

Konstrukce uchycení akusticko elektronických komponentů pro sonarové měření vzdálenosti na podvozek mobilního robota

Bc. Stanislav Zámorský

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav Zámorský**
Osobní číslo: **T16315**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce uchycení akusticko elektronických komponentů pro sonarové měření vzdálenosti na podvozek mobilního robota**

Zásady pro vypracování:

- vypracujte řešení na dané téma
- navrhnete varianty řešení s ohledem na konstrukční omezení vyrobeného podvozku
- vyberte nejvhodnější řešení a vytvořte pro něj výrobní dokumentaci
- zhodnoťte dosažené výsledky

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Shigley J. E., Mischke Ch. R., Budynas R. G.: Konstruování strojních součástí, VUTIUUM 2011**
2. **Kreith F., Goswami D. Y.: Handbook of MEchanical Engineering, CRC Press 2005**
3. **Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, Pearson Prentice Hall 2005, 4th edition**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 15. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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 právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh konstrukce akusticko elektronických komponentů pro sonarové měření vzdálenosti na podvozek mobilního robota. Práce obsahuje v teoretické části rešerši na danou problematiku.

Z nasbíraných zkušeností za absolvované studium byly za pomoci softwaru vytvořeny 3D modely možných řešení. Pro nejvhodnější řešení byla dále vytvořena výkresová dokumentace.

Výsledkem bakalářské práce je konstrukční řešení pro umístění akusticko elektronických komponentů na podvozek mobilního robota.

Klíčová slova: mobilní, robot, 3D model, Solidworks, konstrukce

ABSTRACT

The main goal of this bachelor thesis is to design construction for carrying acoustic and electronic components on chassis of mobile robot. In theoretical part, there is resource search for given topic.

In practical part, from acquired experience given by study, there was made proposal of possible solutions in 3D software. For the best proposed solution was made an drawing documentation.

As a result of this thesis, there is construction solution for placement acoustic and electronic components on chassis of mobile robot.

Keywords: mobile, robot, 3D model, Solidworks, construction

Tímto způsobem bych chtěl vyjádřit své díky vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc. za jeho obětavý přístup, cenné připomínky, rady a čas strávený nad touto prací.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MOBILNÍ ROBOT	12
1.1.1 Autonomní robot	12
1.1.2 Dálkově řízený robot.....	12
1.2 KONSTRUKCE MOBILNÍCH ROBOTŮ	12
1.2.1 Vyjasnění úlohy	13
1.2.2 Koncepce.....	13
1.2.3 Návrh.....	13
1.2.4 Vypracování	13
2 SENZORIKA	15
2.1 SYSTÉMY INTEGROVANÉ AUTOMATIZACE	15
2.2 SENZORY	16
2.3 SENZORIKA MOBILNÍCH ROBOTŮ	16
2.3.1 Interní senzory.....	16
2.3.2 Externí senzory.....	16
2.3.2.1 Taktilní senzory	17
2.3.2.2 Infračervený detektor překážek	17
2.3.2.3 Sonar	17
3 KROKOVÝ MOTOR	19
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY	19
3.2 DĚLENÍ.....	20
3.2.1 Reluktanční krokové motory.....	20
3.2.2 Krokové pohony s aktivním rotorem	21
3.3 HYBRIDNÍ KROKOVÝ MOTOR	21
3.3.1 Princip hybridního krokového motoru	21
3.4 CHARAKTERISTIKY KROKOVÉHO MOTORU	21
3.4.1 Statická momentová charakteristika	21
3.4.2 Momentová charakteristika	22
3.5 ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ	23
3.5.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze	23
3.5.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází.....	24
3.5.3 Osmitaktní řízení	24
4 ZVUK	25
4.1 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ ZVUKU	25
4.1.1 Hladina akustického tlaku	25
4.2 ŠÍŘENÍ ZVUKU	26
4.2.1 Odpor vzduchu	26
4.2.2 Rychlost šíření zvuku.....	26
5 PŘEVODY S OHEBNÝMI PŘEVODOVÝMI ČLENY	28

5.1	DĚLENÍ.....	28
5.1.1	Převody s plochými členy	28
5.1.2	Převody klínovým řemenem	28
5.1.3	Synchronní řemenové převody	29
5.1.4	Řetězové převody.....	30
5.2	ZÁKLADNÍ VÝPOČTOVÉ VZTAHY	31
5.2.1	Převodový poměr	31
5.2.2	Osová vzdálenost řemenic a délka řemene	31
5.2.3	Úhel opásání řemenem malé řemenice	32
6	LOŽISKA.....	33
6.1	KLUZNÁ LOŽISKA	33
6.1.1	Materiály	33
6.1.1.1	Kompozitní	34
6.1.1.2	Slitiny mědi.....	34
6.1.1.3	Slitiny hliníku	34
6.1.1.4	Spékané kovy.....	34
6.1.1.5	Šedá litina	35
6.1.1.6	Plasty.....	35
6.1.2	Výpočet	35
6.2	VALIVÁ LOŽISKA.....	35
6.2.1	Druhy valivých ložisek	36
6.2.1.1	Podle zatěžující síly	36
6.2.1.2	Podle styku s oběžnou drahou ložiska	36
6.2.1.3	Podle tvaru valivých tělísek.....	36
6.2.2	Výpočet	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	39
7	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	40
8	NÁVRH ŘEŠENÍ	41
9	POPIS KONSTRUKCE.....	43
9.1	NOSNÁ ČÁST	43
9.1.1	L-profil	43
9.1.2	Silentblok	44
9.1.3	Nosná deska	45
9.2	OTOČNÝ SUBSYSTEM.....	45
9.2.1	Konzole akustických komponentů	46
9.2.2	Příruba	47
9.2.3	Ložiska	47
9.2.4	Dutá hřídel.....	49
9.2.5	Přítužná matice.....	49
9.3	POHONNÝ SYSTÉM.....	50
9.3.1	Motor.....	50
9.3.2	Převodový mechanismus.....	51
9.3.3	Konzole	53
10	MONTÁŽ.....	54
	ZÁVĚR	55

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	58
SEZNAM OBRÁZKŮ	61
SEZNAM TABULEK.....	62
SEZNAM GRAFŮ	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Robotika je odvětví, které se v současné době dynamicky rozvíjí. Roboti mají mnoho aplikací napříč všemi průmyslovými odvětvími, dokážou lidem výrazně ulehčit práci, zvýšit efektivitu výroby či mohou být vysláni na místa, která jsou pro člověka zdraví nebezpečná. Výrazně se zvyšuje jejich význam a již teď mají nenahraditelné místo v lidské společnosti, prakticky všichni lidé mohou přímo či nepřímo pocítit vliv na jejich životy.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá sensorikou mobilních robotů, základními druhy senzorů, jejich funkcí a rozdělením. V další části se nachází rozdělení a funkce krokových motorů, jejich popis a základní charakteristiky. Dále se zde objeví problematika šíření zvuku, základní vztahy a činitelé, kteří ovlivňují jeho chování v prostředí. V poslední části se zaměřuje na rozdělení a princip ložisek a pružných prvků pro přenos otočného pohybu, včetně uvedení základních výpočtových vztahů.

V praktické části byl pomocí programu Solidworks 2019 vytvořen model konstrukce pro uchycení akusticko-elektronických komponentů na rám robota. Na základě tohoto modelu byla v programu Draftsight vypracována výkresová dokumentace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MOBILNÍ ROBOT

Mobilní robot je přístroj, který se přemísťuje v prostředí a je schopný vykonávat různé dílčí úkoly. Výzkumem mobilních robotů se zabývá robotika.

Roboti se dělí na autonomní a dálkově řízené. [8]

1.1.1 Autonomní robot

Autonomní robot je robot, který je schopen samostatného rozhodování na základě vstupních informací přicházejících ze senzorů. [8]

1.1.2 Dálkově řízený robot

Za chování dálkově řízeného robota je zodpovědný operátor, který vlastní ovládací zařízení, díky němuž je schopný na základě vstupních informací rozhodovat o činnosti robota.

Dálkově řízený robot by měl být stále částečně autonomní, například při ztrátě signálu být schopný uvolnit pracovní prostor pro ostatní elementy v pracovním prostředí. [8]

1.2 Konstrukce mobilních robotů

Mobilní roboti se skládají z velkého množství různých podsystémů, které definují jejich sofistikovanost a schopnost zvládat operace, za jejichž účelem jsou vyvinuti. Subsystémy se skládají z určitých prvků a mohou mít mnoho konstrukčních řešení. [9]

Základní prvky, které by měly být součástí valné většiny robotů:

- Rám
- Náprava
- Kolo
- Pohon
- Karoserie

Při konstruování mobilních robotů musí konstruktér vzít v úvahu mnoho dílčích faktorů. V zásadě by se měl držet těchto klíčových bodů:

- Vyjasnění úlohy
- Koncepce
- Návrh

- Vypracování [9]

1.2.1 Vyjasnění úlohy

Vyjasněním úlohy je myšleno upřesnění aplikace robota. Zákazník by měl jasně definovat prostředí, ve kterém se bude robot pohybovat, povrch, po kterém bude jezdit a média, se kterými bude v přímém styku. [9]

1.2.2 Koncepce

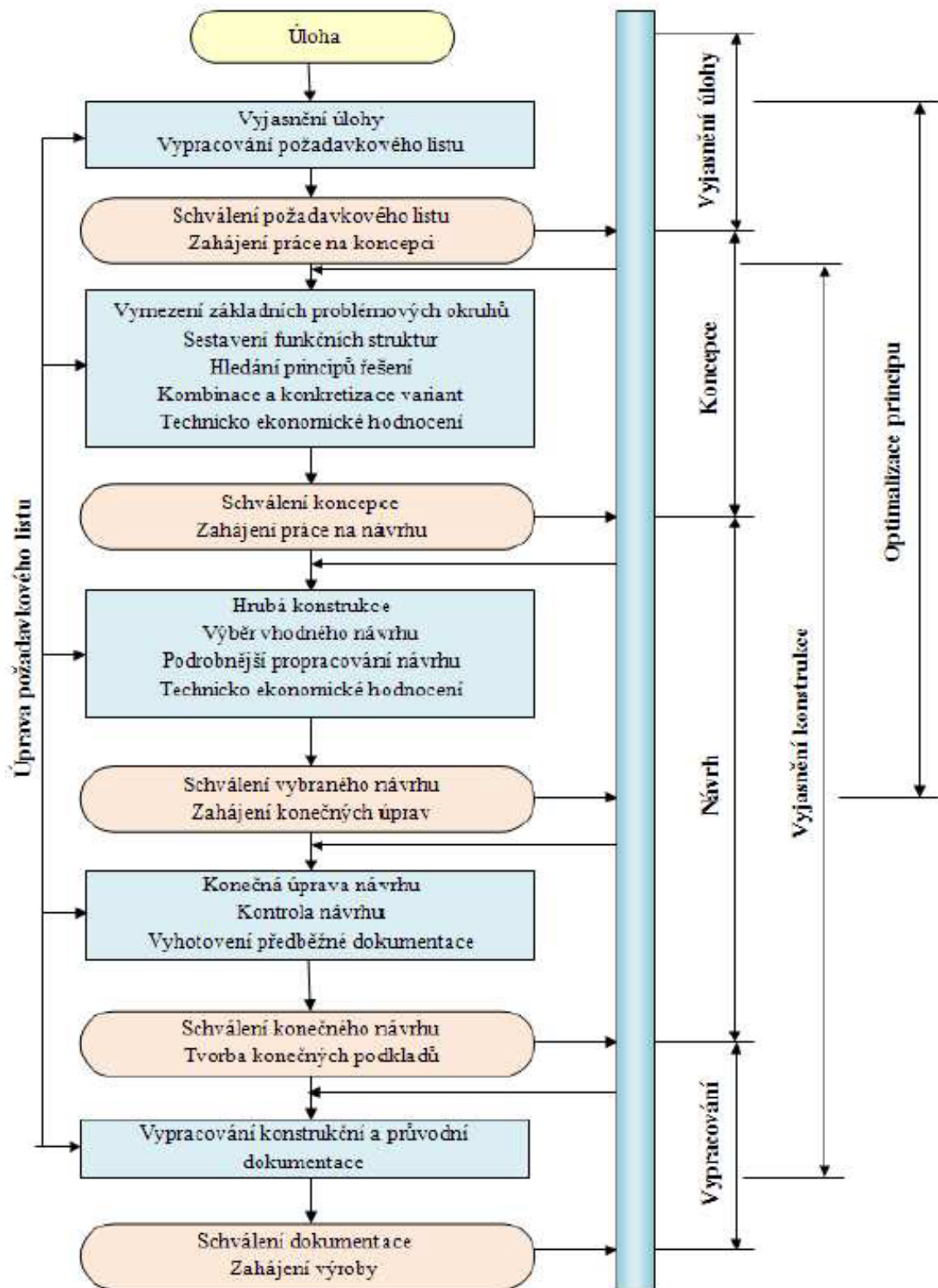
Na základě získaných informací se vytvoří koncepce robota. Koncepcí je myšleno vytvoření základních parametrů, které by měl robot splňovat. Dále se v této fázi řeší základní funkční struktury, to, jak by měl robot fungovat a čemu by se měl konstruktér při tvorbě návrhu vyvarovat. Následně vzniknou varianty, ze kterých se vybere ta nejvhodnější. Velkou roli má v tomto směru i technicko ekonomické hodnocení variant. [9]

1.2.3 Návrh

V této fázi se podle varianty, která byla určena v předchozím kroku, vytvoří podklady pro výrobu. V případě, že se objeví nějaké výrobní nebo konstrukční problémy, je možno je ještě nízkonákladově odstranit. Znovu se provede technicko ekonomické hodnocení, které tentokrát bude mnohem přesnější z důvodu znalosti požadavků pro výrobu/nákup jednotlivých dílců specifikovaných konstruktérem. [9]

