



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav přístrojové a řídicí techniky

Bakalářská práce

Humanoidní robot - hlava

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací

Datum:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing. Martinu Novákovi Ph.D. za cenné rady a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat mojí rodině a přátelům za podporu.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kuna** Jméno: **Josef** Osobní číslo: **491276**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Humanoidní robot - hlava

Název bakalářské práce anglicky:

Humanoid robot - head

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout 3D tištěnou hlavu pro humanoidního robota včetně senzorů a řízení

- 1) Navrhněte mechaniku 3D tištěné hlavy pro humanoidního robota
- 2) Vyberte vhodné senzory a zabudujte je. Minimální konfigurace: 2x kamera (oči), oči pohyblivé, natáčení ve dvou osách, připojení USB; min. 2x mikrofon v místě uší (pro mapování směru přicházejícího zvuku), 1x reproduktor pro přehrávání zvuku. Pohyblivá čelist = simulace mluvení
- 3) Hlavu sestavte a připravte jednoduchý demonstrační program pro předvedení funkčnosti

Seznam doporučené literatury:

- [1] The Future of Humanoid Robots - Research and Applications, Edited by Riadh Zaier, ISBN 978-953-307-951-6, 310 pages, Publisher: InTech, Chapters published January 20, 2012 under CC BY 3.0 license, DOI: 10.5772/1407, Edited Volume
- [2] Mobile Robots - Control Architectures, Bio-Interfacing, Navigation, Multi Robot Motion Planning and Operator Training Edited by Janusz Będkowski, ISBN 978-953-307-842-7, 402 pages, Publisher: InTech, Chapters published December 02, 2011 under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/2304, Edited Volume
- [3] Robot Arms, Edited by Satoru Goto, ISBN 978-953-307-160-2, 272 pages, Publisher: InTech, Chapters published June 09, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0 license, DOI: 10.5772/677, Edited Volume

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Martin Novák, Ph.D. odbor elektrotechniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotační list

Jméno autora: Josef Kuna
Název BP: Humanoidní robot – hlava
Anglický název: Humanoid robot – head

Obor: Informační a automatizační technika
Ústav: Přístrojová a řídicí technika
Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Novák. Ph.D.

Bibliografické údaje: Počet stran: 42
Počet obrázků: 25
Počet tabulek: 9

Klíčová slova: humanoidní hlava robota, Arduino, servomotor, 3D tisk
Keywords: humanoid robot head, Arduino, servomotor, 3D print

Anotace:

Tématem této práce je zhotovení humanoidní hlavy robota. Většina součástí je vymodelována v Autodesk Inventor Professional 2020. Za pomoci PrusaSlicer 2.4, který je založený na Slic3r, byl zhotovený G-Code pro 3D tiskárnu Ender Pro. Silikonová maska je přidána z důvodu, aby se hlava robota co nejlépe přiblížila lidskému vzhledu. První teoretická část popisuje již existující projekty a konfigurační prvky. Druhá praktická část se zabývá samotným postupem návrhu, sestavením hlavy robota a jejím programováním. Závěr bakalářské práce je věnován problematikám, které se vyskytly v průběhu řešení zadání a celkovému shrnutí práce. Přílohou je SD karta pro demonstraci funkčnosti celkového modelu humanoidní hlavy robota.

Abstract:

The topic of this work is to make a humanoid robot head. Most of the components were modeled in Autodesk Inventor Professional 2020. Using PrusaSlicer 2.4 based on Slic3r, a G-Code for the Ender Pro 3D printer was created. A silicone mask has been added to bring it closer to human appearance. The first theoretical part describes the already existing projects and configuration elements. The second practical part deals with the design, assembly, and programming process itself. At the end of the bachelor's thesis, there are addressed the issues encountered in solving the assignment and the overall summary of the bachelor's thesis. Attached is an SD card to demonstrate the functionality of the overall model.

Seznam použitých veličin a zkratek

Veličiny:

Symbol	Jednotka	Význam
M	[Nm]	Kroutící moment
M_{MAX}	[Nm]	Maximální kroutící moment
m	[kg]	Hmotnost
α	[°]	Úhel natočení
α_{MAX}	[°]	Maximální úhel natočení
U_{IN}	[V]	Vstupní napětí

Zkratky:

Symbol	Význam
DSP	Digital Signal Processor
CPLD	Complex Programmable Logic Device
PWM	Pulse Width Modulation
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor

1 Obsah

1	Obsah.....	7
2	Úvod	9
3	Teoretická část	11
3.1	Hlava z anatomického hlediska	11
3.1.1	Otočný kloub hlava-krk.....	11
3.1.2	Temporomandibulární kloub.....	12
3.1.3	Oko	12
3.2	Existující projekty	13
3.2.1	EVA	13
3.2.2	Sophia	14
3.2.3	ROMAN.....	15
3.3	Pohony.....	16
3.3.1	Servomotor.....	16
3.4	Elektronika.....	17
3.4.1	Arduino	17
3.4.2	Senzor shield.....	18
3.5	Konfigurace.....	19
3.5.1	Kamera.....	19
3.5.2	Senzor zvuku.....	20
3.5.3	Reproduktor	21
4	Praktická část.....	22
4.1	Návrh řešení otočného kloubu hlava-krk	22
4.1.1	Vodorovný pohyb hlavy.....	22
4.1.2	Svislý pohyb hlavy.....	24
4.2	Návrh řešení čelistního kloubu.....	26
4.3	Návrh řešení pohybu očí.....	27
4.4	Tisk a sestavení.....	29
4.5	Zapojení elektroniky	33
5	Programování	36
6	Experiment	38
7	Závěr	39
8	Seznam zdrojů	40
9	Seznam obrázků	42

