89 [mm]
- Hmotnost: 190 [g]
- Výdrž akumulátoru: 2,5 [h]
- Rozlišení snímáče: 14 [Mpx]
- Ozvučení videa: Stereo
- Ukládání dat: SDHC



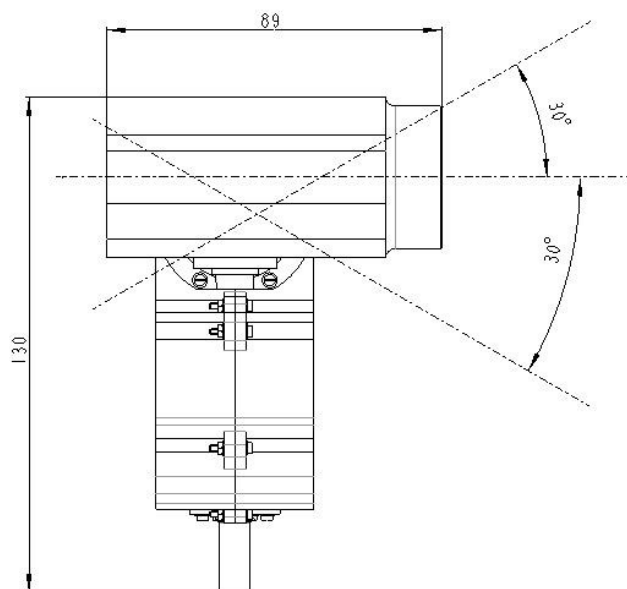
Obr. 23- Pentax Ricoh WG-M1[12]

### 7.2 Připojení na rameno

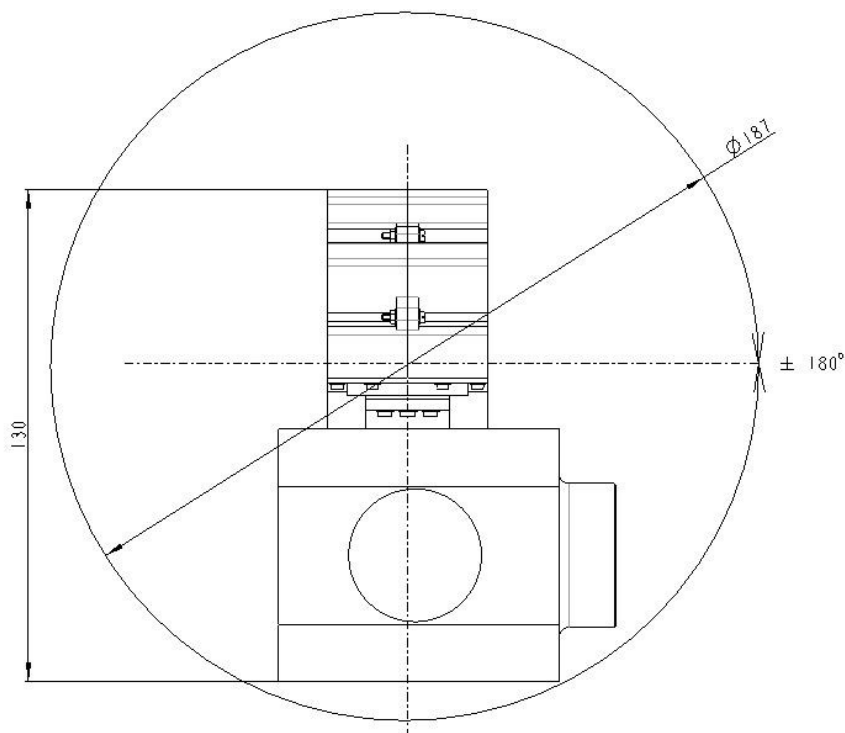
V současné době měla být řešena bakalářská práce na téma „Polohovací rameno robotu Ares“, na které měl být umístěn polohovací kloub. Tato bakalářská práce řešena nebyla, tudíž konstrukce nemohla být přizpůsobena. Je vytvořena připojovací část, na které je vyřezán závit a při vyrobení jednoduchého dílce lze kloub připojit takřka na jakoukoliv konzoli. Taky by šel kloub připojit přímo na platformu robotu, jako je popsáno v bodě 6.1.2. Nevýhodou tohoto připojení je, že musí být umožněn přístup do vnitřní části.

## 7.3 Rozsah natočení

Maximální úhly (Obr. 24 a Obr. 25) natočení jsou  $\pm 30^\circ$  okolo horizontální a  $\pm 180^\circ$  okolo vertikální osy. V horizontální ose další natočení nedovoluje konstrukce. Otáčení okolo vertikální osy je omezeno kabely, které jsou vedeny skrze vertikální hřídel. Rozsah  $\pm 180^\circ$  je odhad, ve skutečnosti se možná bude moct otáčet ve vyšším rozsahu.



Obr. 24 - Natočení okolo horizontální osy



Obr. 25 - Otáčení okolo vertikální osy



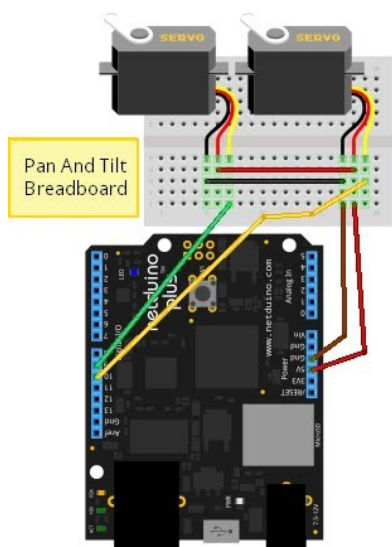
## 7.4 Polohování kloubu

Na robotu Ares je v této době umístěna základní deska NOVA-GM45A. V řídicím počítači je nainstalován OS Windows 7 a řízení je provedeno přes bezdrátový gamepad. Přenos dat je pomocí Bluetooth.