1.2.4 Vypracování

Zde se už pouze vypracuje konstrukční a průvodní dokumentace. Následně se již může zahájit výroba. [9]

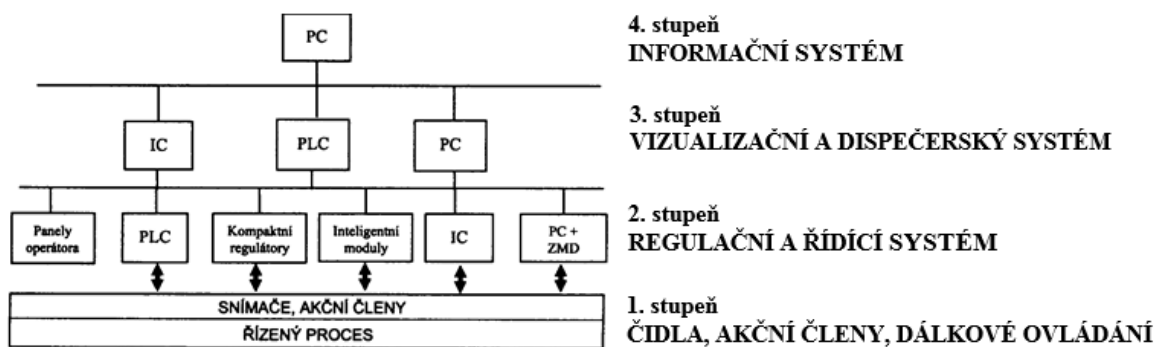


Obrázek 1: Algoritmus pro konstrukci robota [9]

2 SENZORIKA

2.1 Systémy integrované automatizace

Systém integrované automatizace (SIA) je systém zpracování a vyhodnocování vstupů, které jsou určovány parametry příslušného technologického procesu. Na základě vstupů potom systém nebo operátor může upravit snímaný parametr procesu. Vazbou mezi technologickým zařízením a samotným systémem automatizace jsou senzory. [1]



Obrázek 2: Schéma SIA [1]

Technologický proces může být ovlivňován těmito hlavními parametry:

- Teplota
- Průtok
- Tlak
- Výška hladiny
- Dráha
- Čas
- Rychlost
- Otáčky
- Výkon

Každý z těchto parametrů má přidělenou jednotku z mezinárodního měřicího a jednotkového systému. [1]

Je žádoucí, aby bylo snímáno co nejvíce informací o procesu. Majitel procesu tak může ovlivňováním jednotlivých veličin postupně zdokonalovat efektivitu spolu s kvalitou výstupu a zároveň snižovat celkové náklady. [1, 8]

2.2 Senzory

Senzor je element, který je přímo ovlivňován měřenou veličinou. Měřená veličina potom v senzoru generuje měřitelnou změnu. Tyto změny mohou být charakteru:

- Mechanického
- Elektrického
- Optického
- Chemického [8]

2.3 Senzorika mobilních robotů

Pod sensorikou mobilních robotů si můžeme představit soustavu interních a externích senzorů robota, které podávají aktuální informace jak o parametrech okolního prostředí, tak i informace o parametrech důležitých pro samotnou funkčnost robota. [8]

2.3.1 Interní senzory

Tyto senzory slouží ke snímání informací o jednotlivých subsystémech robota. Na základě zjištěných informací je pak řídicí systém schopný pomocí kinematického modelu vyhodnotit vliv těchto parametrů na chod robota. [8]

Nejčastěji se snímají parametry:

- Teplota
- Stav baterie
- Odezva robota
- Poloha
- Rychlost

Na základě snímání těchto parametrů se v řídicí jednotce vyhodnotí stav robota a porovná s předem danými mezními dovolenými stavy. [8]

2.3.2 Externí senzory

Tyto senzory podávají informace o okolí robota. Jsou děleny na aktivní a pasivní, kdy pasivní přijímají informace z okolí, zatímco aktivní vyzařují a následně i přijímají a vyhodnocují vlastní odražené záření. [8]

2.3.2.1 *Taktilní senzory*

Jedná se o kontaktní provedení senzoru. Senzor je opatřen kontaktním snímačem, který se sepne/rozepne při jeho aktivaci. Aktivací snímače se rozumí náraz do překážky, při které dojde ke změně logické úrovně senzoru a signál se přenesse do řídicí jednotky. [8]

2.3.2.2 *Infračervený detektor překážek*

K detekování překážek v blízkém okolí robota slouží infračervený detektor. Blízkým okolím robota se rozumí vzdálenost do 10 cm. Detektor emituje infračervené záření, nejčastěji kolem vlnové délky 880 nm, které později snímá při odražení od překážky. Nevýhodou této technologie je závislost množství odraženého světla na barvě a povrchu překážky. [8]

2.3.2.3 *Sonar*

Na rozdíl od IR senzorů, sonar je založen na akustickém principu měření. Při používání této technologie se na základě doby mezi vysláním a příjmem akustického signálu měří vzdálenost od překážky.

Sonar má oproti senzorům založeným na světelném principu výrazně vyšší dobu mezi vysláním a příjmem signálu. Je to způsobeno pomalejším šířením zvuku v prostředí. Na druhou stranu je schopen dosáhnout relativně vysoké přesnosti měření. [8]

Problémy při používání sonaru:

1. Velký rozptyl signálu

Překážka se nedá detekovat přesně, rozptyl vysílaného signálu nedokáže určit její jednoznačnou úhlovou polohu. [5]

2. Křížový odraz

Vzniká při použití více sonarů při jednom měření, akustické vlny se potom kříží a sonar nedokáže rozeznat, který signál je správný. Může způsobovat relativně velké chyby. [5]

3. Zrcadlový odraz

Při dopadu akustického signálu na relativně hladkou plochu se může část signálu odrazit pryč, což následně zkresluje měření. [5]

4. Teplota prostředí

Teplota prostředí má vliv na rychlost akustického vlnění. Při změně teploty proto může výpočet vzdálenosti vykazovat určitou chybu. [5]

3 KROKOVÝ MOTOR

Krokový motor je nespojitý rotační nebo lineární pohon, který je charakteristický tím, že dokáže s vysokou přesností zaujímat určitý počet definovaných poloh. Polohy jsou od sebe vzdáleny o velikost kroku, který se udává ve stupních. Číslicové řízení krokových motorů předurčuje, že se v praxi využívají pro řízení vysoce citlivých strojů v širokém spektru odvětví: [8]

- Informační technologie – tiskárny, čtečky, polohování hlaviček disků
- CNC stroje – frézky, soustruhy
- Manipulátory
- Letecký průmysl

3.1 Základní pojmy

Rotor

Pohyblivá část motoru. [11]

Stator

Statická část motoru. [11]

Krok

Změna polohy krokového motoru po jednom řídicím impulzu. Vykonává pohyb z jedné klidové polohy do nejbližší druhé klidové polohy. Udává se ve stupních. [7]

Velikost kroku

Úhel, který je pro každý typ krokového motoru konstantou. Je dán konstrukcí motoru. [7]

$$\delta = \frac{360}{n} \quad (1)$$

Kde δ Krok motoru $[\circ]$

n Počet kroků motoru na otáčku $[-]$

Magnetická klidová poloha

Poloha, při které na rotor nepůsobí žádná magnetická zátěž. Je ideálně synchronizovaný s indukčním polem statoru. [6]

Statický vazební moment

Moment, kterým lze působit na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru, aniž by došlo k vychýlení jeho polohy. [6]

Statický moment motoru

Je moment, který je potřeba vyvinout k vychýlení rotoru z magneticky klidové polohy. Velikost statického momentu se dá vyjádřit tímto vztahem: [6]

$$M_s = M_{sv} \cdot \sin\left(\left(\frac{\pi}{S}\right)\theta\right) \quad (2)$$

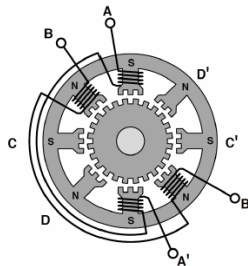
Kde	M_s	Statický moment	[Nm]
	M_{sv}	Statický vazební moment	[Nm]
	S	Úhlový krok motoru v radiánech	[rad]
	θ	Natočení hřídele	[rad]

3.2 Dělení

3.2.1 Reluktanční krokové motory

Činnost tohoto typu krokového motoru je založena na změnách reluktance (magnetického odporu) magnetického obvodu stroje při otáčení rotoru. Stator je tvořen protilehlými cívkami, které dohromady tvoří jednu fázi. [7]

Při převedení napětí z cívek A-A' na cívkou B-B' se zvyšuje reluktance u cívek A-A' a snižuje u cívek B-B'. Rotor tedy hledá magneticky klidovou polohu, ve které je reluktance minimální a po změně fází se nachází na cívkách B-B'. Rotor se tedy posune o jeden krok. [6]



Obrázek 3: Schéma krokového motoru [17]

3.2.2 Krokové pohony s aktivním rotorem

Liší se tím, že mají v rotoru umístěné permanentní magnety, které tvoří póly. Jejich počet je poloviční než na obvodu statoru.

Nejrozšířenějším konceptem tohoto typu krokového motoru je hybridní motor. [6]

3.3 Hybridní krokový motor

Hybridní motor je tedy nejrozšířenějším typem krokového motoru. Má hřídel z nemagnetické oceli a na ní nalisovaný axiálně polarizovaný permanentní magnet, nacházející se mezi dvěma pólovými nástavci, které jsou složeny z plechu. Každý nástavec je jinak polarizován a vzájemně jsou pootočený o polovinu zubové rozteče.

Stator je u tohoto typu tvořen svazky, které jsou také umístěny po jeho obvodu. Jsou opatřeny zuby, které mají stejný tvar jako zuby rotoru. Kostra statoru je magneticky vodivá. [6]

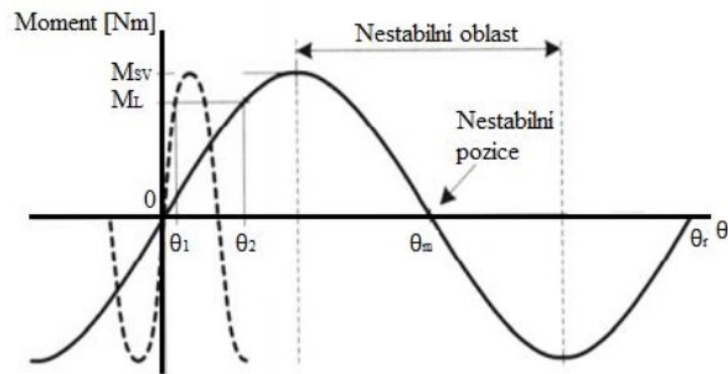
3.3.1 Princip hybridního krokového motoru

Fáze se ve statoru spínají podle řídicích impulsů v předepsaném pořadí. Na základě tohoto pořadí jsou potom zuby rotoru přitahovány k jednotlivým zubům cívky a nastává tak rotační pohyb. [6]

3.4 Charakteristiky krokového motoru

3.4.1 Statická momentová charakteristika

Statická momentová charakteristika je závislost odklonu hřídele motoru od její rovnovážné polohy na krouticím momentu zátěže. Na grafu 1 můžeme vidět průběh statické momentové charakteristiky. Pro ideální krokový motor vykresluje křivka sinusový tvar. Strmost této křivky určuje velikost kroku motoru. Čím je krok menší, tím se poloha hřídele rychleji ustálí do rovnovážné polohy, což se projeví na lepších tlumících účincích mechanických oscilací rotoru. [8]

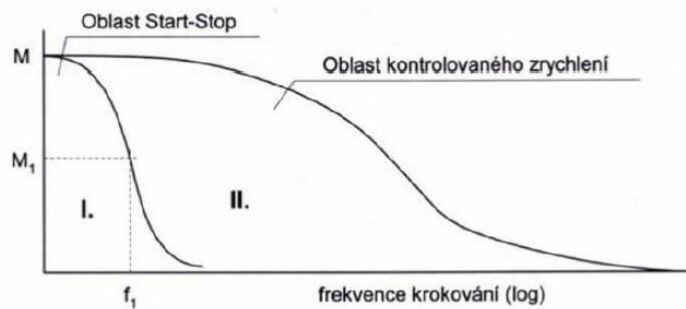


Graf 1: Průběh statické momentové charakteristiky dvou motorů s rozdílnou velikostí kroku [8]

Na grafu můžeme vidět, že obě hřídele motorů s rozdílným krokem jsou zatíženy kroutícím momentem M_L , ale každá se vychýlí o jiný úhel θ_1 a θ_2 . M_{SV} je statický vazební moment motoru. [8]

3.4.2 Momentová charakteristika

Momentovou charakteristiku chápeme jako závislost velikosti kroutícího momentu na frekvenci otáček (kroků), jak je vidět na grafu 2.



Graf 2: Momentová charakteristika motoru [8]

Dělí se na dvě oblasti. V oblasti I., nazývané jako rozběhová oblast, jsou zahrnuty všechny stavy krokového motoru při připojení impulsů bez ztráty kroku. Dokážeme z ní vyčíst, jakou frekvenci f_1 můžeme přivést na krokový motor při působení zatěžovacího momentu M_1 .