10	Seznam příloh.....	42
----	--------------------	----

2 Úvod

Robot. Toto slovo má české kořeny a jeho „vynálezcem“ je slavný český spisovatel Karel Čapek. Ve své knize jej popisuje jako vysoce inteligentní zařízení se schopností se sami rozhodovat a vykonávat ty nejtěžší druhy práce. Zdá se, že ani sám Čapek tehdy nevěděl, jak důležitému pojmenování dal vzniknout. První historický patent týkající se robotiky datujeme k roku 1954 od George Devola a jeho firmy Unimation. Tehdy se jednalo o průmyslového robota, jehož jedinou prací bylo přenášet věci z bodu A do bodu B. V dané době neměl zmíněný průmyslový robot s lidským vzhledem ještě nic společného. Díky snaze člověka vytvořit tak sofistikované zařízení jako je popsáno v RUR, se dnes již objevují skuteční zástupci humanoidních robotů. Kvůli širokému spektru vykonávaných funkcí lze označit právě hlavu humanoidního robota za jeho nejzajímavější část. Kromě toho, že humanoidní hlava dává robotu možnost přiblížit se k lidskému vzhledu, tak také slouží k prostorovému vidění, registrování zvukové stopy a přeměně textové zprávy na zvukovou. Vzhledem k úrovni propracovanosti anatomie lidské hlavy a jejímu samotnému „chodu“ je samozřejmě náročné, ne-li nemožné, plně replikovat tuto lidskou část.

V posledních dvou desetiletích se vývoj humanoidních robotů jako takový posunul a hlavy nevyjímaje. Nyní i díky silikonovým maskám je vzhled robotické hlavy stěží rozeznatelný od té lidské. Stálým problémem humanoidních robotických hlav zůstává schopnost emocionální interakce. Tento problém však nebude mít dlouhého trvání. Společnost Hanson Robotics se snaží pro svého robota s názvem Sophia vyvinout program pro co nejvýstižnější a vhodně načasovanou emocionální reakci. V budoucnu by měl tento robot mít schopnost zpracovávat data, která vyhodnotí, a na jejich základě bude moct cítit emoce. Tato bakalářská práce se více a podrobněji věnuje právě zmíněnému robotu Sophia, protože se jedná o nejpropracovanějšího zástupce ve vývoji humanoidních robotů, a lze ji tak korunovat titulem jakési vlajkové lodě. Jedná se o ziskový produkt, a proto si firma hlídá své výrobní tajemství.

Praktické využití této automatizační jednotky můžeme najít v mnoha oblastech. Například robot SAYA pracuje jako recepční v hotelu Siu – Jing v Tokyu. V americkém státě Ohio ve městě Cincinnati Falls se setkáme s robotem, který vypomáhá v pečovatelském domě pro seniory. Další z druhů využití nalezneme i v pedagogickém odvětví, a to například při vyučování dětí s autismem. Přes internetový prohlížeč lze nalézt „open source“ stránku od francouzského sochaře Gaëlema Langevinema, kde si lze stáhnout STL soubory a doma si na 3D tiskárně vytisknout součásti pro vlastního humanoidního robota. Sám tvůrce uvádí, že ročně proběhne až tisíce uživatelských stažení, z čeho vyplývá, že ve stávající společnosti je enormní zájem mít vlastního robota doma, byť se člověk vůbec nezajímá o techniku nebo automatizaci.

Lze předpokládat, že v budoucnosti se jednou dočkáme dokonalých humanoidních robotů, kteří nám usnadní život ať už v průmyslových fabrikách, nebo v běžném životě. Sám Elon Musk se svou společností Tesla se podílí na výrobě humanoidního robota, který by měl nahradit člověka na nenáročných pozicích jako jsou obsluha pokladny v nákupních centrech nebo udržování čistoty v budovách a venkovních prostorech. Část lidí zastává názor, že robotizace bude problémem pro nekvalifikované lidi, kteří kvůli tomu přijdou o práci. Ale technický pokrok se velmi těžko zvládá zastavit a v očích ekonomického úseku v jakékoliv společnosti vždy zvítězí robot, jemuž nemusí vyplácet stálou mzdu a který si nebere dovolenou nebo nemocenskou.

Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout, sestavit a naprogramovat humanoidní hlavu robota, který zvládne pohyb hlavy a očí ve dvou osách, pohyb čelisti k simulaci mluvení a který bude

mít zabudován reproduktor pro přehrávání zvuku. Nosné části a lebka hlavy jsou vytisknuty na 3D tiskárně za pomoci Autodesk Inventor 2020 a jsou pohybovány s pomocí servopohonů, které jsou řízené prostřednictvím programu Arduino. Model hlavy je pokryt maskou ze silikonu.

3 Teoretická část

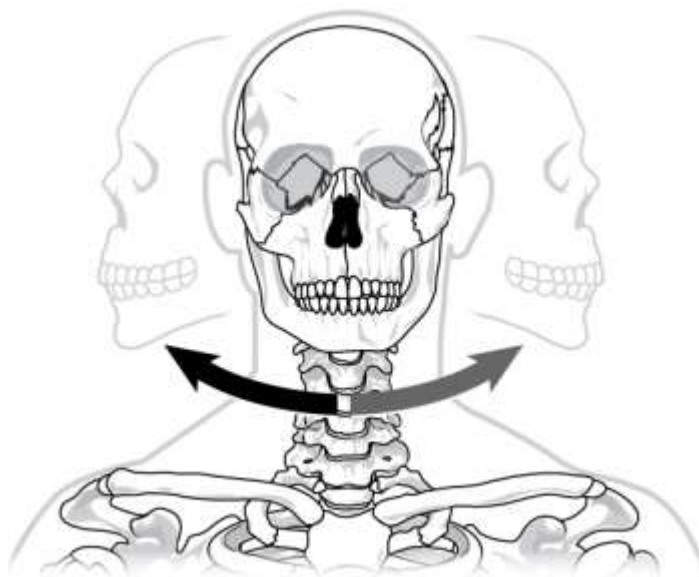
3.1 Hlava z anatomického hlediska

3.1.1 Otočný kloub hlava-krk

Jako otočný kloub je označován synoviální kloub, který spojuje krk s hlavou. Klouby z oblasti synoviálních plní soudržní funkci dvou kostí a pohyb jedné kosti vůči druhé. Součástí otočného kloubu je válcová kost a prstenec. Díky odvalování válcové kosti po prstenci se realizuje pohyb hlavy dopředu, dozadu a natáčení doprava, doleva. Pohyb kloubu hlava-krk je omezen rotací kolem centrální osy. (1)