Pro tento způsob zapojení je možnost ovládání například prostřednictvím modulu Servoanim (Obr. 26), který by se dal připojit prostřednictvím sériové linky RS232. Přes tento modul lze ovládat až 8 servomotorů nezávisle na sobě. Výhodou taky je uložení sekvence pohybů do paměti, což se hodí například pro najetí do startovní pozice. Řízení by bylo výhodné například přes joystick pro herní konzole.

V této době je řešená bakalářská práce, která se zabývá náhradou stávajícího řízení robotu Ares na mikro kontrolér Netduino. Pokud by se to podařilo, došlo by k zjednodušení řízení a šlo by řídit Ares na velkou vzdálenost, podmínka je, že by musel být připojen ke školní síti přes Wi-Fi.

V tomto případě by se dal využít stávající zdroj, který je na Aresu umístěn (2 x 12V). Za zdroj by musel být připojen stabilizátor napětí a poté Netduino. Jednoduché schéma zapojení servomotoru k Netduinu (Obr. 27). Ovládat pohyb servomotorů by šlo nejlépe přes joystick, který má potenciometry ve dvou osách. Dosáhlo by se tím plynulého otáčení kamery. To všechno za předpokladu, že by na Netduinu zbyl dostatečný počet pinů, který je omezen.



Obr. 27 - Zapojení dvou serv a Netduina[16]



Obr. 26 – Servoanim[13]

# 8 Kontrolní výpočty

## 8.1 Kontrola servomotorů

### Přepočítání jednotek servomotoru – Kroučící moment

Jelikož jsou servomotory uvedeny v netradičních jednotkách, je nutno hodnoty přepočítat na standardní jednotky.

$$\text{Kroučící moment servomotoru Hitec HS-55: } M_{SZ} = 1,3 \text{ [kg} \cdot \text{cm]} \quad [8.1]$$

Přepočítání kroučícího momentu z  $[\text{kg} \cdot \text{cm}]$  na  $[\text{N} \cdot \text{m}]$ :

$$M_p = 1 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 1 \left[ \frac{9,81 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}}{100} \right] = 0,0981 \text{ [kg} \cdot \text{cm]} \quad [8.2]$$

Výpočet kroučícího momentu serva  $M_S$  v  $[\text{N} \cdot \text{m}]$ :

$$M_S = M_p \cdot M_{SZ} = 1,3 \cdot 0,0981 = 0,128 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad [8.3]$$

Kroučící moment servomotorů je  $0,128 \text{ [N} \cdot \text{m}]$ .

### Přepočítání jednotek servomotoru – Otáčky

$$\text{Otáčky servomotoru Hitec HS-55: } n_{SZ} = 0,14 \left[ \frac{\text{s}}{60^\circ} \right] \quad [8.4]$$

Výpočet otáček  $n_{S360}$ :

$$n_{S360} = n_{SZ} \cdot 6 = 0,14 \cdot 6 = 0,84 \left[ \frac{\text{s}}{360^\circ} \right] \quad [8.5]$$

Výpočet otáček ve  $n_S$ :

$$n_S = \frac{60}{n_{S360}} = \frac{60}{0,84} = 71,4 \left[ \frac{\text{ot.}}{\text{min}} \right] \quad [8.6]$$

Otáčky servomotoru jsou  $71,4 \left[ \frac{\text{ot.}}{\text{min}} \right]$ .

## Ozubené soukolí

V tomto bodě je vypočten převodový poměr mezi pastorkem a ozubeným kolem. Přepočteny i parametry na ozubeném kole, jako je krouticí moment a otáčky.

$$\text{Počet zubů pastorku:} \quad z_p = 12 [-] \quad [8.7]$$

$$\text{Počet zubů ozubeného kola:} \quad z_o = 35 [-] \quad [8.8]$$

$$\text{Krouticí moment pastorku:} \quad M_S = 0,128 [N \cdot m] \quad [8.9]$$

$$\text{Otáčky servomotoru:} \quad n_S = 71,4 \left[ \frac{ot.}{min} \right] \quad [8.10]$$

$$\text{Účinnost ložisek:} \quad \mu_L = 0,995 [-] \quad [8.11]$$

$$\text{Účinnost dotyku ozubených kol:} \quad \mu_D = 0,98 [-] \quad [8.12]$$

Výpočet převodového poměru  $i_p$ :

$$i_p = \frac{z_o}{z_p} = \frac{35}{12} = 2,92 [-] \quad [8.13]$$

Výpočet krouticího momentu  $M_O$ :

$$M_O = M_S \cdot i_p \cdot \mu_L^2 \cdot \mu_D = 0,128 \cdot 2,92 \cdot 0,995^2 \cdot 0,98 = 0,36 [N \cdot m] \quad [8.14]$$

Výpočet otáček na ozubeném kole  $n_O$ :