Oblast II. se nazývá provozní, dosáhne se jí plynulým zvyšováním řídicí frekvence. [8]

3.5 Řízení krokových motorů

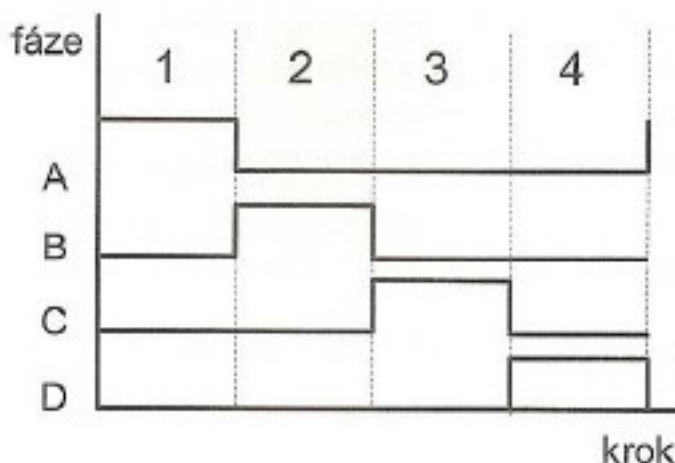
Jak již bylo zmíněno výše, krokové motory fungují na principu změny signálu přiváděného na póly statoru. Řízení krokového motoru tedy závisí na algoritmu volení polarizovaného článku a frekvence změny těchto pólů. [8]

Na základě tohoto principu, tedy pro řízení krokových motorů, využíváme tyto základní způsoby:

- Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze
- Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází
- Osmitaktní řízení
- Mikrokrokování [8]

3.5.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

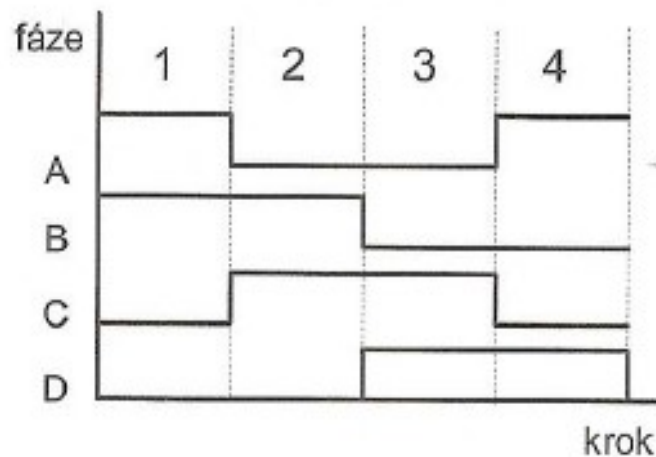
Pro otáčení motorů v podobě jednoho kroku je vždy zmagnetizována pouze jedna fáze. Po ustálení rotoru v ustálené poloze je převedena fáze na další cívku, která opět provede pootočení. V praxi to vypadá tak, že se napětí plynule pohybuje po cívkách A,B,C,D, kdy se vždy při vypnutí fáze na jedné cívce zapne fáze na druhé, která způsobí další krok. Takto pokračuje postupně dál s tím, že po cívce D jde napětí opět na cívku A. Změny smyslu otáčení se dosáhne buzením cívek v opačném pořadí. [8]



Obrázek 4: Princip čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze [8]

3.5.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

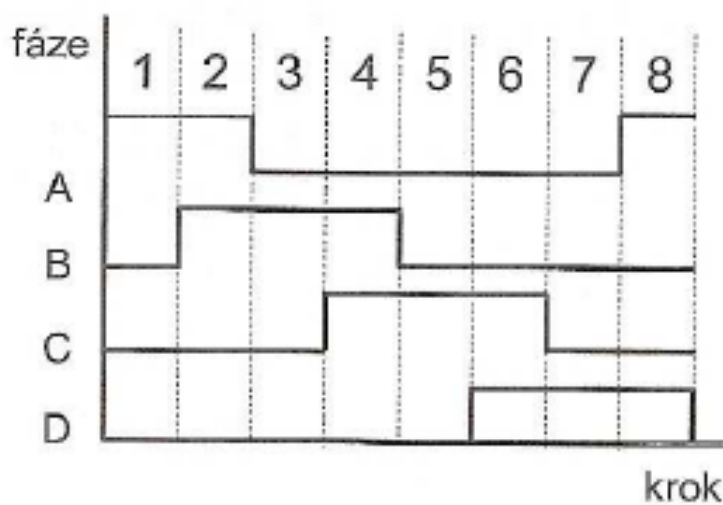
V tomto případě řízení probíhá polarizací dvou cívek, kdy se rovnovážná poloha rotoru nachází mezi nimi. Pro pohyb rotoru tedy fáze spínají AB-BC-CD-DA. Výhodou tohoto řízení je zvýšení statického vazebního momentu spojené s většími tlumícími účinky, které umožňují dosáhnout vyšších frekvencí. [8]



Obrázek 5: Princip čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází [8]

3.5.3 Osmitaktní řízení

Jedná se o spojení předchozích dvou způsobů, které se střídají. Dosáhneme tak dvojnásobného počtu kroků při stejném počtu budících cívek. [8]



Obrázek 6: Princip osmitaktního řízení [8]

4 ZVUK

Zvuk se dá charakterizovat jako časová změna hustoty, se kterou jsou spojeny také časové změny tlaku, teploty a polohy částic v prostředí. Zvuk je chápán ve vlnové formě. Na začátku této vlny je vždy nějaký vibrující objekt, který dává prostředí impuls, díky kterému se částice rozkmitají. [5]

Zvuk je jedním z nejdůležitějších dorozumívacích kanálů mezi lidmi. Využívá se jako:

- Prostředek na dorozumívání
- Prostředek k varování
- Pro relaxaci
- Kvantitativní a kvalitativní hodnocení stavu [3]

Pohybuje se ve frekvencích od jednotek Hz po desítky tisíc Hz. Pro lidské ucho je slyšitelné spektrum od 16 Hz do 20 kHz. Vibrace, které se pohybují pod slyšitelným spektrem, se nazývají infrazvuk a vibrace, které jsou naopak nad slyšitelným spektrem, se nazývají ultrazvuk. [4]

4.1 Měření a hodnocení zvuku

Zvuk se ve volném prostředí šíří pomocí tlakových změn vyvolaných díky zvukovým vlnám, proto jej nejlépe charakterizuje veličina p_{ef} , což je efektivní hodnota tlaku.

Z důvodu velkého rozsahu v řádech měřených tlaků při pohybu zvukové vlny prostorem se používá namísto standardní lineární stupnice logaritmická. Pro hodnocení hladiny zvuku byla zvolena hodnota 1 bel, tato jednotka je však pro praxi stále příliš veliká, používá se tedy její desetina, decibel [dB]. [4]

4.1.1 Hladina akustického tlaku

Sound pressure level (SPL) je volně přeložitelné jako hladina akustického tlaku.

$$SPL = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0} = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (3)$$

Kde	SPL	Hladina akustického tlaku	[dB]
	P	Naměřený tlak	[MPa]
	P_0	Referenční tlak	[MPa]

Hodnota akustického tlaku je charakterizována jako desítkový logaritmus poměru hodnot, kde v čitateli je naměřený tlak P a ve jmenovateli tlak referenční P_0 . [4]

4.2 Šíření zvuku

Šíření zvuku v určitém prostředí je pod vlivem mnoha činitelů, které v daný okamžik působí v reálném prostředí. Jsou to veličiny jako:

- Rychlost větru
- Tlak
- Hustota prostředí [3]

4.2.1 Odpor vzduchu

Je to soubor veličin, které zpomalují nebo ovlivňují šíření zvuku v prostředí. Různá prostředí mají různou velikost odporu. Při přechodech z jednoho prostředí do druhého nastává situace, kdy je zachována frekvence, ale mění se rychlost c spolu s amplitudou. [3]

4.2.2 Rychlost šíření zvuku

Rychlost šíření zvukových vln v různých prostředích se značí c . [3]

$$c = k \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4)$$

Kde: c	Rychlost šíření vln	$[m \cdot s^{-1}]$
k	Konstanta	$[-]$
E	Modul pružnosti v prostředí	$[kg \cdot m^{-1} s^{-2}]$
ρ	Hustota prostředí	$[kg \cdot m^{-3}]$

V následujících tabulkách je uvedena hodnota c ve vybraných kapalinách a plynech. Můžeme vidět, že se zvyšující se hustotou prostředí se zároveň snižuje rychlost zvuku, naopak odpor roste. [3]

Rychlost zvuku v kapalinách	[m.s ⁻¹]
Látka	Rychlost
Aceton	1174
Benzin	1170
Etanol	1207
Metanol	1103
Rtuť	1450
Voda destilovaná	1481
Voda jezerní	1450
Voda mořská	1500

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku v kapalinách [3]

Rychlost zvuku v plynech	Hustota [kg.m ⁻³]	Rychlost [m.s ⁻¹]	Odpor [Pa.s.m ⁻¹]
Vzduch	1,21	344	414
Oxid uhličitý	1,98	258	512
Oxid uhelnatý	1,25	337	420
Vodík	0,09	1270	114
Dusík	1,25	336	420
Kyslík	1,43	317	455
Vodní pára	0,57	405	235

Tabulka 2: Rychlost šíření zvuku v plynech. [3]

5 PŘEVODY S OHEBNÝMI PŘEVODOVÝMI ČLENY

Převody s ohebnými převodovými členy jsou používány zejména v zařízeních, kde je potřeba přenos výkonu na velké vzdálenosti. V těchto situacích nahrazují ozubené převody a značně tak ulehčují konstrukci zařízení za vynaložení nižších nákladů. Velkou výhodou těchto elementů oproti převodům s ozubenými koly je, že díky své délce a pružnosti dokáží minimalizovat rázová zatížení a tlumit kmitání hnacího stroje, což se výrazně projeví na životnosti hnaného stroje. Nevýhodou je jejich omezená životnost, kolísající převodový poměr, velká citlivost na provozní podmínky a dále se při jejich použití musí použít napínací zařízení, které působí zatěžovací silou na obě hřídele a jejich ložiska. [9, 10]

5.1 Dělení

5.1.1 Převody s plochými členy

Převod je uskutečněn uzavřeným pásem obdélníkového průřezu, jedná se o převod s třecí vazbou. Aby třecí vazba dokázala přenášet výkon, musí být dosaženo dostatečně velkého součinitele tření. Toho se dosáhne použitím těchto materiálů:

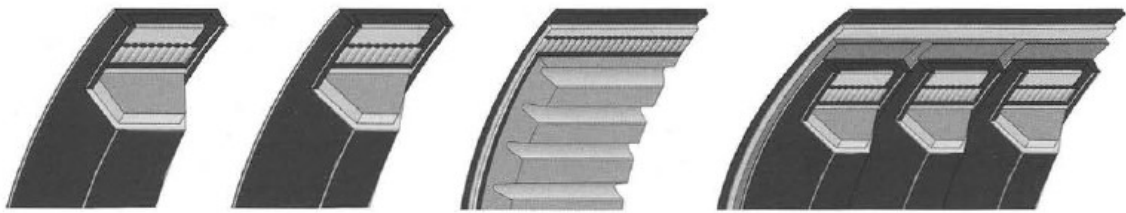
- Polyamidová vlákna
- Polyesterová vlákna
- Impregnovaná pryž

Tyto typy převodů jsou vhodné pro přenos výkonu na velké vzdálenosti. Jejich účinnost je kolem 98 %, jsou velice tiché a dokáží lépe tlumit torzní kmitání. Mohou dosáhnout obvodové rychlosti až 120 ms^{-1} . [9, 10]

5.1.2 Převody klínovým řemenem

Jde o další případ převodu s třecí vazbou. Jsou vyráběny jako uzavřené pryžové pásy lichoběžníkového průřezu, které jsou normalizovány. Existují ve čtyřech základních provedeních:

- Klasické
- Úzké
- Variátorové
- Polyklínové



Obrázek 7: Klínové řemeny, zleva klasický, úzký, variátorový, polyklínový [9]

Podle ISO 4184:1992 jsou vyráběny řemeny klasického průřezu v sedmi velikostech a to Y, Z, A, B, C, D, E. Úzké řemeny jsou při stejné velikosti průřezu jako klasické schopny přenést o 50-100 % více výkonu a snižuje se tak množství použitých řemenů. Vyrábí se ve velikostech SPZ, SPA, SPB a SPC.

Při větších rychlostech může docházet k velkému chvění a nejsou vhodné k přenášení výkonu na velké osové vzdálenosti. Účinnost tohoto typu se pohybuje mezi 70-96 %. [9, 10]

5.1.3 Synchronní řemenové převody

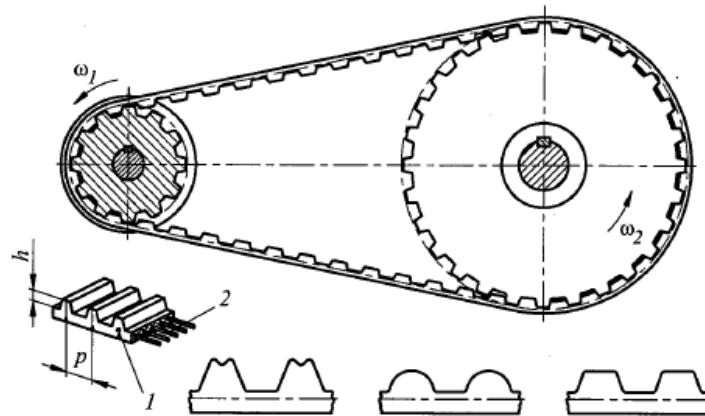
U tohoto případu je výkon přenášen pomocí tvarového styku mezi řemenicí a řemenem. Díky tomu se může dostat až na účinnost 99 %, má tedy prakticky nulový skluz a obě řemenice se otáčejí stejnou rychlostí, mají tedy konstantní převodový poměr. [9]

Řemen je tvořen z ochranné, tažné a stykové vrstvy. Styková vrstva je tvořena tvarovými prvky, které přenáší obvodovou sílu řemenice, podle ní se řemeny dělí:

- Lichoběžníkové
- Parabolické
- Speciální

Stykové vrstvy řemenu jsou vyrobeny z neoprenového kaučuku nebo polyuretanu.