Při uvažování, že jedinec, který nedosahuje pokročilého věku (např. 60 a více let), a že jeho krk neměl žádné vážnější poranění, měl by dosáhnout níže zmíněných otočení. Přibývajícím věkem a vážnějším zraněním může krk tuhnout.

Podle lékařských studií se lidská hlava může otočit o 80° - 85° na obě strany (viz obrázek 1.). Směrem k rameni ohneme hlavu vůči centrální ose lidského těla o 50° . Kývat hlavou dopředu (nosem dolů) lze o 50° nebo zakývat hlavou dozadu (nosem nahoru) o 40° . (2)



Obrázek 1.: Pohyb otočného kloubu na obě strany (1)

3.1.2 Temporomandibulární kloub

Čelistní kloub neboli odborněji temporomandibulární kloub se řadí k nejsložitějším kloubům v lidském těle, ale taky mezi nejdůležitější. Dovoluje nám rozmělnění potravy a komunikaci. Také jako výše popsaný otočný kloub patří i tento mezi synoviální klouby. Dochází ke spojení kondylární hlavice mandibuly společně s mandibulární jamkou, která se nachází v spánkové kosti. Co se týče rozevření lidské čelisti, může se její rozevření dostat až na 26° , což odpovídá 35 až 55 milimetrů (cca odpovídá šířce 3 dospělých prstů). (3)



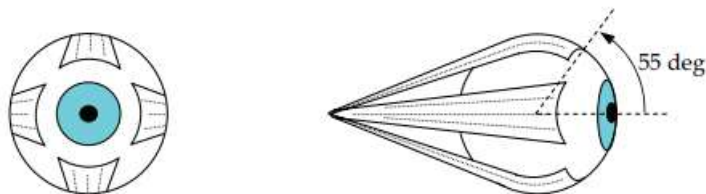
Obrázek 2.: Lidská čelist (3)

3.1.3 Oko

Lidské oko je jeden z nejsložitějších orgánů v lidském těle a zároveň jedním z nejdůležitějších. Registruje světlo a zároveň vysílá signály podél zrakového nervu rovnou do mozku. Tímto způsobem je člověku umožněno vidět. Jako ochrana před vnějšími vlivy slouží víčka, u kterých základem je kruhový mimický sval. (4)

Rozměry u lidského dospělého oka (bez rozdílů mezi pohlavními nebo věkovými skupinami) jsou přibližně příčně 24 mm, sagitálně 23 mm (sagitální rovina je každá rovina rovnoběžná s rovinou mediální, tj. rovinou symetrie lidského těla), axiálně 24 mm. Bulva váží něco okolo 7 g až 9 g. (5)

Při působení mimo očních svalů je možné vyprodukovat zrychlení až $20\,000 \text{ stupňů} \cdot \text{s}^{-2}$, což umožňuje dosáhnout úhlové rychlosti až $800 \text{ stupňů} \cdot \text{s}^{-1}$. Oči jsou umístěny symetricky vůči mediální rovině a v optické ose svírají s maximálním možným bodem registrování obrazu 55° . Přesazením tohoto bodu se vystavujeme bolesti očí. (6)



Obrázek 3.: Lidské oko svírající 55° s body vložení (6)

3.2 Existující projekty

3.2.1 EVA

Eva je humanoidní robotická hlava vytvořená inženýry z Columbia University ve státě New York. Eva byla převážně vytištěna za pomoci 3D tiskárny. Celkový vývoj od samotného návržení až po konstrukci zabral 5 let. Jedná se o autonomního robota, který má za úkol co nejdokladněji napodobit lidskou gestikulaci obličeje. Tento projekt se neustále vyvíjí a v dnešní době Eva dokáže napodobit až 42 svalů na lidském obličeji. Vyjadřuje šest typických řadových emocí: radost, smutek, překvapení, strach, hněv a znechucení. (7)

Princip napodobování gestikulace obličeje stojí na selektivně zatahujících a uvolňovacích kabelech připojených k různým místům na spodní straně silikonové masky. Obdobným způsobem k přepínání výrazu obličeje fungují lidské svaly, pouze kabely jsou zde nahrazeny nervy.

Procesem zrcadlení začali inženýři z CU nahrávat jejich vlastní gestikulace, a poté je nahrávat do řídicího systému EVA. Ten potom následně analyzoval záznam a využil integrovanou neuronovou síť, aby zjistil, které kombinace pohybů svalů vedly k jakým výrazům obličeje. (8)



Obrázek 4.: Eva vyjadřující šest typických řadových emocí (7)

3.2.2 Sophia

Sophia je humanoidní robot na sociální činnost, vytvořená společností Hanson Robotics v Hong Kongu. Sophii lze nazvat vlajkovou lodí v oboru humanoidních robotů. V roce 2017 Sophia byla zaregistrována jako čestný občan Saúdské Arábie. Stala se tak vůbec prvním humanoidním robotem na světě se státním občanstvím. Mateřskou společností Google Alphabet byla vyvinuta technologie na rozpoznávání řeči, kterou Sophia využívá pro příjem dat s okolním světem a je „navržena tak, aby byla postupem času chytřejší“. Společnost Cereproc vytvořila speciálně pro Sophii systém Text-to-Speech. Tímto systémem je schopná komunikovat s lidmi nebo dokonce zpívat.