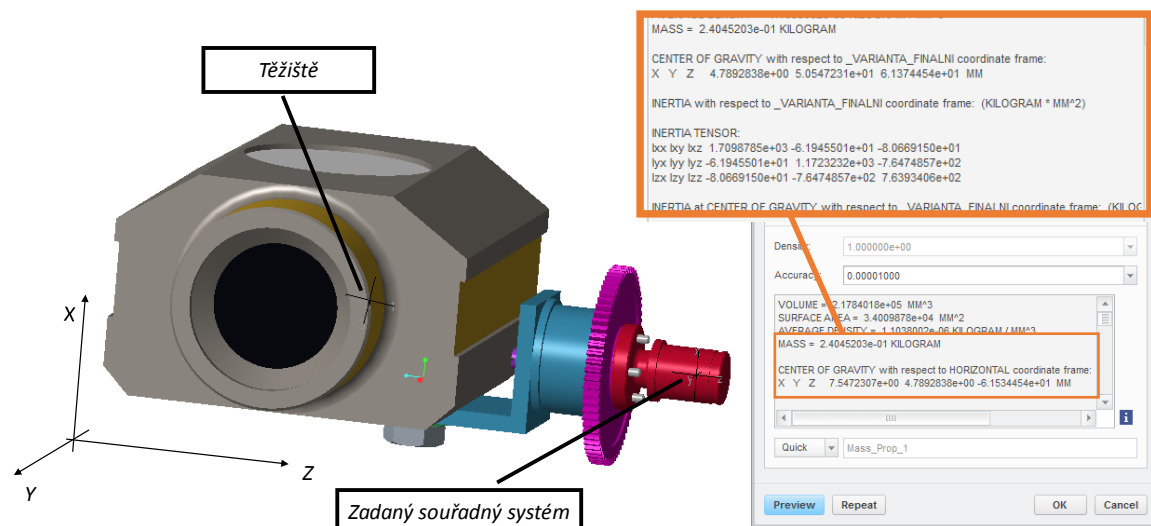
$$n_O = \frac{n_S}{i_p} = \frac{71,4}{2,92} = 24,5 \left[ \frac{ot.}{min} \right] \quad [8.15]$$

Přepočet otáček na  $\omega_O$ :

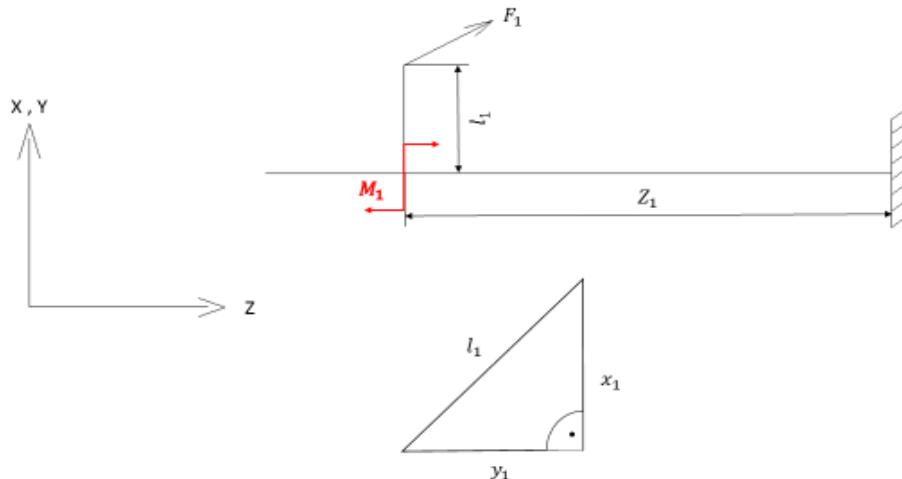
$$\omega_O = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_O}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 24,5}{60} = 2,6 \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad [8.16]$$

## 8.1.1 Kontrolní výpočet horizontální osy

Kontrola je provedena na základě zjištění polohy těžiště v programu CREO3.0. Byl zadán souřadný systém ve 2/3 šířky ložisek a byla vytvořena sestava, která obsahuje pouze hybné části horizontální osy (Obr. 29).



Obr. 28 - Hybná část horizontální osy



Obr. 29 - Schéma horizontální osy

$$\text{Vzdálenost od podpory k těžišti v ose z:} \quad z_1 = 61,5 \text{ [mm]} \quad [8.17]$$

$$\text{Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose x:} \quad x_1 = 7,6 \text{ [mm]} \quad [8.18]$$

$$\text{Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose y:} \quad y_1 = 4,8 \text{ [mm]} \quad [8.19]$$

$$\text{Hmotnost hybné části horizontální osy:} \quad m_H = 0,24 \text{ [kg]} \quad [8.20]$$

$$\text{Moment setrvačnosti k ose Z:} \quad I_{1Z} = 0,000764 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \quad [8.21]$$

\*Doba zrychlení servomotoru:  $t_s = 0,1 [s]$  [8.22]

Úhlová rychlost:  $\omega_o = 2,6 \left[ \frac{rad}{s} \right]$  [8.23]

\* Tato hodnota je odhadnuta. Výrobce neuvádí zrychlení.

Výpočet maximální vzdálenosti těžiště od osy v horizontální rovině  $l_1$ :

$$l_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} = \sqrt{7,6^2 + 4,8^2} = 9 [mm] = 0,009 [m]$$
 [8.24]

Výpočet úhlového zrychlení  $\varepsilon_o$ :

$$\varepsilon_o = \frac{\omega_o}{t} = \frac{2,6}{0,1} = 26 \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$$
 [8.25]

Výpočet potřebného krouticího momentu rotačních části horizontální osy:

$$M_H = m_H \cdot g \cdot l_1 + \varepsilon_o \cdot I_{1z} =$$
 [8.26]
$$= 0,24 \cdot 9,81 \cdot 0,009 + 26 \cdot 0,0007639 = 0,02 [N \cdot m]$$

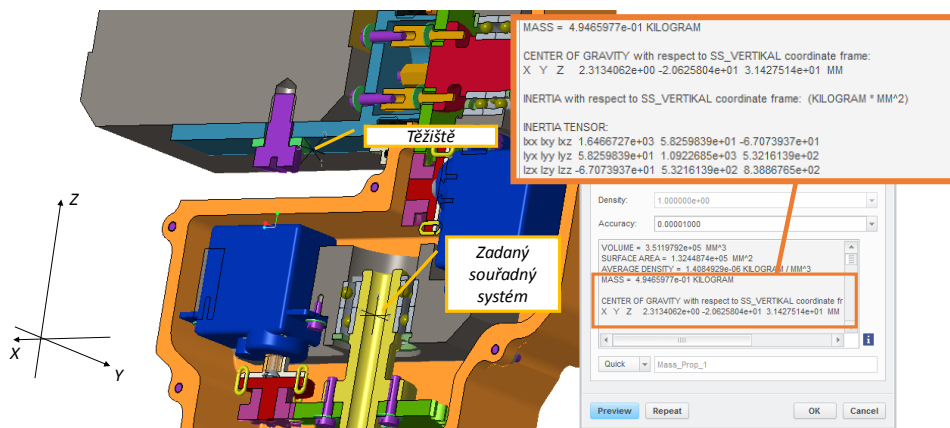
Potřebný krouticí moment vyšel:  $M_H = 0,041 [N \cdot m]$ . [8.27]