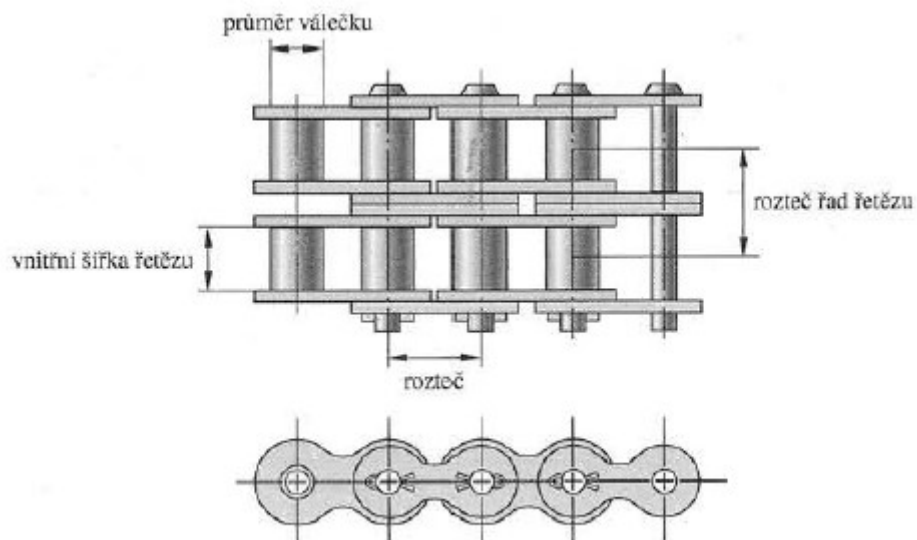
Synchronní řemenové převody můžeme vidět na obrázku 5. V dolní části obrázku jsou znázorněny typy zubů, Při čtení zleva se jedná o speciální, parabolický a lichoběžníkový. Charakteristickým znakem řetězu je výška zubu h a rozteč p . [9]



Obrázek 8: Synchronní řemenový převod: 1) ochranná vrstva, 2) tažná vrstva
[10]

5.1.4 Řetězové převody

K přenosu obvodové síly dochází tvarovým stykem, nedochází tak ke skluzu a převodový poměr je konstantní. Nejčastějším typem řetězu je řetěz válečkový. Válečkový řetěz je tvořen vnitřními a vnějšími články, které jsou spojeny čepy nalisovanými ve vnějších člancích, které se otáčejí. Velikosti válečkových řetězů jsou normalizovány. [9, 12]



Obrázek 9 Schéma válečkového řetězu [9]

U řetězových převodů není důležité vysoké předpětí, ložiska a hřídele jsou tedy méně namáhány. Řetězové převody mohou pracovat v náročných podmínkách a dosahují účinnosti až 98 %. [10]

5.2 Základní výpočtové vztahy

5.2.1 Převodový poměr

Charakteristikou převodu je nejčastěji rozdíl veličin na vstupu a výstupu. Tento rozdíl se nazývá převodový poměr, jenž je bezrozměrná veličina a značí se i . Dá se vyjádřit těmito vztahy. [3, 13]

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\frac{\pi \cdot n_1}{30}}{\frac{\pi \cdot n_2}{30}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d_1}}{\frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d_2}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\frac{2 \cdot M_{k2}}{F}}{\frac{2 \cdot M_{k1}}{F}} = \frac{M_{k2}}{M_{k1}} \quad (5)$$

Kde:	i	Převodový poměr	[-]
	v	Převodová rychlost	[mm · min ⁻¹]
	n	Otáčky	[s ⁻¹]
	d	Průměr hnacího nebo hnaného kola	[mm]
	F	Obvodová síla	[N]
	M_k	Kroutící moment	[N · mm]
	ω	Obvodová rychlost	[rad · s ⁻¹]

5.2.2 Osová vzdálenost řemenic a délka řemene

Při výpočtu osové vzdálenosti a délky řemene nejdříve určíme předběžnou osovou vzdálenost a ze vztahu. [14]

$$a = (0,7 \dots 2) \cdot (d_1 \cdot d_2) \quad (6)$$

Kde	a	Osová vzdálenost řemenic	[mm]
	d_1	Průměr malé řemenice	[mm]
	d_2	Průměr velké řemenice	[mm]

Následně hodnotu dosadíme do vztahu pro výpočet délky řemene. [9]

$$L_p = 2a + \frac{\pi \cdot (d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} \quad (7)$$

Kde	L_p	Délka řemene	[mm]
	a	Osová vzdálenost řemenic	[mm]

d_1 Průměr malé řemenice [mm]

d_2 Průměr velké řemenice [mm]

Z tabulek [14] vybereme nejbližší vyšší hodnotu a tu dosadíme do vztahu pro výpočet skutečné osové vzdálenosti. [14]

$$a = 0,25[(L - p) + \sqrt{(L - p)^2 - 8q}] \quad (8)$$

Kde a Osová vzdálenost řemenic [mm]

L Délka řemene [mm]

$$\text{koeficient } p = \frac{\pi \cdot (d_1 \cdot d_2)}{2} \quad [-] \quad (9)$$

$$\text{koeficient } q = \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^2 \quad [-] \quad (10)$$

d_1 Průměr malé řemenice [mm]

d_2 Průměr velké řemenice [mm]

5.2.3 Úhel opásání řemenem malé řemenice

Jedná se o hodnotu, která udává kontaktní plochu malé řemenice a řemene v úhlové souřadnici. Závisí na rozdílu průměrů řemenic a osové vzdálenosti a . [14]

$$\beta = 180^\circ - 2\gamma \quad (11)$$

Kde β Úhel opásání [°]

$$\gamma = \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2a} \quad [^\circ]$$

a Osová vzdálenost řemenic [mm]

d_1 Průměr malé řemenice [mm]

d_2 Průměr velké řemenice [mm]

6 LOŽISKA

Ložisko je normalizovaná strojní součást, která slouží k uložení elementů pro přenos otáčivého pohybu, jako jsou hřídele nebo čepy. Funkcí ložisek je snižování tření vyvolávaného otáčivým pohybem a přenos radiálních a axiálních silových účinků, které vznikají při chodu stroje.

Dle konstrukce dělíme ložiska na kluzná a valivá. [9, 15]

6.1 Kluzná ložiska

Jsou konstrukčně jednodušší než ložiska valivá, používají se v řešeních, kde se vyskytuje zatížení rázy, je vyžadován tichý chod nebo se nacházejí v náročných prostředích. Zatížení se přenáší celou plochou. Tření vyvolávané otáčivým pohybem hřídele je tedy ovlivněno hlavně těmito činiteli:

- Kvalita povrchu
- Materiály
- Obvodová rychlost hřídele
- Provozní teplota

Mezi jejich nevýhody patří:

- Časté mazání
- Větší délka a s ní spojené dodržení tolerance po celé délce ložiska a hřídele
- Jsou nevhodné pro přerušovaný chod, při rozběhu a doběhu pracují v oblasti suchého tření [15, 16]

6.1.1 Materiály

Materiál kluzných ložisek se volí dle požadavků na životnost, zatížení, teplotu, otěruvzdornost a otáčky hřídele. Neexistuje materiál, který by dokázal spolehlivě pokrýt všechny tyto skutečnosti, volí se proto varianta optimalizovaná pro daný typ a účel stroje. Jsou to většinou měkkí materiály s nízkým koeficientem tření. [13, 16]

6.1.1.1 Kompozitní

Materiál do teplot okolo 100 °C, spolehlivě snáší rázy a vysoké rychlosti a vyznačuje se dobrou smáčivostí vodou, nicméně nemá moc vysokou únosnost p_{max} a nízkou tepelnou vodivost, musí být tedy chlazen. [15, 16]

$$p_{max} \cong 40 \quad (12)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.1.2 Slitiny mědi

Hlavními zástupci v této kategorii jsou bronz a mosaz. Jsou vhodné pro vysoké dynamické zatížení s rázy. Snáší teploty až do 250 °C. Jsou velmi tvrdé, čepy proto musí být vytvrzeny na tvrdost alespoň 250 HB. [16]

$$p_{max} \cong 50 - 120 \quad (13)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.1.3 Slitiny hliníku

Tvrdé, snadno obrobitelné materiály pro velká rázová zatížení, používají se při nízkých otáčkách. [15], [16]

$$p_{max} \cong 40 \quad (14)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.1.4 Spékané kovy

Materiály pro samomazná ložiska. Při spékání kovů vznikne pórovitá struktura, která se nasytí mazivem. Jsou vhodné pro nízká zatížení a nízké otáčky, mají malou únosnost. Teplota by u tohoto typu neměla přesáhnout 70 °C. [15, 16]

$$p_{max} \cong 35 \quad (15)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.1.5 Šedá litina

Levný materiál pro nenáročné aplikace s malými rychlostmi a zatížením. Je choulostivá na špatné mazání. [15, 16]

$$p_{max} \cong 5 \quad (16)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.1.6 Plasty

Nejčastěji jsou používány polymerní materiály jako PA nebo PTFE, hlavně pro své kluzné a otěruvzdorné vlastnosti. Jsou vhodné pro bezmazná ložiska, mohou být použita i v aplikacích, kde je agresivní prostředí. [16]

$$p_{max} \cong 2 \quad (17)$$

Kde p_{max} Maximální měrný tlak [MPa]

6.1.2 Výpočet

Kluzná ložiska jsou dimenzována tak, aby byly schopny pracovat po co největší časové období v optimálním režimu tření a danou spolehlivostí. Základní rozměry ložisek se dají určit ze vztahu:

$$p = \frac{F}{d \cdot l} \quad (18)$$

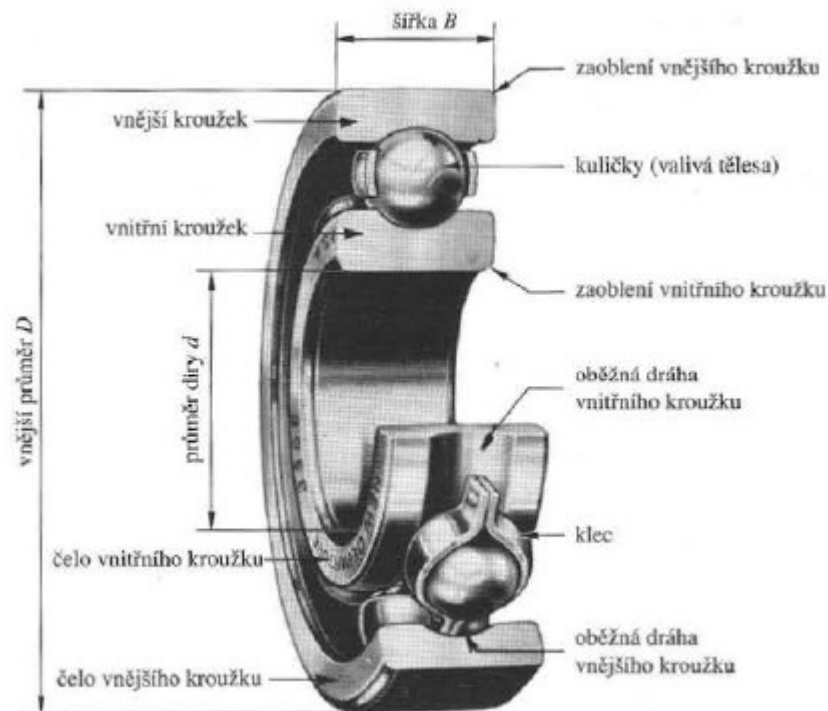
Kde	F	Zatěžující síla	[N]
	l	Délka ložiska	[mm]
	d	Průměr hřídele	[mm]
	p	Měrný tlak	[MPa]

Z uvedeného vztahu se při známém dovoleném napětí zvoleného materiálu a zatěžující síle vypočítají základní rozměry ložiska. [13]

6.2 Valivá ložiska

Jsou založeny na principu minimalizace tření pomocí valivých tělísek ve tvaru koule, válce, kužele, jehly nebo soudečku. Tělíska jsou držena v požadované poloze pomocí klece. Nahrazuje se zde smykové tření třením valivým. Oproti kluzným ložiskům mají větší účinnost,

je možná kratší délka ložiska a nejsou tak náročné na údržbu. Jsou dostupné v normalizovaných řadách. [16]



Obrázek 10: Valivé ložisko [9]

6.2.1 Druhy valivých ložisek

Valivá ložiska lze dělit podle následujících vlastností.