Pod Hanson Robotics patří také společnost Frubber, která se zabývá výrobou a inovací silikonových materiálů. Právě tato společnost vyvinula a poskytla Sophii kůži vyrobenou z patentovaného silikonového materiálu. Jedná se o elastomer (druh elastické pryže skládající se z monomerů spojených kovalentními vazbami), který imituje lidskou kůži nejen vizuálně, ale i dotekově. (9)



Obrázek 5.: Sophia (9)

3.2.3 ROMAN

Humanoidní hlava ROMAN (ROMAN= RObot huMan interAction machiNe) byla sestrojena na University of Kaiserslautern v Německu.



Obrázek 6.: ROMAN (10)

Na umělé kůži robota z vnější strany je přilepena lepidlem sada 8 pohyblivých kovových plátů sloužících k vyjádření emocí. Pláty jsou spojeny dráty se servomotory. Veškeré konstrukční části jsou zde vytvořeny za pomoci 3D tisku.

Hlavním sensorovým systémem pro interakci s lidmi je systém stereo vidění, který se skládá ze dvou Dragonfly kamer. Očními bulvami lze nezávisle na sebe pohybovat nahoru/dolů nebo vpravo/vlevo. Roman může mechanicky posouvat s obočím za pomoci servomotorů k vyjádření emocí.

Pro konstrukci krku byl vybrán koncept, kde je pohyb realizován kinematickým řetězcem se 4 stupni volnosti. U návrhu krku robota se vývojáři snažili co nejvíce přiblížit kinematice a dynamice lidského krku. Bohužel je velmi těžké navrhnout vhodné systémové řízení pro takové řešení. Bylo tedy rozhodnuto, že pro kinematické funkce lidského krku je nejpodobnější kardanový kloub.

K řízení servomotorů a stejnosměrných motorů zde slouží DSP (Motorola 56F803) připojený k CPLD (Altera EPM 70 128). Celkem 5 těchto výpočetních jednotek je instalováno v hlavě: jedna pro inerciální soustavu, jedna pro krokové motory očí, dva pro čtyři stejnosměrné motory krku a jeden z 11 servomotorů, které pohybují kůží. (10)

3.3 Pohony

3.3.1 Servomotor

K ovládání úhlové nebo lineární polohy, nám slouží servomotor. Název servomotor vznikl z latinského názvu servomechanismus, což znamená, že motor je pořád hlídán, aby řídil svůj pohyb. Uvnitř najdeme vhodný motor, který je spojený se snímačem pro zpětnovazební polohy. Součástí musí být také ovladač navržený přímo pro práci se servomotory. Existují dva druhy servomotorů dle typu jejich pohybů. Jeden je typu lineárního a druhý rotačního. (11)

Součástí mechanismu servomotoru je také detektor rotačního pohybu neboli kodér, který určuje rotační polohu. Takové získané informace jsou používány ke zpětnovazebnímu řízení servomotoru. Lze takto docílit velké přesnosti při zastavení, a potom následném zpětném chodu do původní polohy. Na základě počtu vstupních impulsů, které jsou přijímány z ovladače, je řízená poloha. Neočekávaná změna zátěže může například vést k desynchronizaci motoru (tj. úhel natočení motoru se liší od úhlu určeného jeho vstupem). (12)

Řízení servomotorů se provádí ve většině případů přes pulzně šířenou simulaci (PWM). Střední délka vysílaného impulsu je u modelářských servomotorů 1,5 m/s, při které je servomotor ve středové pozici svého rozsahu. Tento rozsah většinou bývá kolem 90° nebo 180°. Existují i servomotory s větším rozsahem, ale oproti modelářským se pohybují v jiné cenové relaci. (13)

Zásadní rozdíl mezi servomotorem a elektromotorem je v samotném řízení. U servomotoru lze přesně řídit úhlovou rychlost. Znamená to, že výstupní hřídel se bude otáčet podle požadavků, tj. na příkaz se zastaví, a poté bude čekat na další signál k provedení akce. Na rozdíl od elektromotoru, kdy se výstupní hřídel začne otáčet po přivedení energie a pokračuje, dokud napájení nepřerušíme, nelze ovládat průběh otáčení elektromotoru. Můžeme pouze řídit rychlost otáčení, zapínání a vypínání. (14)



Obrázek 7.: Modelářský servomotor MG995 (12)

3.4 Elektronika

3.4.1 Arduino

Arduino je elektronická platforma s open source softwarem, který je založený na snadno použitelném hardwaru a k vytváření nenáročných elektronických projektů. S Arduino lze navrhovat a stavět zařízení, která mohou komunikovat s okolím. Každá deska vyprodukovaná Arduinem má mikrokontroler. Ten si lze představit jako malý počítač pro řízení desky. Arduino deska prakticky dává pohyb modelářským výtvorům. Čtou vstupy za pomoci svého integrovaného mikrokontroleru (např. světlo na senzoru) a přeměnit jej na výstup (rozsvícení LED diody). (15)

Programovací jazyky, kterými je Arduino řízeno, jsou Wiring a Processing, které jsou postaveny na jazycích jako „C“ nebo „C++“. Za autora tohoto programovacího jazyka je považován Hernando Barragána, který ho začal používat v Interaction Design Institute Ivrea v Miláně. Programování desky se provádí přes počítačový program Arduino, který je také volně ke stažení.