Krouticí moment na hřídeli:  $M_O = 0,36 [N \cdot m]$ . [8.28]

$$M_O > M_H - \text{VYHOVUJE}$$
 [8.29]

## 8.1.2 Kontrolní výpočet vertikální osy

Kontrola je provedena na základě zjištění polohy těžiště v programu CREO3.0. Byl zadán souřadný systém ve 2/3 šířky ložisek a do výpočtu je zahrnuta celková sestava kloubu.



Obr. 30 – Vertikální osa

$$\text{Vzdálenost od podpory k těžišti v ose z:} \quad z_2 = 31,4 \text{ [mm]} \quad [8.30]$$

$$\text{Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose x:} \quad x_2 = 2,3 \text{ [mm]} \quad [8.31]$$

$$\text{Vzdálenost od osy hřídele k těžišti v ose y:} \quad y_2 = 20,6 \text{ [mm]} \quad [8.32]$$

$$\text{Celková hmotnost sestavy:} \quad m_S = 0,5 \text{ [kg]} \quad [8.33]$$

$$\text{Moment setrvačnosti k ose Z:} \quad I_{2z} = 0,00084 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \quad [8.34]$$

$$\text{Úhlového zrychlení:} \quad \varepsilon_o = 26 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \quad [8.35]$$

Výpočet maximální vzdálenosti těžiště od osy ve vertikální rovině  $l_2$ :

$$l_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} = \sqrt{2,3^2 + 20,6^2} = 20,7 \text{ [mm]} = 0,0207 \text{ [m]} \quad [8.36]$$

Výpočet potřebného krouticího momentu rotačních části vertikální osy:

$$M_V = m_S \cdot g \cdot l_2 + \varepsilon_o \cdot I_{2z} = \quad [8.37]$$

$$= 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,0207 + 26 \cdot 0,00084 = 0,02 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\text{Potřebný krouticí moment vyšel: } M_V = 0,12 \text{ [N} \cdot \text{m]}. \quad [8.38]$$

$$\text{Krouticí moment na hřídeli: } M_O = 0,36 \text{ [N} \cdot \text{m]}. \quad [8.39]$$

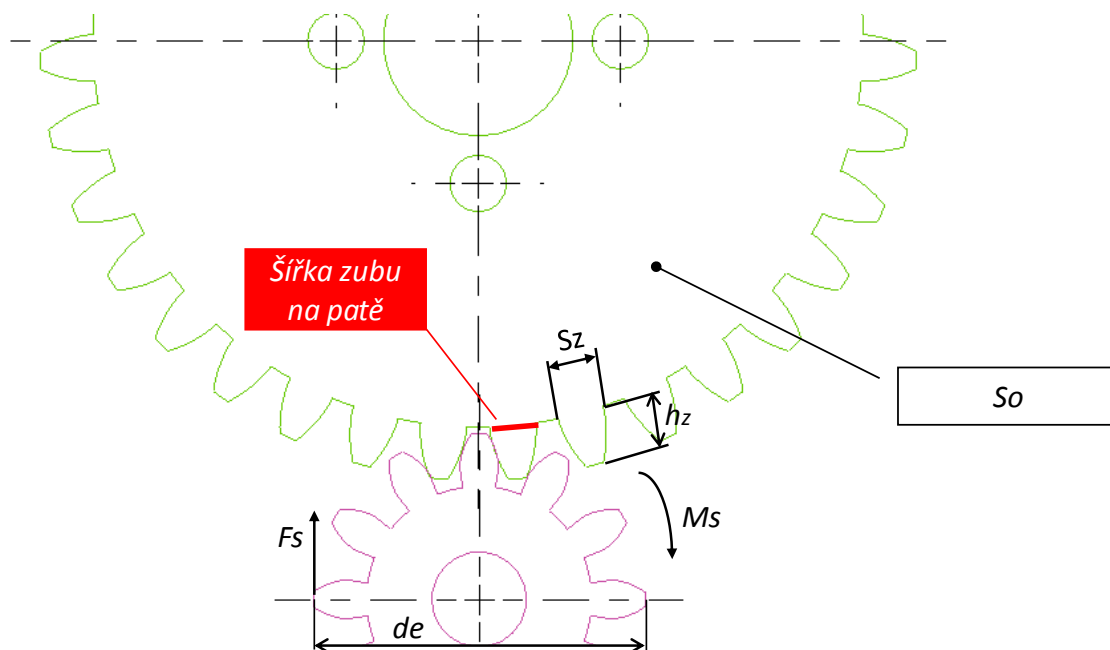
$$M_O > M_V - \mathbf{VYHOVUJE} \quad [8.40]$$

Krouticí moment těchto servomotorů je předimenzovány, a to z důvodů neznámé velikosti tření mezi V-manžetou a krytu. Další důvod je, že neznáme přesnou polohu těžiště kamery.

## 8.2 Kontrola ozubení

V tomto bodě je zkontrolováno ozubení pouze na ohyb. Výrobce neuvádí všechny hodnoty, jež jsou zapotřebí, aby se ozubení dalo zkontrolovat přes program MitCalc, proto ho použijeme pouze pro výpočet reakčních sil.