6.2.1.1 Podle zatěžující síly

- Radiální
- Axiální
- Kombinované [9]

6.2.1.2 Podle styku s oběžnou drahou ložiska

- S bodovým stykem
- S křivkovým stykem [13]

6.2.1.3 Podle tvaru valivých tělísek

- Kuličková

- Soudečková
- Válečková
- Jehlová
- Kuželíková [9]

6.2.2 Výpočet

Ložiska se dimenzují podle doby, po kterou chceme, aby bylo ložisko funkční a zatížení, kterým na něj chceme působit. Tato trvanlivost se dá vyjádřit jako počet otáček, po které je schopno ložisko fungovat bez známek únavy materiálu. [13]

$$L_n = \left(\frac{C}{F_v}\right)^m \quad (19)$$

Kde	L_n	Základní trvanlivost v otáčkách	[mil. otáček]
	C	Základní dynamická únosnost	[N]
	F_v	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska	[N]
	m	Pro bodový styk $m = 3$, pro přímkový styk $m = 10/3$	[-]

Pro převod na provozní hodiny se používá vztah:

$$L_h = \frac{L_p \cdot 10^6}{3600 \cdot n} \quad (20)$$

Kde	L_h	Trvanlivost v hodinách	[hod.]
	n	Otáčky za sekundu	[s ⁻¹]

Pro výpočet trvanlivosti je potřeba zjistit dynamické ekvivalentní zatížení, které působí na ložisko. Vypočítá se z tohoto vztahu:

$$F_v = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (21)$$

Kde	F_v	Dynamické ekvivalentní zatížení	[N]
	X	Součinitel radiálního zatížení	[-]
	F_r	Radiální zatížení	[N]
	F_a	Axiální zatížení	[N]
	Y	Součinitel axiálního zatížení	[-]

Součinitelé X, Y se stanovují z katalogů použitých ložisek. [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

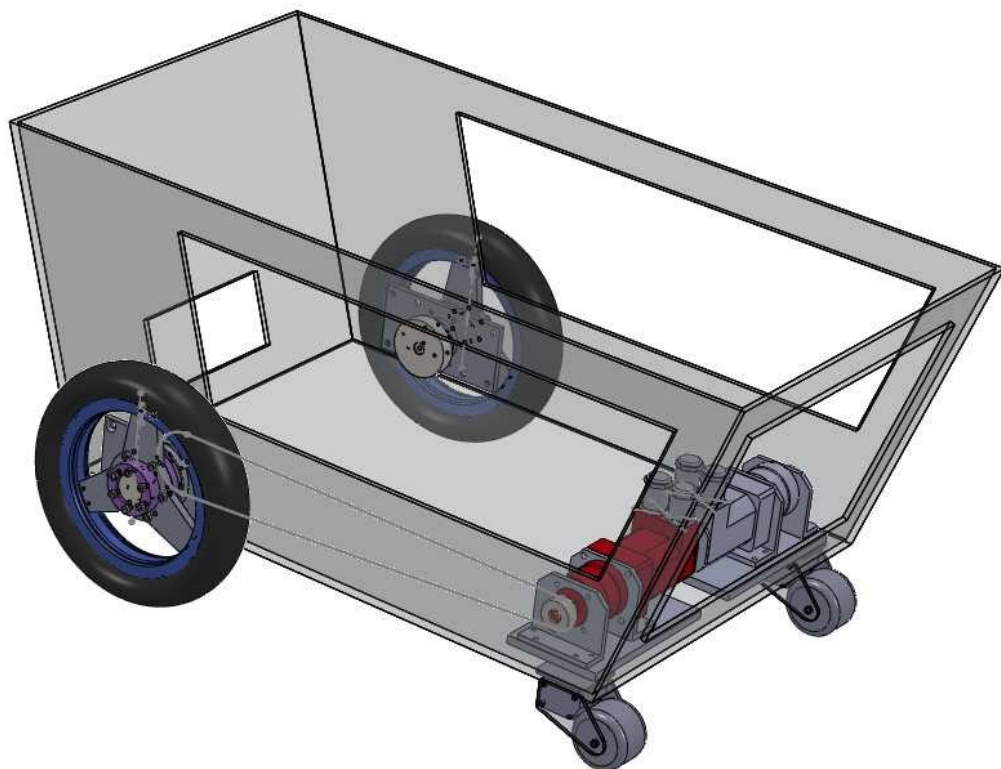
7 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Cílem této práce je navrhnout konstrukci pro uchycení akusticko-elektronických komponentů na mobilního robota v 3D modelovacím programu Solidworks 2019 od firmy Dassault Systemes, včetně vypracování výkresové dokumentace v programu Drafisight.

Pomocí této konstrukce bude robot schopen nést mikrofon a reproduktor, které budou pracovat na principu sonaru. Pro správnou funkci bude potřeba při modelování dodržet tyto prvky:

- Pro minimalizaci přenosu rušivých signálů musí být konstrukce uchycena k podvozku pomocí pružného spojení.
- Mikrofon s reproduktorem musí být umístěny rovnoběžně s povrchem.
- Konstrukce musí mít prostor pro umístění elektrických komponentů.

Pro konstrukci z důvodu úspory nákladů a práce bude použito co nejvíce nakupovaných nebo normovaných dílů. Konstrukce bude namáhána pouze vlastní vahou.



Obrázek 11: Mobilní robot

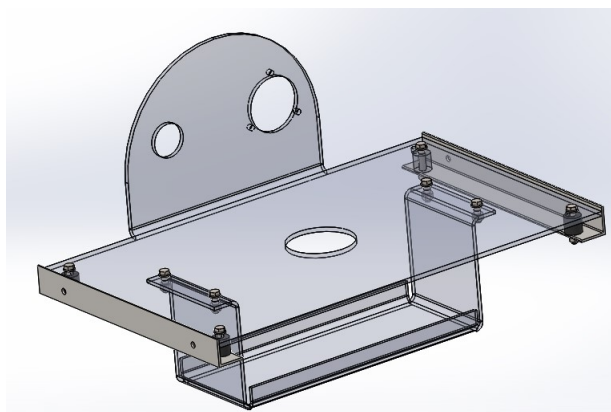
8 NÁVRH ŘEŠENÍ

Při konzultacích se zadavatelem bylo zjištěno, že pro současnou aplikaci bude stačit statická konstrukce, která bude zaujímat pouze jednu polohu a robot bude snímat pouze okolí před sebou, nicméně v budoucnu uvažují nad variantou otočné konzole, kde by robot mohl snímat ve větším rozpětí.

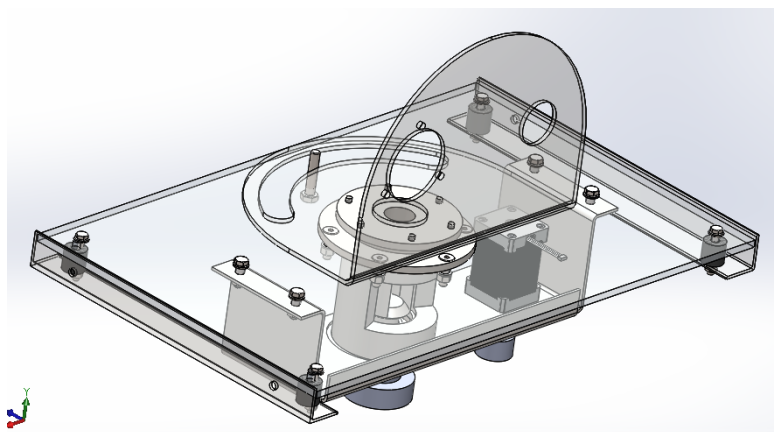
Byly navrženy dvě varianty konstrukce. První varianta je obyčejná statická konstrukce, se kterou bude robot moci snímat pouze prostor před sebou. Součástí této konstrukce je i konzole pro elektronické komponenty, upevněna ze spodu nosné desky.

Jako druhá varianta byla navržena otočná konzole, která bude schopna snímat prostor před robotem v rozsahu 120° . Je konstrukčně mnohem náročnější, obsahuje převodový mechanismus s krokovým motorem a otočnou hřídel.

Obě varianty budou umístěny na L-profilech se silentbloky, které budou připevněny k rámu robota.



Obrázek 12: Varianta 1



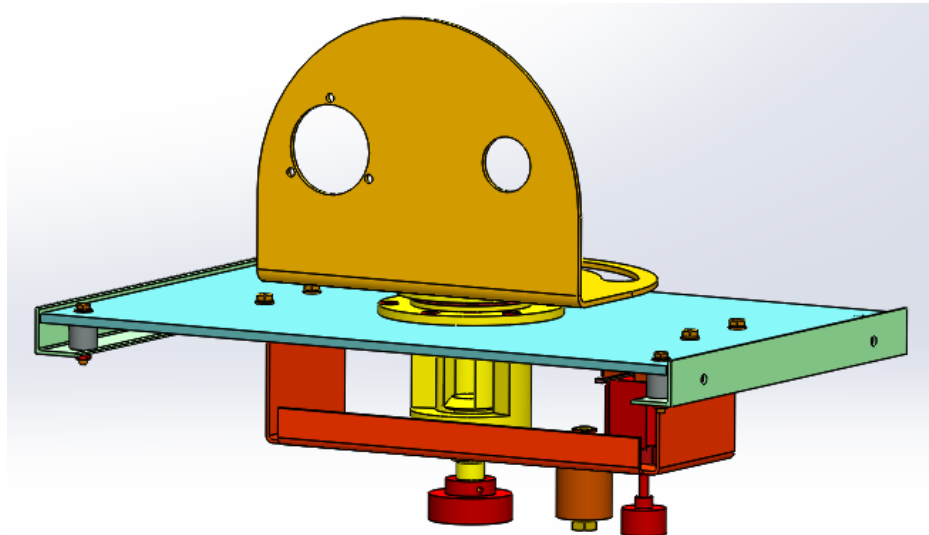
Obrázek 13: Varianta 2

Po důkladném zvážení a konzultacích se zadavatelem byla vybrána varianta číslo dvě, a to z toho důvodu, že i ta je schopna snímat pouze prostor před sebou a zároveň se bude moci dle potřeb zadavatele přejít na jiný systém snímání.

9 POPIS KONSTRUKCE

Konstrukci můžeme rozdělit na tři základní subsystemy:

- Nosný subsystem (světle modrá)
- Otočný subsystem (žlutá)
- Pohonný subsystem (červená)



Obrázek 14: Sestava konstrukce

Všechny tyto části jsou spolu spojeny standartními šroubovými spojeními složenými z:

- Šroub ISO 4017
- Šroub DIN 7991
- Podložka ISO 7089
- Podložka DIN 128
- Matice ISO 4032

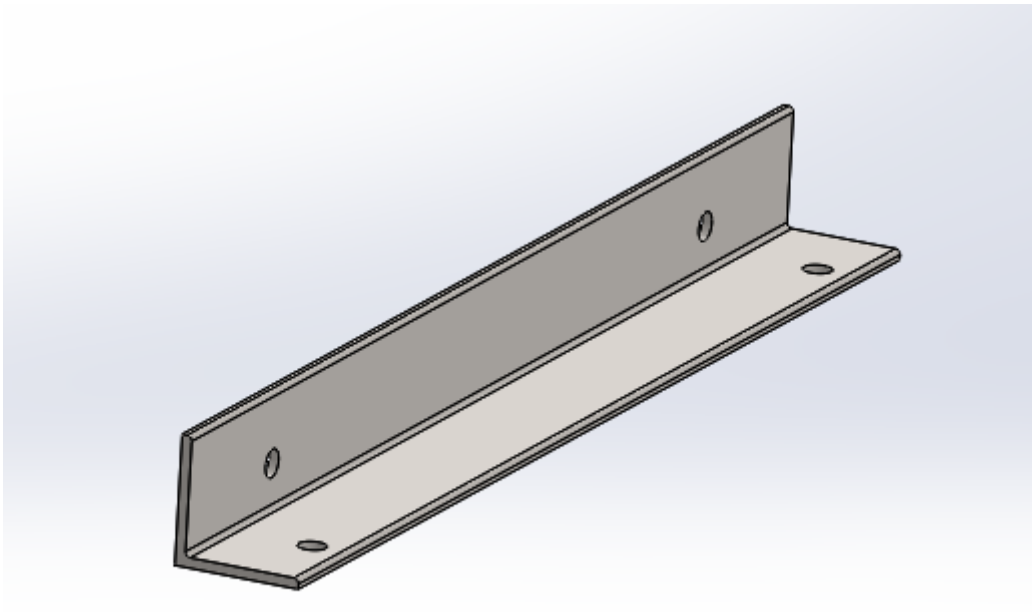
9.1 Nosná část

Konzole je uchycena na robota pomocí nosné desky ležící na silentblocích, které jsou uloženy na L-profilu a spojeny s rámem robota.

9.1.1 L-profil

Jako element pro upevnění na rám robota byl zvolen normalizovaný L-profil 25x25x2 z materiálu S235JR. Má v sobě vyvrtané čtyři otvory, dva jsou určeny pro uchycení silentbloků

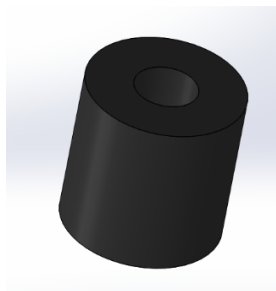
a zbylé dva jsou určeny pro uchycení k rámu. Otvory mají odlišnou rozteč, a to z toho důvodu, aby bylo možno prostrčit šroub pro tento spoj. Na celé sestavě jsou celkem dva kusy.



Obrázek 15: L-profil

9.1.2 Silentblok

Jako pružný element, který bude tlumit rázy přenášené podvozkem robota a nosnou deskou, je volen vyráběný silentblok, který bude mít vnitřní otvor o průměru 6 mm. Bude vytisknut na 3D tiskárně z materiálu RUBBER. Na sestavě jsou celkem čtyři kusy.

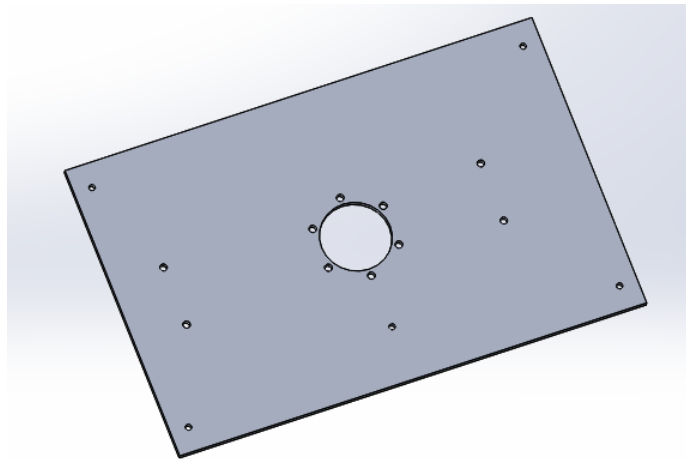


Obrázek: 16 Silentblok

9.1.3 Nosná deska

Nosná deska je stěžejní díl konstrukce. Je navržena tak, že jsou na ni uchyceny všechny ostatní komponenty. Jako materiál byla zvolena slitina hliníku EN AW 2017 - AlCuMg1 známá jako automatový dural. Tato slitina se vyznačuje velkou tvrdostí a vysokou pevností.