Nejpoužívanější deska s mikrokontrolerem je Arduino UNO R3 popřípadě R3ev. Jako mikrokontroler je zde využíván ATmega328. Její výhodou je schopnost odebrat vadný mikrokontroler a nahradit jiným, tudíž není zapotřebí měnit celou desku. Další výhodou desky je její dostupnost v provedení DIP (Dual Inline Package), kdy dvě řady kovových kolíků spojují čip s obvody prostřednictvím počítače. Zapojení k PC nám slouží USB kabel a napájení získáme za pomoci AC-DC adaptéru nebo baterie (16 V až 20 V). (16)

Z nabízených pinů lze využít 6 pinů jako PWM výstupy. Tato deska obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních pinů, 6 analogových vstupů a rezonátor 16 MHz. (17)

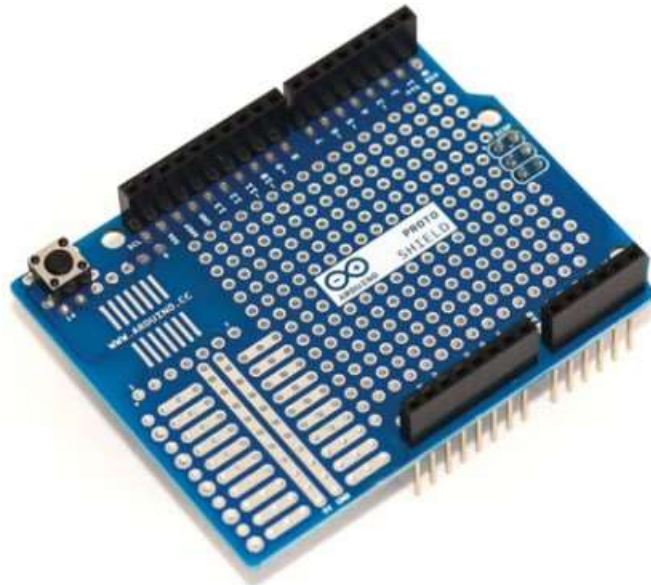


Obrázek 8.: Arduino UNO R3 (16)

3.4.2 Senzor shield

Pokud je třeba zapojit k Arduino více servomotorů nebo jiných součástí s větším odběrem proudu, nebo jiným napětím, než je napětí Arduina, tak se využívá Senzor Shield. Tato deska je produkt společnosti Arduino, a tudíž je zcela kompatibilní s deskami s mikrokontrolerem. Podstatnou schopností této desky je propojení senzorů, servomotorů a LCD s programovací deskou. K spojení obou desek slouží propojovací kolíky neboli headers.

K Shieldu je možné také připojit bezdrátové Bluetooth nebo SD kartu. (18)



Obrázek 9.: Senzor Shield (18)

3.5 Konfigurace

3.5.1 Kamera

Kamera jako optický nástroj je v dnešní době velice využívaným zařízením. Slouží k zachycení samostatných obrazů nebo pro zaznamenání celých videí. Kamera se skládá z objektivu, který zaostřuje světlo ze snímaného obrazu, a také z těla, které drží mechanismus snímání obrazu. (19)

Kamera je druh digitálního fotoaparátu, kterým po připojení je možné sledovat video snímky v reálném čase nebo za pomoci zpětného přehrání. Princip vytvoření video záznamu spočívá v zachytávání světla přes čočku pomocí malé mřížky mikroskopických světelných detektorů, které slouží ke snímání obrazu. K zpracování obrazu slouží zařízení s nábojovou vazbou (CCD) nebo dnes více rozšířený obrazový snímač (CMOS). Snímač následně převádí obraz tvořený před kamerou do digitálního formátu, skládajícího se z řetězce nul a jedniček.

Kamera na rozdíl od fotoaparátu nemá paměťový čip nebo paměťovou kartu, protože nemá za úkol si uchovávat videa. K přenosu dat zde slouží USB kabel, který je připojen k počítači, na kterém se přehrává snímané video. Spousta kamer v dnešní době obvykle používá Wi-Fi k přenosu svých snímků do internetového routeru, který je pak může zpřístupnit dalším zařízením v síti komukoliv a kdekoliv na světě. (20)



Obrázek 10.: Runcam Nano 2 FPV Camera (19)

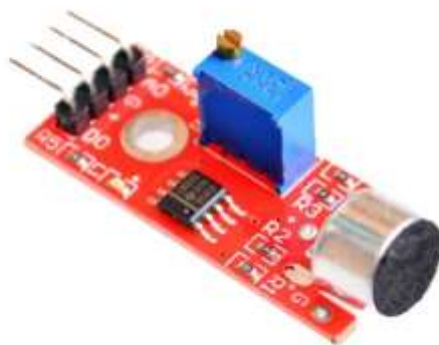
3.5.2 Senzor zvuku

Pro detekování zvukových vln pomocí jejich intenzity slouží zvukové senzory, které je potom převedou na elektrický signál. Uvnitř takového senzoru se nachází citlivý zvukový zesilovač, kapacitní mikrofon a výškový detektor. (21)

Tento senzor lze použít k sestavení různých elektronických projektů s pomocí desky Arduino. Mikrofon lze připojit k analogovému kolíku desky. Toho lze využít ke zjištění úrovně hluku v blízkém okolí. (22)

Zvolený snímač je kompatibilní s deskami Arduino. Je schopen určit úroveň hluku v rámci decibelů při frekvencích 3 kHz až 6 kHz.