Výpočet je proveden tím způsobem, že je vypočítána síla, která působí na konci zuby (průměr  $d_e$ ), v momentě kdy je mechanismus zaseknut. Tato síla působí na rameni o délce výšky zuby. Na patě zuby je kritické místo, které je kontrolováno na ohyb.



Obr. 31 - Schéma pro kontrolu na ohyb

Krouticí moment na pastorku:	$M_s = 0,128 [N \cdot m]$	[8.41]
Průměr ozubení na hlavě:	$d_e = 14 [mm] = 0,014[m]$	[8.42]
*Šířka na patě zuby:	$s_z = 1,94 [mm]$	[8.43]
Modul ozubení:	$m_n = 1 [-]$	[8.44]
Šířka ozubení:	$s_o = 3 [mm]$	[8.45]
Mez kluzu materiálu Hostaform:	$R_e = 64 [MPa]$	[8.46]
**Koeficient pro mez kluzu v ohybu:	$k_1 = 1,2 [-]$	[8.47]

\* Tato hodnota je zjištěna z programu CREO3.0. Model ozubeného kola je získán přímo od firmy TEA Technik.

\*\* Tato hodnota byla zvolena orientačně. Většina plastových materiálů má tento nebo vyšší koeficient.

Výpočet síly  $F_s$ :

$$M_s = F_s \cdot \frac{d_e}{2} \Rightarrow F_s = \frac{M_s \cdot 2}{d_e} = \frac{0,128 \cdot 2}{0,014} = 18,3 \text{ [N]} \quad [8.48]$$

Výpočet dovolené meze v ohybu  $\sigma_{do}$ :

$$\sigma_{do} = k_1 \cdot R_e = 1,2 \cdot 64 = 76,8 \text{ [MPa]} \quad [8.49]$$

Výpočet modulu průřezu v ohybu  $W_o$ :

$$W_o = \frac{s_o \cdot s_z^2}{6} = \frac{3 \cdot 1,94^2}{6} = 1,88 \text{ [mm}^3\text{]} \quad [8.50]$$

Výpočet výšky zubu  $h_z$ :

$$h_z = 1,25 \cdot m_n = 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ [mm]} \quad [8.51]$$

Výpočet napětí v ohybu na patě zubu  $\sigma_o$ :

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{do} \quad [8.52]$$

$$\sigma_o = \frac{F_s \cdot h}{W_o} = \frac{18,3 \cdot 1,25}{1,88} = 12,1 \text{ [MPa]} \quad [8.53]$$

Výpočet koeficientu bezpečnost  $k_o$ :

$$k_o = \frac{\sigma_{do}}{\sigma_o} = \frac{76,8}{12,1} = 6,3 \geq 1,7 \dots \mathbf{VYHOVUJE} \quad [8.54]$$

Koeficient bezpečnosti zubu v ohybu vyšel několika násobně vyšší, než je požadováno, což je vyhovující.

## 8.3 Kontrola ložisek

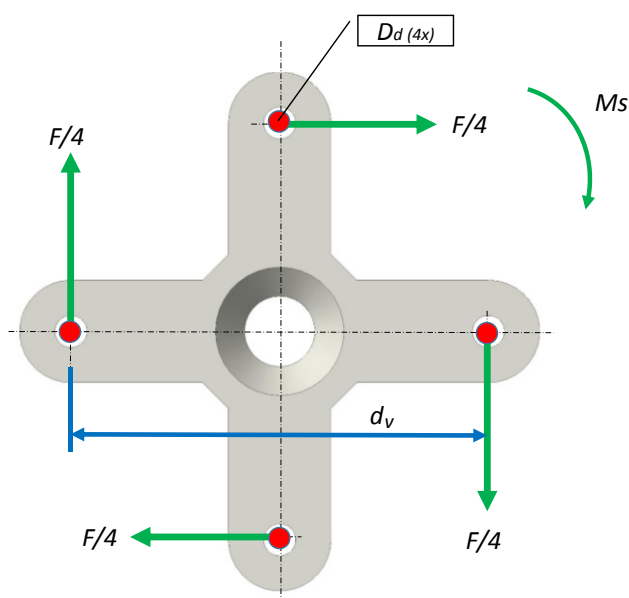
Pro kontrolu ložisek byl použit program MitCalc. Nejprve byly vypočteny reakční síly od ozubení. Poté byly vytvořeny nosníky, rozměrově odpovídající modelu. Nakonec se reakce v podpěrách zahrnuly do výpočtu ložisek.

Výpočty jsou uvedeny v příloze C. Reakční síla od ozubení je pro vertikální i horizontální osu totožná.



## 8.4 Kontrola na střiž drátěné spony

Protože mezi „vrtulka“ servomotoru je spojena s přírubou pomocí čtyřech drátěných spon (Obr. 19). Proto musí být zkontrolovány na střiž. Výpočet je proveden pro maximální krouticí moment serva. Byl použit svařovací drát o průměru 0,8[mm]. Materiál drátu je 18Cr8Ni.