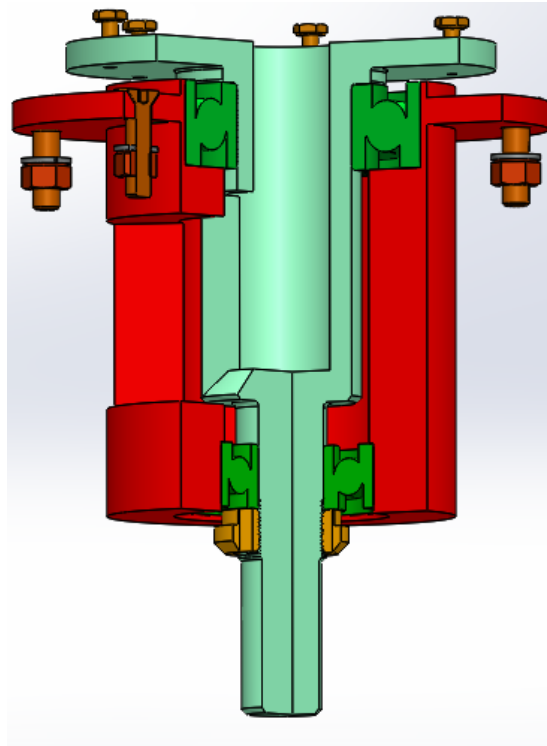
Uprostřed se nachází otvor pro přírubu, která tvoří těleso pro dutou hřídel. Uprostřed jsou čtyři otvory, které slouží k uchycení konzole pohonu, čtyři otvory umístěné po obvodu desky slouží pro uchycení přes pružné spojení. Na desce je také vyřezán závit pro doraz.



Obrázek 17: Nosná deska

9.2 Otočný subsystém

Jedním z požadavků na konstrukci bylo zajištění možnosti natáčení konzole s akustickými komponenty do různých směrů. Z tohoto důvodu byla vytvořena příruba (červená) s otočnou dutou hřídelí (modrá), která bude zajišťovat plynulý otočný pohyb. Je umístěná v ložiscích s kosoúhlým stykem (zelená) pro zajištění co nejmenší jak radiální, tak i axiální vůle. Ložiska jsou uložena v přírubě, jsou zajištěna ve vrchní části hřídelí a ve spodní části přítužnou maticí (žlutá). Přitažením přítužné matice se tak vymezuje vůle v obou ložiscích zároveň. Pro zaručení co nejpřesnějšího vymezení vůle na ložiscích je jak přítužná matice, tak dutá hřídel, opatřena závitem s jemným stoupáním M17x0,75.

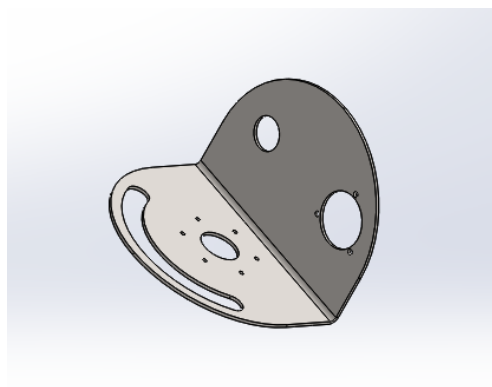


Obrázek 18: Sestava otočné části

9.2.1 Konzole akustických komponentů

Pro uchycení akustických komponentů byla navržena konzole z ohnutého plechu o síle 3 mm a z materiálu EN AW 2017 - AlCuMg1. Na konzoli se na jedné ohnuté polovině nachází otvor pro kabeláž, po jehož obvodu jsou rozmístěny otvory pro uchycení k otočné hřídeli. Na stejné straně se také nachází drážka pro doraz.

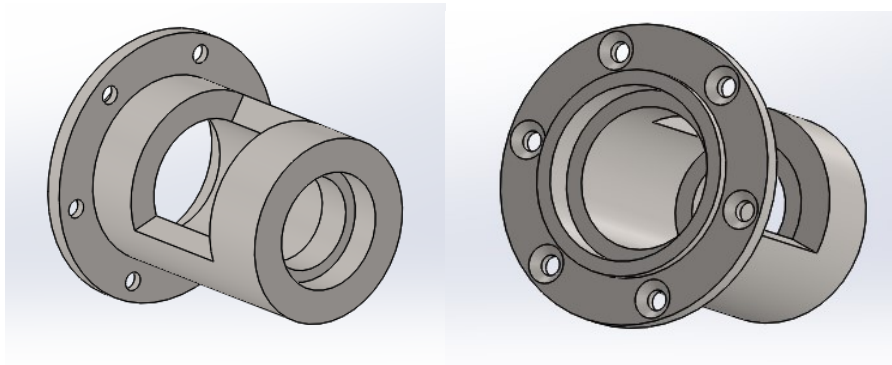
Na druhé straně konzole jsou vytvořeny přípojovací otvory pro mikrofon a reproduktor.



Obrázek 19: Konzole akustických komponentů

9.2.2 Příruba

Příruba je umístěna v nosné desce. Z důvodu kolize standartních šroubů s připevněnou konzolí byly pro uchycení použity zápusťné šrouby M5x25, DIN 7991. Na obou koncích jsou v přírubě vysoustruženy plochy pro ložiska, ve kterých bude uložena dutá hřídele. Úložné plochy pro ložiska jsou v toleranci H9. Vyfrézované okno v přírubě bude sloužit pro vstup kabeláže do duté hřídele. Bude vyrobena z materiálu S235JR.



Obrázek 20: Příruba pro uložení hřídele

9.2.3 Ložiska

Pro co nejmenší jak radiální, tak axiální posunutí hřídele byla zvolena ložiska s kosoúhlým stykem od firmy SKF. Jedná se o tato ložiska:

- Ložisko SKF 17/40x12 7203BE $C=10,4$ KN
- Ložisko SKF 30/62x16 7206BE $C=26$ KN

Obě ložiska mají podle katalogu SKF úhel $\alpha = 25^\circ$. [18]

Pro výpočet životnosti ložisek se nejdřív vypočítá ekvivalentní zatížení na ně působící. Soustava hřídele, kroužku a konzole s reproduktorem a mikrofonem váží 2,4 kg. V axiálním směru tedy působí na ložiska pouze vlastní váha. Z té se vypočítá axiální síla:

$$F_a = m \cdot g = 2,4 \cdot 9,89 = 23,436N \quad (22)$$

Kde F_a Zatížení působící v axiálním směru [N]

m Součet hmotností všech komponentů zatěžujících ložiska [Kg]

g Tíhová síla [N]

V radiálním směru budeme počítat s maximální možnou radiální silou, která může působit na hřídel krokového motoru. Z produktového listu použitého motoru bylo zjištěno, že maximální možná radiální síla působící na hřídel motoru může být: [19]

$$F_r = 58N \quad (23)$$

Kde F_r Síla působící v radiálním směru [N]

Pokud bude toto zatížení překročeno, motor nebude pracovat správně. Podle zákona akce a reakce bude stejně zatížení působit i na hřídel s ložisky.

Ekvivalentní zatížení se tedy vypočítá ze vztahu:

$$F_v = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 58 + 0 \cdot 23,436 = 58 \quad (24)$$

Kde F_v Dynamické ekvivalentní zatížení [N]

X Součinitel radiálního zatížení [-]

F_r Radiální zatížení [N]

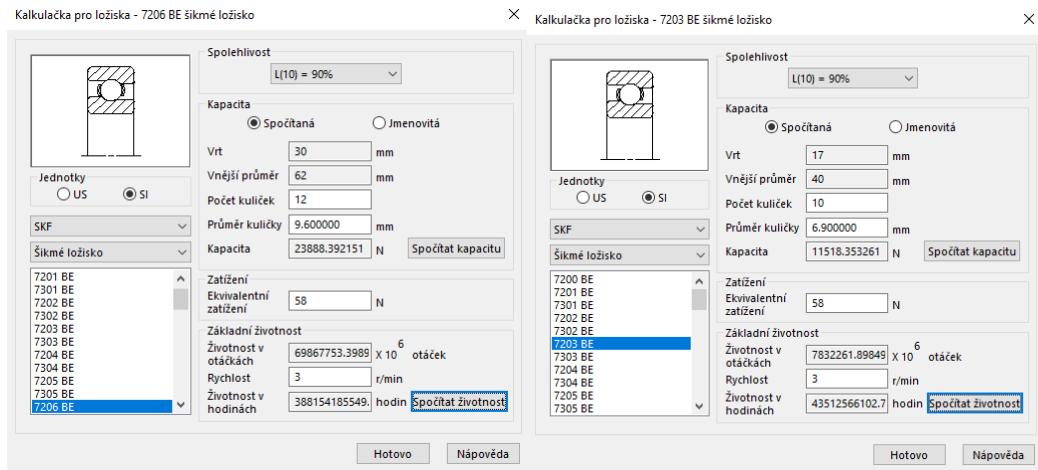
F_a Axiální zatížení [N]

Y Součinitel axiálního zatížení [-]

Kde X a Y bylo zjištěno z katalogu SKF.

Pro výpočet trvanlivosti ložiska bylo využito doplňkového modulu Solidworks 2019: kalkulačka pro ložiska. Po zadání typu ložiska, ekvivalentního zatížení a otáček za minutu, které v tomto případě nebudou překračovat $3 \text{ n} \cdot \text{m}^{-1}$, software spočítá životnost v hodinách L_h .

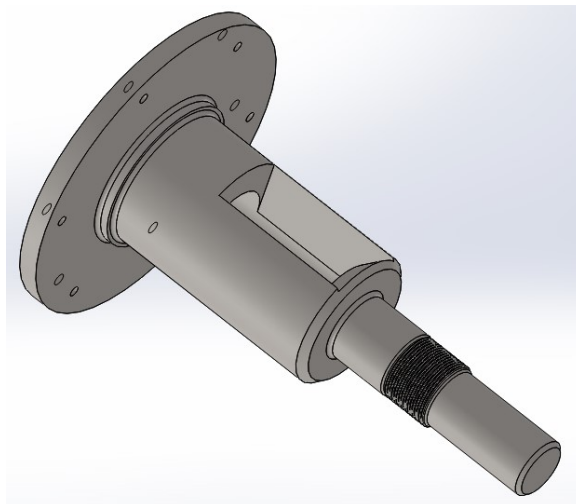
Na obrázcích je vidět, že životnost ložiska 7206BE je o řád vyšší než ložiska 7203BE. I to je stále dostačující hodnota, je to dáno nízkými otáčkami za minutu. Jelikož robot nebude v nepřetržitém provozu, ložiska vyhovují.



Obrázek 21: Výpočet životnosti ložisek v programu Solidworks 2019

9.2.4 Dutá hřídel

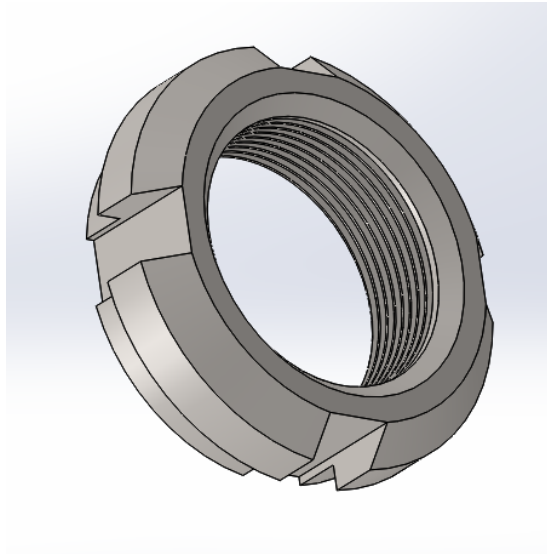
Dutá hřídel je navržena pro přívod kabelů k mikrofonu a reproduktoru. Ve spodní části hřídele se nachází závit pro přítužnou matici. Do duté části hřídele se přechází přes úkos, který má za úkol zabránit opotřebení kabelů při pohybu hřídele. Hřídel je také opatřena osazením, kterým je přitaženo ložisko. V horní talířové části je série děr se závity, které slouží pro připojení konzole s akustickými komponenty. Bude vyrobena z materiálu S235JR.



Obrázek 22: Dutá hřídel

9.2.5 Přítužná matice

Pro vymezení vůle v ložiscích byla navržena přítužná matice. Stejně jako na hřídeli, je zde vyřezán závit M17x0,75. Po obvodu jsou frézované drážky, které slouží pro utahování matice. Bude vyrobena z materiálu S235JR.



Obrázek 23: Přítužná matice

9.3 Pohonný systém

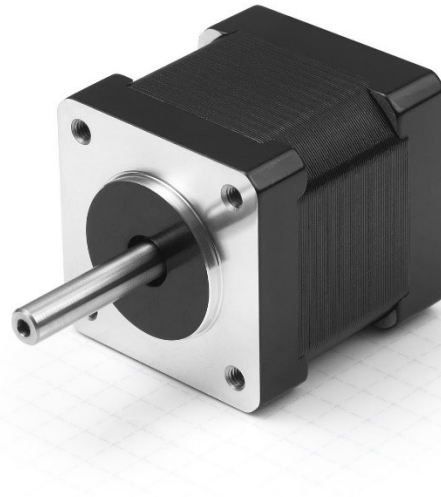
Pro otáčení konzole byl zvolen převodový mechanismus na principu zubových převodů. Při otáčení se bude využívat krokový motor, který bude pomocí dvou řemenic otáčet hřídeli. Napínání řemene je vyřešeno napínací kladkou, která je připevněna na konzoli spolu s pohonem.

9.3.1 Motor

Jak bylo uvedeno výše, pohonnou jednotkou bude krokový motor ST3518L1204-A NEMA 14. Tento motor pracuje na hybridním principu.