Takový zvukový senzor slouží stejně jako lidské ucho a funguje i na obdobném principu. V lidském uchu se nachází membrána, která využívá vibrace a mění je na signály, které potom míří do mozku k zpracování. U použitého senzoru se v membráně nacházejí magnety. Když venkovní zvukové signály narazí na membránu, magnety uvnitř snímače začínají vibrovat a současně může být z cívek stimulován proud. (23)



Obrázek 11.: Modul mikrofonu pro jednodeskové počítače (23)

3.5.3 Reproduktor

Jedním z nejběžnějších výstupních zařízení je generování zvuku a k tomu slouží reproduktory. Na trhu se objevuje široká škála reproduktorů. Buď se dají připojit k jakémukoliv systému, nebo pouze k počítači. Hlavním úkolem reproduktorů je poskytnout zvukový výstup ze systému. Základní princip je postaven na předpokladu, že reproduktor je jakýmsi převodníkem, který převádí elektromagnetické vlny na vlny zvukové. Přijímač poskytuje zvukový výstup do reproduktorů ve formě analogové nebo digitální stopy. Funkcí analogového reproduktoru je zvětšit analogové elektromagnetické vlny na zvukové vlny. (24)

Mechanická energie, která je přeměněná z energie elektrické, zde funguje jako element k stlačování vzduchu a přeměně pohybu na akustickou energii. V momentě, kdy je elektrický proud přiveden do reproduktoru, je pak hned vysílán přes cívku, která vytváří elektrické pole a integruje pole magnetické. Když reproduktor přijímá elektrický vstup ze zařízení, kmitací cívka se dostává do pohybu tam a zpět. Tento pohyb rozvibruje vnější kužel, který je pro člověka vnímán jako zvuk. (25)



Obrázek 12.: Reproduktor FIT0449 (23)

4 Praktická část

Postup návrhu

Hlavním úkolem tématu bakalářské práce bylo vytvoření modelu pohyblivé humanoidní hlavy robota. Nejedná se o hlavu terminátora, ale o hlavu lidskou, pohybující se v stupňových intervalech, které jsou popsány v teoretické části (kap. 3.1). Při navrhování vnitřního prostoru modelu hlavy bylo nutné pracovat co nejefektivněji, a to z důvodu zachování přibližných rozměrů lidské hlavy.

Důraz je dáván na bezproblémovou montáž a demontáž, které zde zajišťují především závitové vložky pro plast, které se zavádí pájkou. Po přiložení pájky se vložka zahřeje a při malém zatlačení se okolní plastický materiál nataví. Když je vložka celou svou délkou v materiálu tisknutého dílu, našroubuje se dovnitř šroub na pár závitů, aby došlo k vyrovnání směru vložky. Po vychladnutí se spojení mezi plastem a vložkou pevně zafixuje. Z 90 procent jsou použité vložky pro šroub M4, které mají vnější průměr matice 6 mm. Díry jsou proto zhotoveny o průměru 5 mm, aby došlo ke kvalitnímu spojení vložky s materiálem. Přesto bylo nutné řešit některé konstrukční prvky nerozebíratelným spojem - lepením. Jedná se ale o spoje, u kterých se neočekává, že budou někdy rozebírány.

Součásti jsou vytvořeny tak, aby byly pro 3D tisk co nejpřijatelnější a nebylo nutné použití podpěr. Avšak při tak složitém tvaru jako je lidská tvář, je 3D tisk bez podpěr prakticky nemožný. Z ekonomických důvodů je zvolen efektivnější způsob výroby základní desky. Základní deska je zhotovena z dřevěné překližky, která je upravena na rozměry 300 x 300 mm, a hrany jsou sraženy na CNC.

4.1 Návrh řešení otočného kloubu hlava-krk

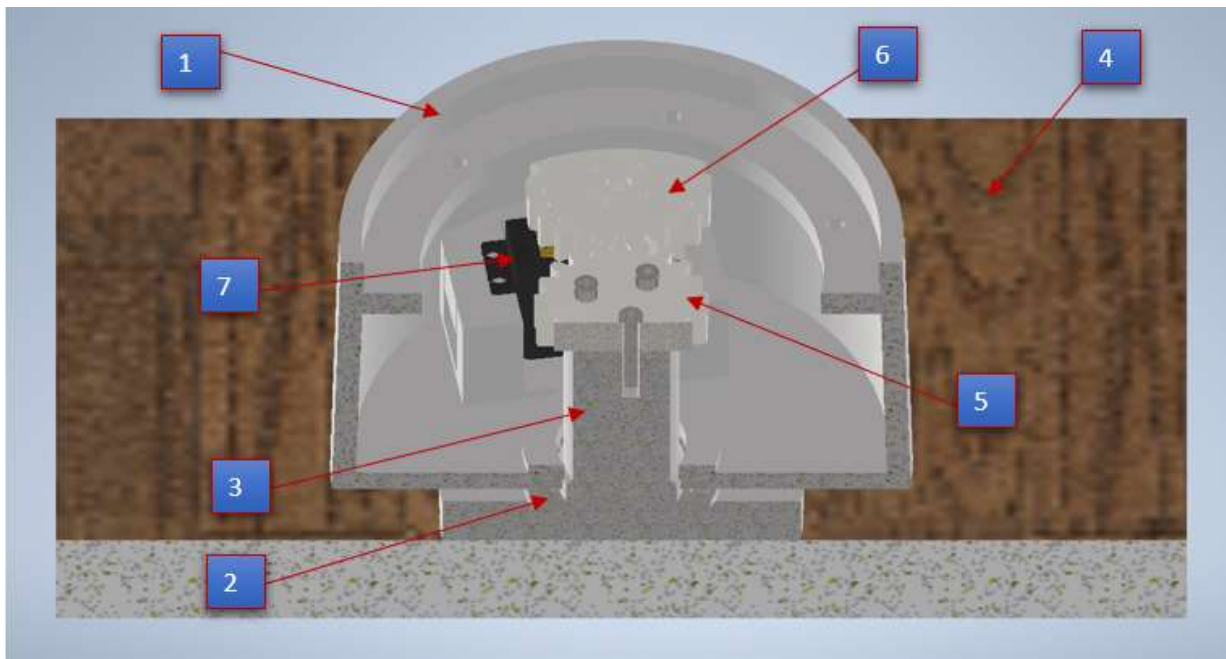
Lidská hlava má 3 osy otáčení a podél páteře se může otáčet o cca 150°. Protože realizace tohoto komplexního řešení by přesahovala definovaný rozměr této bakalářské práce, zvolila se varianta pro řešení otáčení hlavy ve 2 osách (doleva/doprava a nahoru/dolů). Tyto dva pohyby jsou rozděleny do dvou mechanismů. Základním prvkem obou mechanismů jsou souběžně zabírající ozubená kola, která jsou poháněna modelářskými servomotory. Ozubená kola jsou vyrobena 3D tiskem.