Obr. 32 - Schéma pro kontrolu drátěné spony

Krouticí moment na pastorku:  $M_s = 0,128 \text{ [N} \cdot \text{m]}$  [8.55]

Rozteč děr:  $d_v = 14 \text{ [mm]} = 0,014 \text{ [m]}$  [8.56]

Průměr drátu:  $d_d = 0,8 \text{ [mm]}$  [8.57]

Mez kluzu drátu:  $R_{e0,8} = 370 \text{ [MPa]}$  [8.58]

Počet drátových spon:  $i_d = 4 \text{ [-]}$  [8.59]

Výpočet síly  $F_d$ :

$$M_s = F_d \cdot \frac{d_v}{2} \Rightarrow F_d = \frac{M_s \cdot 2}{d_v} = \frac{0,128 \cdot 2}{0,014} = 18,3 \text{ [N]} \quad [8.60]$$

Výpočet dovolené meze pevnosti ve střiž  $\tau_{ds}$ :

$$\tau_{ds} = 0,6 \cdot R_{e0,8} = 0,6 \cdot 370 = 222 \text{ [MPa]} \quad [8.61]$$

Výpočet napětí v ohybu na patě zubu  $\tau_s$ :

$$\tau_s = \frac{F_d}{S_d} \leq \tau_{ds} \quad [8.62]$$

$$\tau_s = \frac{\frac{F_d}{l_d}}{\frac{\pi \cdot d_d^2}{4}} = \frac{\frac{18,3}{4}}{\frac{\pi \cdot 0,8^2}{4}} = 9,1 \text{ [MPa]} \quad [8.63]$$

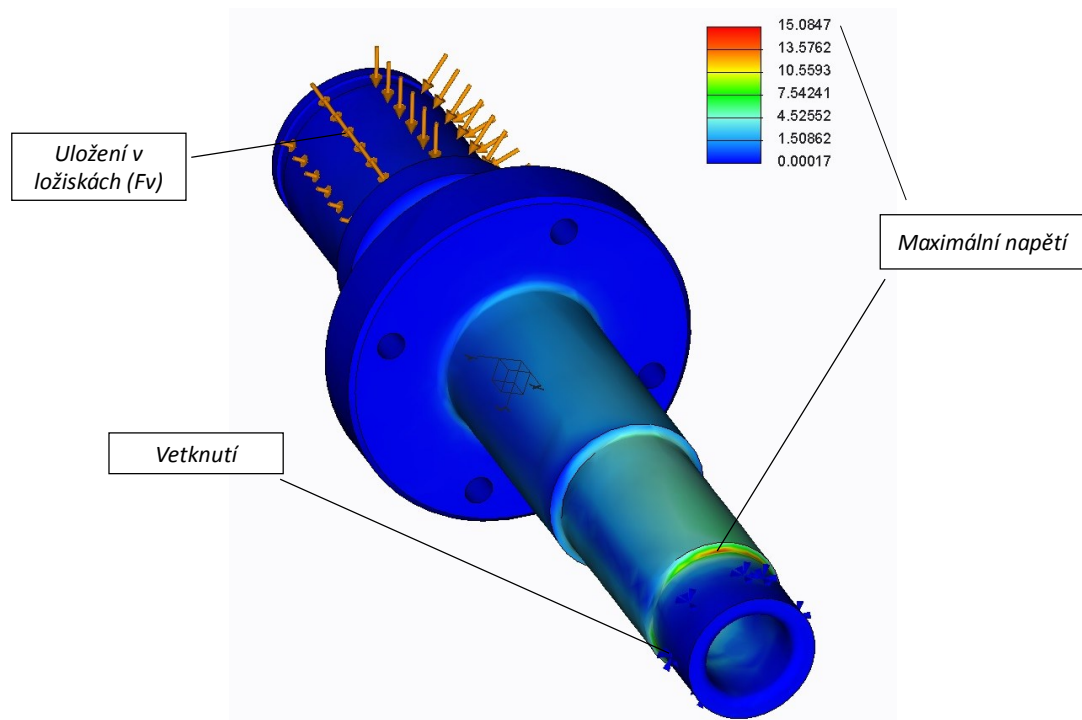
Výpočet koeficientu bezpečnost  $k_d$ :

$$k_d = \frac{\tau_{ds}}{\tau_s} = \frac{222}{9,1} = 24,4 \geq 2 \dots \mathbf{VYHOVUJE} \quad [8.64]$$

Drát vyšel předimenzován, ale z konstrukčního hlediska je vhodný.

## 8.5 Kontrola vertikálního hřídele

V této části je zkontrolován vertikální hřídel na ohyb. Pro výpočet maximálního napětí v hřídeli byl použit program CREO3.0. Výpočet je proveden pro polohu, kdy osa hřídele bude v horizontální poloze (např. sklopená poloha ramene). Hřídel je vyroben z materiálu 1.4301, který je korozivzdorný.



Obr. 33 - Vertikální hřídel - ohyb

$$\text{Hmotnost celé soustavy:} \quad m_s = 0,5 \text{ [kg]} \quad [8.65]$$

$$\text{Mez kluzu materiálu:} \quad R_{p0,2v} = 190 \text{ [MPa]} \quad [8.66]$$

$$\text{Maximální napětí na vertikálním hřídeli:} \quad \sigma_{ovh} = 15,1 \text{ [MPa]} \quad [8.67]$$

Výpočet síly  $F_v$ :

$$F_v = m_s \cdot g = 0,5 \cdot 9,81 = 4,9 \text{ [N]} \quad [8.68]$$

Výpočet dovolené meze kluzu v ohybu  $\sigma_{dovh}$ :

$$\sigma_{dovh} = 1,2 \cdot R_{p0,2v} = 1,2 \cdot 190 = 228 \text{ [MPa]} \quad [8.69]$$

Porovnání napětí:

$$\sigma_{ovh} \leq \sigma_{dovh} \quad [8.70]$$

$$15,1 \leq 228 \dots \text{ **VYHOVUJE** }$$

Výpočet koeficientu bezpečnost  $k_v$ :

$$k_v = \frac{\sigma_{dovh}}{\sigma_{ovh}} = \frac{228}{15,1} = 15,1 \geq 4 \dots \text{ **VYHOVUJE** } \quad [8.71]$$

Bezpečnost je zvýšena z důvodu pohybu ramene, který je v této chvíli neznámý.