Je charakterizován těmito parametry: [19]

- Velikost kroku: $1,8^\circ$
- Přesnost kroku: $\pm 5\%$
- Kroků na otáčku: 200
- Statický vazební moment: 0,0115 Nm
- Statický moment motoru: 0,23 Nm
- Napětí: 4VDC



Obrázek 24: Krokový motor ST3518L1204-A NEMA 14 [19]

9.3.2 Převodový mechanismus

Pro převodový mechanismus byly zvoleny nakupované hliníkové řemenice typu Modelcraft 25 a Modelcraft 10. Budou spojeny ozubeným řemenem Modelcraft o délce 330 mm a 65 zubů. Jako napínací kladka bude použit přítlačný váleček typu R11 od firmy Haberkorn. Obě řemenice budou na hřídelích přitaženy pomocí stavěcího šroubu dodávaného spolu s nimi. [20, 21]

Pro použití v tomto řešení se musí nakupovaná řemenice Modelcraft 25 převrtat z původního vnitřního průměru 8 mm na 16 mm.

Rozteč řemenic

Pro výpočet rozteče se použije vztah: [14]

$$a = 0,25[(L - p) + \sqrt{(L - p)^2 - 8q}] \quad (23)$$

Kde a Osová vzdálenost řemenic [mm]

L Výpočtová délka řemene [mm]

$$\text{koeficient } p = \frac{\pi \cdot (d_1 + d_2)}{2} = \frac{\pi \cdot (24 + 45)}{2} = 108,39 \quad [-]$$

$$\text{koeficient } q = \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{45 - 24}{2}\right)^2 = 110,25 \quad [-]$$

Rozteč a se tedy rovná:

$$a = 0,25 \left[(330 - 108,39) + \sqrt{(330 - 108,39)^2 - 8 \cdot 110,25} \right] = 110,3 \text{ mm}$$

Z důvodu přítomnosti napínacího prvku a s ohledem na usnadnění nasazování řemene bude zvolena rozteč 107 mm.

Úhel opásání

Úhel opásání bude vypočítán ze vztahu. [14]

$$\beta = 180^\circ \pm 2\gamma \quad (24)$$

$$\text{Kde } \gamma = \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2a} = \arcsin \frac{45 - 24}{2 \cdot 108} = 0,09736 \quad [^\circ] \quad (25)$$

$$d_{1,2} \quad \text{Průměr řemenice} \quad [\text{mm}]$$

$$a \quad \text{Osová vzdálenost řemenic} \quad [\text{mm}]$$

$$\beta_1 = 180^\circ - 2 \cdot 0,09736 = 179,80^\circ$$

$$\beta_2 = 180^\circ + 2 \cdot 0,09736 = 180,19^\circ$$

$$\text{Kde } \beta_1 \quad \text{Opásání malé řemenice} \quad [^\circ]$$

$$\beta_2 \quad \text{Opásání velké řemenice} \quad [^\circ]$$

Převodový poměr

Převodový poměr bude spočítán jako poměr zubů řemenic.

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{10}{25} = 0,4 \quad [-] \quad (26)$$

Z převodového poměru vyplývá, že když konzole na konci bude potřebovat pootočení o 1° , bude nutné hnací řemenici pootočit o:

$$\frac{1^\circ}{i} = 2,5^\circ \quad (27)$$

Počet kroků potřebných k tomuto pootočení tedy bude:

$$n_{\text{kroků}} = \frac{2,5^\circ}{\delta_1^\circ} = \frac{2,5^\circ}{1,8^\circ} = 1,39 \quad (28)$$

$$\text{Kde } n_{\text{kroků}} \text{ je počet kroků potřebných pro pootočení o } 1^\circ \quad [-]$$

$$\delta_1 \quad \text{Velikost kroku motoru} \quad [^\circ]$$

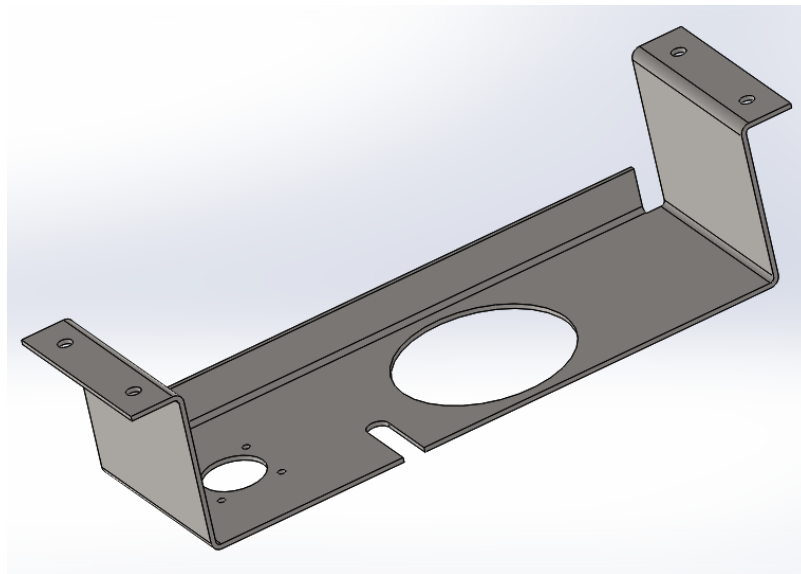
Konzole je díky dorazu a omezení daného dutou hřídelí schopna otáčení pouze v rozsahu 120° . Počet poloh dosažitelný v tomto rozsahu je tedy závislý na velikosti kroku a převodovém poměru. Počet poloh je tedy:

$$n_{pol} = \frac{120^\circ}{\delta_1 \cdot i} = \frac{120^\circ}{1,8^\circ \cdot 0,4} = 166 \quad (27)$$

Kde	n_{pol}	Je počet poloh	[-]
	δ_1	Je velikost kroku motoru	[°]
	i	Převodový poměr	[-]

9.3.3 Konzole

Konzole je navržena na základě převodového mechanismu. Jsou na ní přichystány otvory pro přírubu krokového motoru, napínacího válečku a velký otvor pro přírubu s ložisky. Je vyrobena z ohnutého plechu vypáleného v CNC pálicím centru. Po straně konzole byl na jedné straně navržen ohyb, který pomůže ke zvýšení tuhosti celé soustavy. Je uchycena k nosné desce. Bude vyrobena z materiálu EN AW 2017 - AlCuMg1.



Obrázek 25: Konzole pohonu

10 MONTÁŽ

Celá konstrukce je navržena tak, aby se dala snadno připojit na robota. Prakticky celá montáž může proběhnout na pracovním stole.

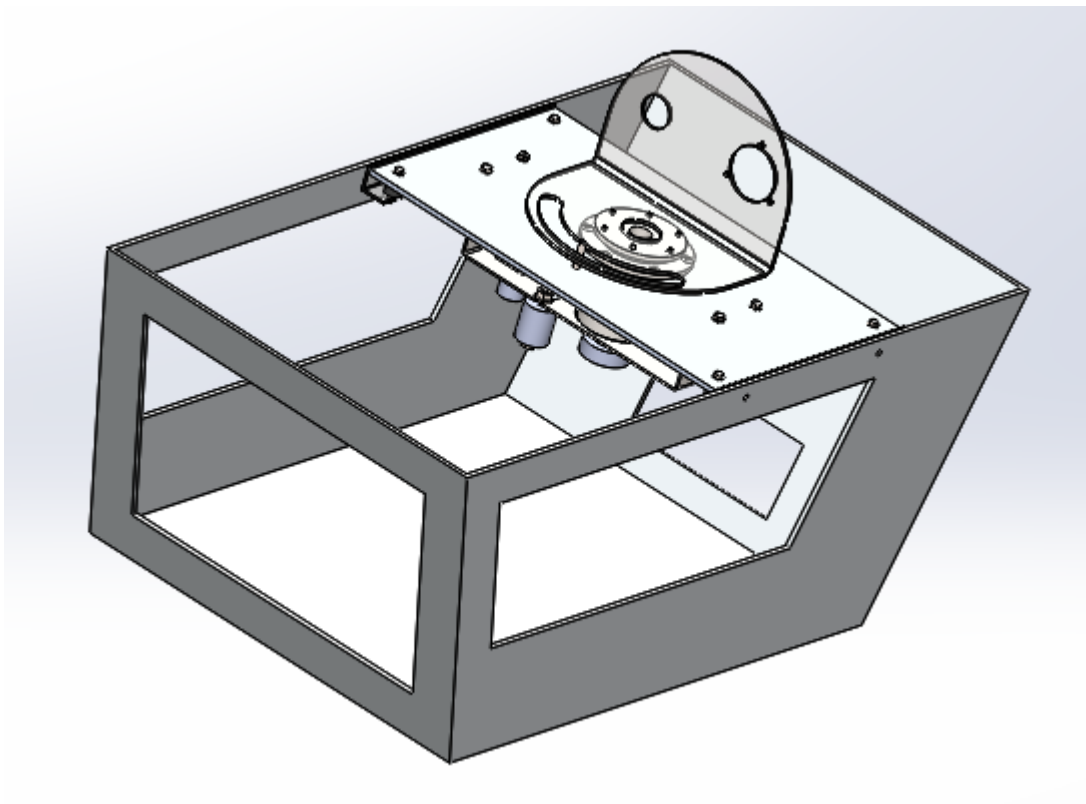
Nejdříve se sestaví otočný systém. Jako první část se nalisují ložiska do příruby, vzhledem k tomu, že se jedná o ložiska s kosoúhlým stykem, musí být nalisována správným směrem. Po nalisování bude příruba vložena do nosné desky. Dalším krokem je vložení hřídele, která se pak zajistí přítužnou maticí. Tou se zároveň vymezi vůle ložisek. Jako poslední v této části montáže připevníme k hřídeli větší řemenici.

V dalším kroku se nachystá pohonný subsystém, na konzoli pohonu se nejdříve připevní pohon s přítlačným válečkem, následně na hřídel pohonu upevní malá řemenice. Celá tato část se spojí s nosnou deskou.

Před uložením celé konstrukce na robota se napne řemen mezi řemenicemi a vhodně předepe pomocí přítlačného válečku.

Po přivrtání L-profilů s rámem robota se může celá konstrukce přitáhnout přes silentbloky.

Jako poslední věc se upevní konzole pro akustické komponenty k přírubě na hřídeli.



Obrázek 26: Sestava s rámem robota

ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo cílem navrhnout a vymodelovat model konstrukce uchycení akusticko-elektronických komponentů na mobilního robota. Na základě všech požadavků pro komplexnost této konstrukce byly navrženy dvě varianty řešení v programu Solidworks 2019.

Byla vytvořena varianta s pevnou konzolí, kdy je robot schopen snímat pouze prostor před sebou a varianta s otočnou konzolí, kdy je robot schopen snímat prostor před sebou v rozsahu 120°. Po konzultacích se zadavatelem byla zvolena otočná varianta z důvodu její perspektivnosti pro budoucí použití.

Otočná varianta je charakteristická dutou hřídelí, která je umístěna v přírubě a uložena v ložiscích s kosoúhlým stykem. Na hřídeli je umístěna konzole, na které jsou umístěny komponenty. Dutá hřídel je axiálně přitažena k ložiskům pomocí přítužné matice. Pohonem je zde hybridní krokový motor, který otáčí hřídelí pomocí převodového mechanismu zajištěného soustavou malé a velké řemenice s napínacím elementem v podobně přitlačného válečku. Pohon je ukotven na konzoli, která je připevněna k nosné desce. Celý tento subsystém je umístěn na hlavní nosné desce, která je připevněna k rámu robota přes pružné elementy, jež jsou umístěny na L-profilech.

Pro všechny tyto jednotlivé části byla vytvořena výkresová dokumentace v programu Draftsight. Obsahuje sestavu konstrukce, kde jsou vypsány všechny nakupované a vyráběné díly a výkresy nakupovaných dílů. Jedinou úpravou nakupovaného dílce je převrtání větší řemenice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace II: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikací)*. Vyd. 2. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky, 2006. ISBN 80-731-8397-8.
- [2] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikací)*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-630-2.
- [3] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-916-6.
- [4] JIŘÍČEK, Ondřej. *Úvod do akustiky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02460-1.
- [5] FAHY, Frank. *Foundations of engineering acoustics*. London: Academic, 2001. ISBN isbn0-12-247665-4.
- [6] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [7] KŮS, Václav. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. Druhé vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2016. ISBN 978-80-261-0639-5.
- [8] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [9] KÁRNÍK, Ladislav. *Praktické aplikace servisních robotů: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011. ISBN 978-80-248-2727-8.
- [9] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [10] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-574-7.
- [11] KREITH, Frank a D. Yogi GOSWAMI. *The CRC handbook of mechanical engineering*. 2nd ed. Boca Raton [Fla.]: CRC Press, c2005. ISBN 0-8493-0866-6.