4.1.1 Vodorovný pohyb hlavy

Pro umožnění vodorovného pohybu hlavy je soukolí umístěno do krku. Krk (obr. 13, díl 1) má v horní části plochu s dírami pro uchycení další součásti. Aby se zamezilo využívání podpěr v průběhu 3D tisku, a to z důvodu minimalizace ekonomických a časových nákladů, je součást rozdělena na dva díly, které jsou spojené vteřinovým lepidlem určeným pro plastové materiály. Součást jako taková je nalisovaná na vnějším průměru ložiska DIN 711 CODEX 51207 (obr. 13, díl 2) a vnitřním průměrem je nalisována na váleček (obr. 13, díl 3), který je připevněn k základní dřevěné desce (obr. 13, díl 4) třemi šrouby M8x30.

Na válečku je dvojitý průměr, přičemž z vrcholu vede menší průměr pro snadnější nasunutí ložiska a koncový průměr v jeho spodní části je o 1 mm větší než vnitřní průměr ložiska. Hnané ozubené kolo (obr. 13, díl 5) je v horní části válečku připevněno třemi šrouby M4x25. Aby bylo možné demontovat model od základní desky, jsou do válečku zavedeny závitové vložky. Pastorek (obr. 13, díl 6), který je přichycen hliníkovou kruhovou destičkou k servomotoru MG 995 (obr. 13, díl 7), obíhá okolo hnaného kola, a tím je realizován pohyb doprava/doleva. V krku je zhotoven domek pro uložení servomotoru,

který je zde přichycen čtyřmi šrouby M4x12. Stejnými šrouby jsou přichyceny všechny servomotory stejného druhu.



Obrázek 13.: Sestava mechanismu pro vodorovný pohyb: 1-krk, 2- ložisko DIN 51207, 3-váleček, 4- deska, 5-hnané ozubené kolo, 6-pastorek, 7-servomotor Mg995

Tabulka 1.: Parametry ložiska CODEX 51207

Označení	d [mm]	D [mm]	b [mm]	Hmotnost [kg]	Norma
CODEX 51207	35	52	12	0,23	DIN 711

Tabulka 2.: Parametry servomotoru Tower Pro MG 995

Označení	M_{MAX} [Nm]	U_{IN} [V]	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]	α_{MAX}
Tower Pro MG 995	3,65	4,8 – 7,2	40,6x19,8x37,8	55	170°

Byl zvolen servomotor MG 995, protože disponuje s dostatečným krouticím momentem M_{MAX} a má ideální rozměry pro umístění do krku, který svojí velikostí odpovídá lidským rozměrům.

Požadovaný převodový poměr zde byl navolen ve vztahu:

$$i_{\text{vodorovný pohyb}} = \frac{\alpha_{MAX\text{serva}}}{\alpha_{\text{lidská hlava}}} = \frac{170}{150} = 1,11$$

Při použití pastorku s 21 zuby byl vypočítán minimální počet zubů druhého kola dle tohoto vztahu:

$$Z_{\text{kolo}} = Z_{\text{pastorek}} \cdot i_{\text{vodorovný pohyb}} = 1,11 \cdot 21 = 23,1$$

Pro pastorek bylo zvoleno 24 zubů.

4.1.2 Svislý pohyb hlavy

Svislý pohyb hlavy je prováděn už přímo v hlavě robota. Servomotor Tower Pro MG 995 s pastorkem je přichycen k levé části temene. Temeno (obr. 14, díl 1) se skládá ze dvou součástí, které jsou k sobě spojeny dvěma šrouby M4x16. Jedno ze dvou uchycení servomotoru bylo možné zde realizovat jako součást vycházející přímo z temene. Výroba druhého uchycení totožným způsobem pomocí 3D tisku nebyla efektivní. Byl by nutný velký počet podpěr, které představují velkou časovou náročnost, a také vysoké materiálové náklady. Proto je zde v levé části temene vymodelovaný „domek“, do něhož je zasunuta část držáku (obr. 14, díl 2) obdélníkového profilu. Držák je jedním koncem spojen s domkem temene dvěma šrouby M4x16 a druhý konec držáku je připevněn k servu přes závitové vložky čtyřmi šrouby M4x12. Rotující pastorek dostává do pohybu ozubené kolo, které je nasazené na železné hřídeli (obr. 14, díl 3), která je uložena na dvou podpěrách zajištěných dvěma objímkami po dvou šroubech M4x25.

Aby kolo pevně drželo na hřídeli a zabránilo se rotaci, je z jedné strany hnaného ozubeného kola zhotovené vysunutí s čtyřmi dírami se závitovými vložkami pro čtyři utahovací šrouby M3x12. I když se jedná o menší řadu šroubů, tak vnější průměr matice závitových vložek M3 je stejný. Na oba konce hřídele jsou nasunuta ložiska ČSN 02 4630 SKF 6000 - 2RSH (obr. 14, díl 4). K axiálnímu zajištění ložisek a zároveň k jejich spojení s temenem je využito teplotní dilatace, tj. nalisování. Nalisování ložisek bylo provedeno následujícím způsobem: Ložiska byla vložena na půl hodiny do mrazáku při teplotě -18°C. Po uplynutí dané doby se ložiska z mrazáku vyndala. Působením nízké teploty v průběhu dané doby došlo ke zmenšení jejich celkové velikosti. Poté se kruhové výřezy v temeni nahřály horkovzdušnou pistolí, čím došlo k jejich nepatrnému zvětšení. Následně se hned zamrzla, a ještě zmenšená ložiska nalisovala na nahřáté kruhové výřezy v temeni. Po zavedení ložisek do děr se čekalo cca 15 minut na vyrovnání teplot mezi ložisky a kruhovými výřezy v temeni.