## 8.6 Kontrola podstavy kamery

Hliníková podstava kamery (Obr. 34) byla taktéž zkontrolována na ohyb pomocí programu CREO3.0. Níže jsou uvedeny zadané hodnoty. Je zadán i krouticí moment, který vznikne při zaseknutí kamery o kryt. Z důvodu zjednodušení zadání, byla síla působící od kamery zadána až na konec podstava. Ve skutečnosti těžiště nebude tak vzdálené.

$$\text{Hmotnost kamery:} \quad m_k = 0,192 \text{ [kg]} \quad [8.72]$$

$$\text{Mez kluzu materiálu:} \quad R_{p0,2p} = 85 \text{ [MPa]} \quad [8.73]$$

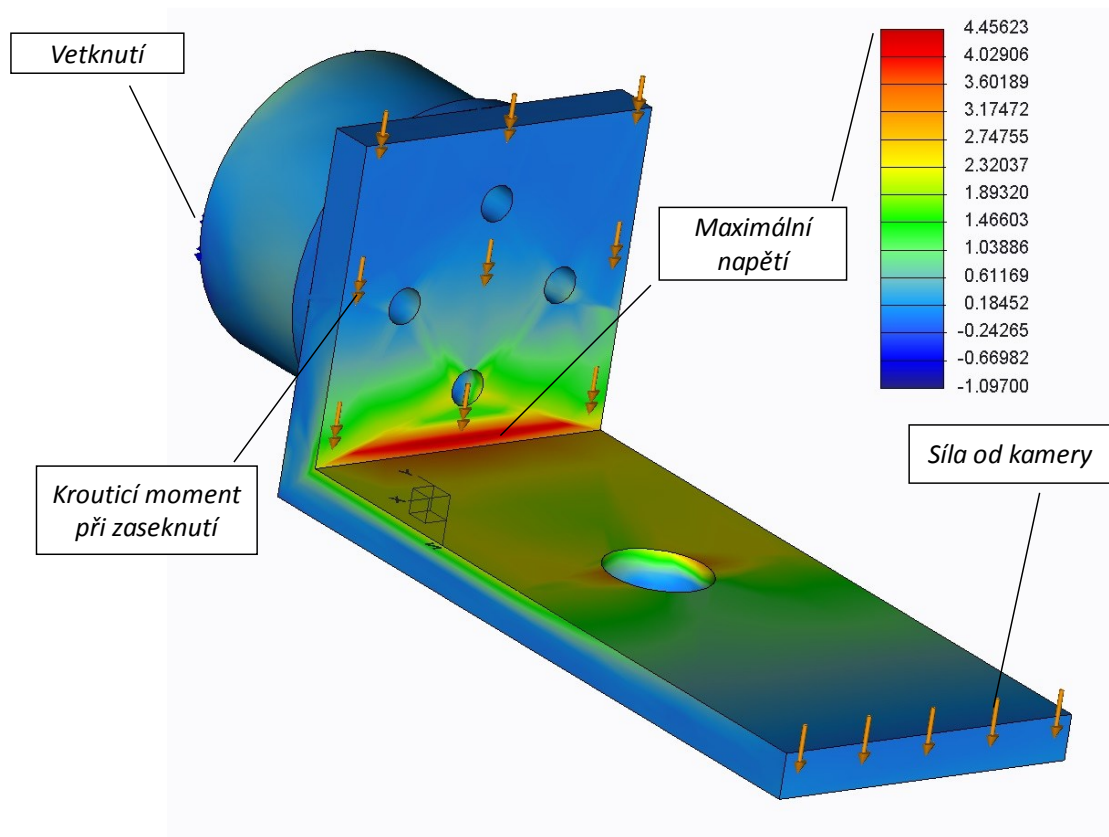
$$\text{Maximální napětí na podstavě:} \quad \sigma_{op} = 4,5 \text{ [MPa]} \quad [8.74]$$

Výpočet síly  $F_k$ :

$$F_k = m_k \cdot g = 0,192 \cdot 9,81 = 1,9 \text{ [N]} \quad [8.75]$$

Výpočet dovolené meze kluzu v ohybu  $\sigma_{dop}$ :

$$\sigma_{dop} = 1,2 \cdot R_{p0,2p} = 1,2 \cdot 85 = 102 \text{ [MPa]} \quad [8.76]$$



Obr. 34 - Podstava kamery – ohyb

Porovnání napětí:

$$\sigma_{op} \leq \sigma_{dop} \quad [8.77]$$

$$4,5 \leq 102 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

Výpočet koeficientu bezpečnosti  $k_p$ :

$$k_p = \frac{\sigma_{dop}}{\sigma_{op}} = \frac{102}{4,5} = 22,7 \geq 5 \dots \mathbf{VYHOVUJE} \quad [8.78]$$

Koeficient byl navýšen z důvodu, že může dojít ke zvýšení napětí při obsluze kamery.

## 9 Závěr

V této bakalářské práci (BP) bylo cílem vytvořit polohovací kloub (PK) pro kameru. Na základě rešerše stávajících PK a monitorovacích robotů byly vytvořeny tři varianty řešení. Všechny pro kameru Pentax Ricoh WG-M1. Pomocí vícekritériální analýzy byla vybrána vítězná varianta a ta byla rozpracována do finální podoby s krytváním proti vniknutí vody do mechanismu (IP65).

Finální podoba varianty obsahuje dva servomotory. Každý servomotor zajišťuje jeden stupeň volnosti a celý mechanismus má tedy 2 stupně volnosti. Mechanický rozsah snímání je  $\pm 180^\circ$  okolo vertikální osy a  $\pm 30^\circ$  okolo horizontální osy. Skrze kameru ale lze zobrazit větší úhel snímání, a to z důvodu že čočka, kterou obsahuje kamera má taky určitý rozsah. Tento použitelný úhel lze zjistit jen experimentálně.