- [12] MOTT, Robert L. *Machine elements in mechanical design*. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, c2004. ISBN 0-13-061885-3.
- [13] VOLEK, František. *Základy konstruování a části strojů I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
- [14] 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.
- [15] ŘEŘÁBEK, Antonín. *Stavba a provoz strojů 2: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-21-0.
- [16] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů - strojní součásti: učebnice pro střední průmyslové školy*. Praha: Computer Press, 2000. Edice strojaře. ISBN 80-7226-311-0.
- [17] Krokové motory. *Profirobot.cz* [online]., 2 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://profirobot.cz/wp-content/uploads/2018/03/Krokov%C3%A9-motory.pdf>
- [18] SKF. SKF Bearings [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/151-121486/Rolling-bearings---17000_1-EN.pdf
- [19] ST3518L1204-A -STEPPER MOTOR - NEMA 14. Nanotec Plug&drive [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/449-st3518l1204-a/>
- [20] Přítlačný váleček typu R. Haberkorn [online]. 2018 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/pritlacny-valecek-typ-r-pritlacny-valecek-typ-r.html>
- [21] Ozubené a klínové řemeny. Conrad [online]. 2018 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/ozubene-a-klinove-remeny.c32457>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

7203BE	Ložisko	[-]
7206BE	Ložisko	[-]
a	Osová vzdálenost řemenic	[mm]
AlCuMg1	Automatový dural	[-]
c	Rychlost šíření vln	[$m \cdot s^{-1}$]
C	Základní dynamická únosnost	[N]
CNC	Počítačem řízený obráběcí stroj	[-]
d	Průměr hřídele	[mm]
d ₁	Průměr malé řemenice	[mm]
d ₂	Průměr velké řemenice	[mm]
E	Modul pružnosti v prostředí	[$kg \cdot m^{-1} s^{-2}$]
F	Obvodová síla	[N]
F _a	Axiální zatížení	[N]
F _r	Radiální zatížení	[N]
F _v	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska	[N]
f	Frekvence	[Hz]
h	Výška zubu řemene	[mm]
i	Převodový poměr	[-]
k	Konstanta	[-]
l	Délka ložiska	[mm]
L _h	Trvanlivost v hodinách	[hod.]
L _n	Základní trvanlivost v otáčkách	[mil. otáček]
L _p	Délka řemene	[mm]
m	Koeficient styku valivých ložisek	[-]
M _k	Kroutící moment	[Nmm]

M_L	Kroutící moment	[Nm]
M_S	Statický moment	[Nm]
M_{SV}	Statický vazební moment	[Nm]
n	počet kroků motoru na otáčku	[-]
n	Otáčky	[s ⁻¹]
n	Otáčky za sekundu	[s ⁻¹]
$n_{\text{kroků}}$	Počet kroků potřebných pro pootočení o 1°	[-]
n_{pol}	Počet poloh	[-]
p	Koeficient	[-]
p	Rozteč zubů	[mm]
P	Naměřený tlak	[MPa]
P_0	Referenční tlak	[MPa]
PC	Počítač	[-]
PLC	Programovatelný logický automat	[-]
p_{max}	Maximální měrný tlak	[MPa]
q	Koeficient	[-]
RUBBER	Pryž	[-]
S	Úhlový krok motoru v radiánech	[°]
S235JR	Uhlíková ocel	[-]
SIA	Systém integrované automatizace	[-]
SPL	Hladina akustického tlaku	[dB]
SPZ, SPA, SPB, SPC	Velikosti klínových řemenů	[-]
v	Převodová rychlost	[mm · min ⁻¹]
X	Součinitel radiálního zatížení	[-]
Y	Součinitel axiálního zatížení	[-]
β_1	Opásání malé řemenice	[°]

β_2	Opásání velké řemenice	[°]
γ	Úhel přesahu opásání na řemenici	[°]
δ	Krok motoru	[°]
θ	Natočení hřídele	[rad]
ρ	Hustota prostředí	[$kg \cdot m^{-3}$]
ω	Obvodová rychlost	[$rad \cdot s^{-1}$]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Algoritmus pro konstrukci robota [9]</i>	14
<i>Obrázek 2: Schéma SIA [1]</i>	15
<i>Obrázek 3: Schéma krokového motoru [17]</i>	20
<i>Obrázek 4: Princip čtyřtaktního řízení s magnetizací jedné fáze [8]</i>	23
<i>Obrázek 5: Princip čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází [8]</i>	24
<i>Obrázek 6: Princip osmitaktního řízení [8]</i>	24
<i>Obrázek 7: Klínové řemeny, zleva klasický, úzký, variátorový, polyklínový [9]</i>	29
<i>Obrázek 8: Synchronní řemenový převod: 1) ochranná vrstva, 2) tažná vrstva [10]</i>	30
<i>Obrázek 9 Schéma válečkového řetězu [9]</i>	30
<i>Obrázek 10: Valivé ložisko [9]</i>	36
<i>Obrázek 11: Mobilní robot</i>	40
<i>Obrázek 12: Varianta 1</i>	41
<i>Obrázek 13: Varianta 2</i>	41
<i>Obrázek 14: Sestava konstrukce</i>	43
<i>Obrázek 15: L-profil</i>	44
<i>Obrázek: 16 Silentblok</i>	44
<i>Obrázek 17: Nosná deska</i>	45
<i>Obrázek 18: Sestava otočné části</i>	46
<i>Obrázek 19: Konzole akustických komponentů</i>	46
<i>Obrázek 20: Příruba pro uložení hřídele</i>	47
<i>Obrázek 21: Výpočet životnosti ložisek v programu Solidworks 2019</i>	49
<i>Obrázek 22: Dutá hřídel</i>	49
<i>Obrázek 23: Přítužná matice</i>	50
<i>Obrázek 24: Krokový motor ST3518L1204-A NEMA 14 [19]</i>	51
<i>Obrázek 25: Konzole pohonu</i>	53
<i>Obrázek 26: Sestava s rámem robota</i>	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku v kapalinách [3]27

Tabulka 2: Rychlost šíření vzduchu v plynech. [3]27

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Průběh statické momentové charakteristiky dvou motorů s rozdílnou velikostí kroku [8]</i>	<i>22</i>
<i>Graf 2: Momentová charakteristika motoru [8]</i>	<i>22</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Produktový list krokového motoru [19]

Příloha P II: Sestava

Příloha P III: Kusovník

Příloha P IV: CD ROM obsahující:

- Text bakalářské práce
- Model konstrukce v Solidworks 2019 s výkresovou dokumentací.

PŘÍLOHA P I: PRODUKTOVÝ LIST KROKOVÉHO MOTORU

Front view and mounting

Side view

Rear view

PERMISSIBLE RADIAL-AXIAL FORCE

AXIAL-FORCE F_a (N) $F_a=10$

DISTANCE a (mm)	5	10	15	20
RADIAL-FORCE F_r (N)	58	36	26	20

AXIAL RADIAL

SPRINT PLAY (mm) 0.08 0.02

AT LOAD MAX. (N) 4.5 4.5

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)	MOTOR	CONNECTOR P/N NO.	LEADS	WINDING
BIPOLAR	A	1	WHT	A
	A \	2	RED	A \
	B	3	BLU	B
	B \	4	YEL	B \

FULL STEP 2 PHASE-EX., WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A \	B \	CCW
1	+	+	-	-	↑
2	-	+	+	-	↑
3	-	-	+	+	↓
4	+	-	-	+	↓

WIRING DIAGRAM

STEPPING MOTOR

APVD S.Hd. 26.01.10

CHKD J.W. 26.01.10

DRN SIGNATURE DATE

DWG.NO ST3518L1204-A

CONNECTION BIPOLAR

VOLTAGE (VDC) 4.08

AMPS/PHASE 1.2

RESISTANCE/PHASE (Ohm)@25°C 3.4±15%

INDUCTANCE/PHASE (mH) @1KHz 4.5±20%

HOLDING TORQUE (Nm) [lb-in] 0.23 [2.04]

DETTENT TORQUE (Nm) [lb-in] 1.15x10⁻² [0.102]

STEP ANGLE (°) 1.8

STEP ACCURACY (NON-ACCUM) ±5%

ROTOR INERTIA (kg-cm²) [lb-in²] 4.3x10⁻⁴ [0.148]

WEIGHT (kg) [lb] 0.3 [0.67]

TEMPERATURE RISE: MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL; FOR 2 PHASE ENERGIZED)

AMBIENT TEMPERATURE -10° ~ 50°C [14°F ~ 122°F]

INSULATION RESISTANCE 100 MOHM (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)

INSULATION CLASS B 130° [266°F]

DIELECTRIC STRENGTH 5000V FOR 1 MIN. (BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)

AMBIENT HUMIDITY MAX. 85% (NO CONDENSATION)

AT LOAD MAX. (N) 4.5

REVISIONS

REV	DESCRIPTION	DATE	DRN
1	BACK-EMF SUPPLEMENTED	24.05.11	J.W.
2	revise drawing	21.09.16	A.S.

General tolerances DIN ISO 2768-Ms

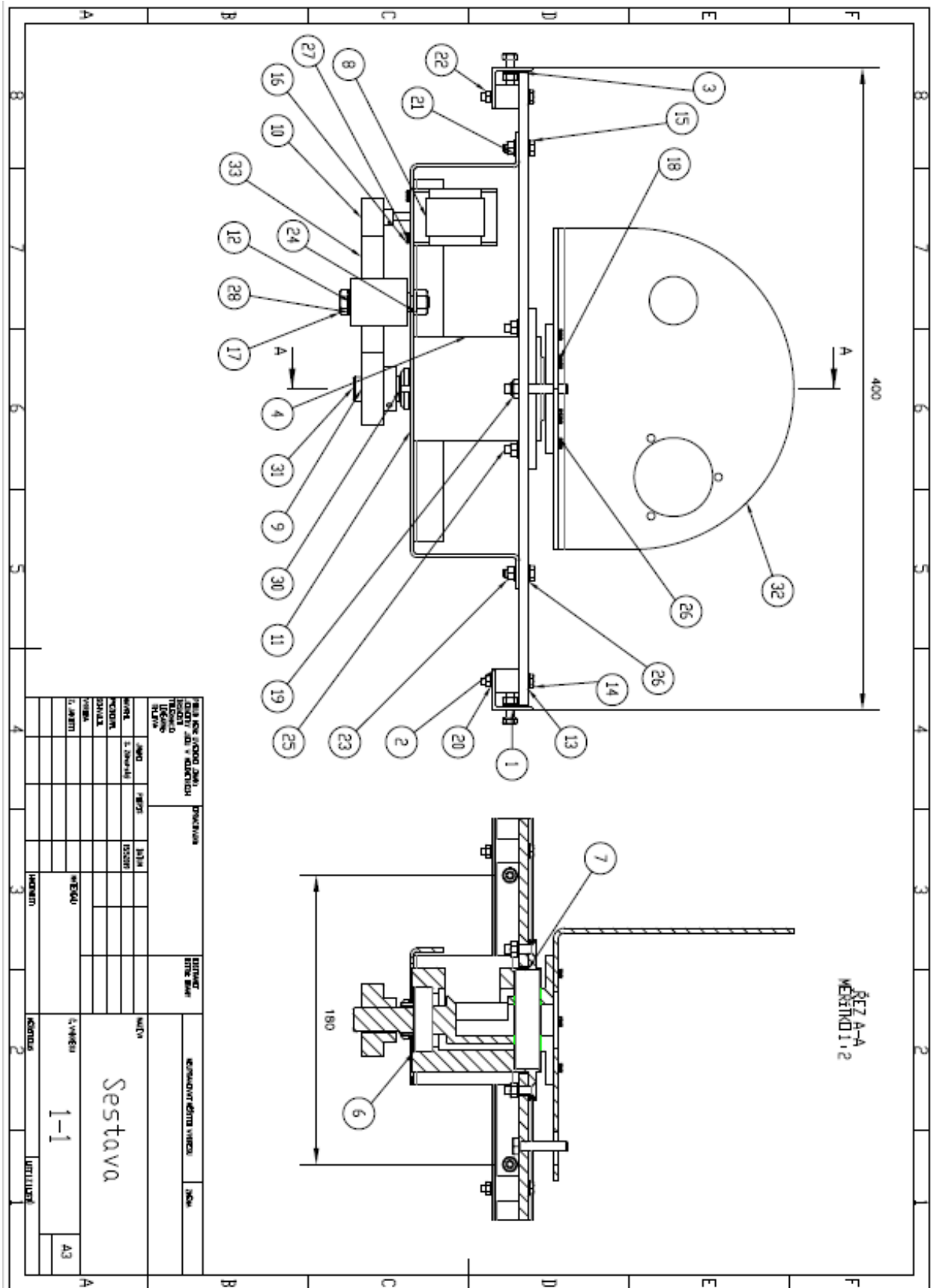
Surface specification DIN ISO 1502

Work piece edge DIN ISO 13715

General tolerances DIN ISO 2768-Ms

Work piece edge DIN ISO 13715

PŘÍLOHA P II: SESTAVA



NÁZEV KONSTRUKČNÍHO ÚKOLU		DOKUMENT		MĚRITIVO		MĚRITIVO	
PROJEKT	TECHNICKÁ ZPRÁVA	ČÍSLO	STRANA	1:1	1:1	1:1	1:1
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33

Sestava
1-1

4:3

PŘÍLOHA P III: KUSOVNÍK

Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství
1	2-1	L-profil	2
2	2-2	Silentblok	4
3	2-3	Deska	1
4	2-4	Priruba	1
6	Ložisko 17/40x12 7203BE	SKF	1
7	Ložisko 30/62x16 7206BE	SKF	1
8	ST3518L1204-A	Krokový motor	1
9	2-9	Řemenice velká	1
10	Řemenice	Modelcraft-10 zubů	1
11	2-11	Konzole pohonu	1
12	Přítlačný váleček	R11-Haberkorn	1
13	Washer ISO 7090 - 5	Pozink	4
14	ISO 4017 - M4 x 30-N	Pozink	4
15	ISO 4017 - M5 x 16-N	Pozink	10
16	ISO 4017 - M3 x 6-N	Pozink	4
17	ISO 4017 - M8 x 50-N	Pozink	1
18	ISO 4017 - M3 x 8-N	Pozink	6
19	ISO 4017 - M6 x 30-N	Pozink	1
20	Spring washer DIN 128 - A4	Pozink	4
21	Spring washer DIN 128 - A5	Pozink	16
22	ISO - 4032 - M4 - W - N	Pozink	4
23	ISO - 4032 - M5 - W - N	Pozink	16
24	ISO - 4032 - M8 - W - N	Pozink	1
25	DIN 7991 - M5 x 20 --- 14,8N	Pozink	6
26	Washer ISO 7089 - 5	Pozink	6
27	Washer ISO 7089 - 3	Pozink	4
28	Washer ISO 7089 - 8	Pozink	2
29	Washer ISO 7089 - 3.5	Pozink	6
30	2-30	Přítužná matice	1
31	2-31	Hřidel	1
32	2-32	Konzole reproduktoru	1
33	Řemen	Modelcraft, L=330mm	1