Na výrobě tohoto mechanismu se budou podílet CNC frézky a CNC soustruhy, poněvadž rozměry těchto dílců jsou velmi malé a u některých je nutno dodržet přesnou rozteč vrtání. Použit bude taky 3D tisk, který se postará o kryt mechanismu. Po vytisknutí bude nutná úprava na CNC frézce. Nakoupená ozubená kola musí být taktéž upravena. Při návrhu PK, nebyly zahrnuty z důvodu dostupnosti menší šrouby než M1,6.

Při návrhu PK bylo sice stanoveno, že má být umístěn na rameno robotu Ares, ale bakalářská práce na toto téma nebyla vypracována, proto byla přípojovací část vyrobena univerzálně. Připojení se bude tedy řešit podle konkrétní aplikace. Jelikož váha celého mechanismu činí 500g a jeho rozměry jsou velmi kompaktní, je možné ho použít na většinu robotu zkonstruovaných na katedře robotiky.

Také byly zkontrolovány hlavní konstrukční uzly. Při výpočtech byl použit program CREO3.0 a MitCalc. Většina kontrolovaných uzlů vycházela velice předimenzována a to díky nízké hmotnosti jak rotačních části tak celého mechanismu.

V BP byl také vytvořen návrh zapojení ve dvou různých variantách. Je potřeba dořešit řízení. Při řízení by měl být kladen důraz na rychlost otáčení, nejsou totiž žádoucí maximální otáčky, které dokáže servomotor vyvinut. Dále je nutno otestovat stupeň krytí a celkovou funkci mechanismu.

## 10 Použitá literatura

- [1]. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2]. SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3]. KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0626-6.
- [4]. <https://www.sparkfun.com>
- [5]. <https://www.servocity.com>
- [6]. <http://www.dsecctv.com>
- [7]. <http://sketchupdate.blogspot.cz>
- [8]. <http://www.engineering.sk>
- [9]. <http://www.servo.cz>
- [10]. <http://home.myfairpoint.net>
- [11]. <http://www.lepidla.cz>
- [12]. <https://www.alza.cz>
- [13]. <http://www.snailshop.cz>
- [14]. <http://forums.netduino.com/index.php?/topic/1839-panandtilt/>
- [15]. <http://www.stasanet.cz>
- [16]. <http://robot.vsb.cz/>
- [17]. <http://www.robotshop.com>
- [18]. <http://www.milesight.com>
- [19]. <http://www.peckamodel.cz/>
- [20]. <http://www.rubena.cz/cz/>

# 11 Seznam příloh

- A. Výkresová dokumentace
- B. Montážní postup
- C. Kontrolní výpočet ložisek
- D. Elektronická podoba bakalářské práce
  - *Model vítězné varianty*
  - *Výkresová dokumentace*
  - *Bakalářská práce*
  - *Katalogy použitých normovaných dílců*
  - *Přílohy*

# 12 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 - Znázornění náklonu a otáčení[7]</i> .....	12
<i>Obr. 2 - Klasická koncepce[4]</i> .....	13
<i>Obr. 3 - MILESIGHT C3576[18]</i> .....	14
<i>Obr. 4 - MPT 1100-SS[5]</i> .....	14
<i>Obr. 5 - SD -E4HDU[6]</i> .....	15
<i>Obr. 6 - RB-Sdr-92[19]</i> .....	16
<i>Obr. 7 - SuperDroid HD2-S[19]</i> .....	16
<i>Obr. 8 - Robot ARES[8]</i> .....	17
<i>Obr. 9 - Varianta I</i> .....	18
<i>Obr. 10 - Varianta II</i> .....	19
<i>Obr. 11 - Varianta III</i> .....	20
<i>Obr. 12 - Zakrytovaná vítězná varianta</i> .....	24
<i>Obr. 13 - Vítězná varianta bez krytování</i> .....	24
<i>Obr. 14 - Řez horizontální osou bez krytování</i> .....	25
<i>Obr. 15 - Řez vertikální osou bez krytování</i> .....	26
<i>Obr. 16 - HS-55[19]</i> .....	27
<i>Obr. 17 - Částečně rozebrané servo[10]</i> .....	27

<i>Obr. 18 - Detail výstupního ozubeného kola[9]</i> .....	28
<i>Obr. 19 - Servomotor s pastorkem</i> .....	28
<i>Obr. 20 - Část krytu s drážkou</i> .....	29
<i>Obr. 21 - Krytí vertikální osy</i> .....	30
<i>Obr. 22 - Krytí horizontální osy</i> .....	30
<i>Obr. 23 - Pentax Ricoh WG-M1[12]</i> .....	31
<i>Obr. 24 - Natočení okolo horizontální osy</i> .....	32
<i>Obr. 25 - Otáčení okolo vertikální osy</i> .....	32
<i>Obr. 26 – Servoanim[13]</i> .....	33
<i>Obr. 27 - Zapojení dvou serv a Netduina[16]</i> .....	33
<i>Obr. 28 - Hybná část horizontální osy</i> .....	36
<i>Obr. 29 - Schéma horizontální osy</i> .....	36
<i>Obr. 30 – Vertikální osa</i> .....	37
<i>Obr. 31 - Schéma pro kontrolu na ohyb</i> .....	39
<i>Obr. 32 - Schéma pro kontrolu drátěné spony</i> .....	41
<i>Obr. 33 - Vertikální hřídel - ohyb</i> .....	42
<i>Obr. 34 - Podstava kamery – ohyb</i> .....	44

## 13 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Zvolené kritéria .....	21
Tabulka 2 – Bodovací stupnice .....	21
Tabulka 3 - Porovnání metodou párů .....	21
Tabulka 4 - Konečné pořadí kritérii .....	22
Tabulka 5 - Hodnoty varianty I .....	22
Tabulka 6 - Hodnoty varianty II .....	23
Tabulka 7 - Hodnoty varianty III .....	23
Tabulka 8 - Pořadí variant .....	23



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ladislav Kárníkovi CSc., za vedení, připomínky a čas, který mi věnoval, při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za celkovou podporu během studia.