Dvojice podpěr, na kterých leží hřídel, vystupuje ze součásti nazývané „poklička“ (obr. 14, díl 5), která je šesti šrouby M4x12 spojena s krkem. K této dvojici podpěr jsou připojeny další dvě součásti, tzv. podstavy (obr. 14, díl 6) pomocí šroubů M4x12. Podstavy slouží pro uložení senzorů zvuku, které jsou přichycené samořeznými šrouby M2,5x12. V temeni, v ose přijímacího signálu, jsou zhotoveny otvory pro lepší registrování zvuku.

Na ploše pokličky se nachází kromě šesti děr pro přichycení krku další čtyři pro samořezné šrouby M2,5x12, které slouží pro uchycení reproduktoru DFROBOT FIT044. Reproduktoři plní funkci hlasu. U výstupu podpěr z pokličky je přidáno zaoblení pro zajištění zvýšení pevnosti, aby nedošlo k jejich případnému vylomení.

Tabulka 3.: SKF 6000-2RSH

Označení	d [mm]	D [mm]	b [mm]	Hmotnost [kg]	Norma
SKF 6000-2RSH	10	26	8	0,019	ČSN 02 4630

Požadovaný převodový poměr zde byl navolen ve vztahu:

$$i_{\text{svislý pohyb}} = \frac{\alpha_{\text{MAXserva}}}{\alpha_{\text{lidská hlava}}} = \frac{170}{95} = 1,52$$

Při použití pastorku s 16 zuby byl vypočítán minimální počet zubů druhého kola dle tohoto vztahu:

$$Z_{kolo} = Z_{pastorek} \cdot i_{svislý\ pohyb} = 1,52 \cdot 16 = 24,32$$

Na základě vypočítaného výsledku je zvoleno 25 zubů pro hnané ozubené kolo. Oproti ostatním ozubeným kolům, která mají výplň 15%, je toto hnané ozubené kolo vytisknuto se 100% výplní z důvodu pro zajištění lepšího převodu momentu.

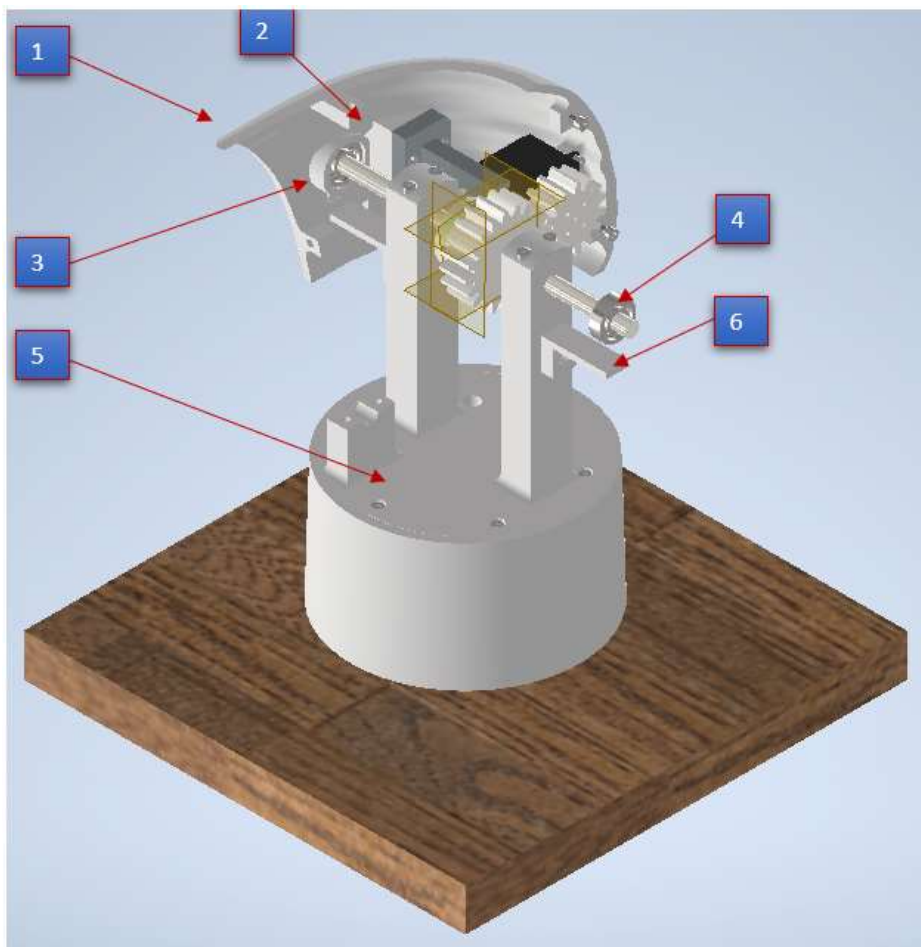
U návrhu pohonu, který je připevněn k temeni, se muselo ověřit, zdali servomotor MG 995 zvládne přenést určený moment. Celá zatěžující sestava, která je tvořena z lidské masky a na níž jsou připevněny dvojice servomotorů MG 995, dva mikro servomotory SG 90 a mechanismus pro pohyb očí, váží 0,87 kg a vzdálenost těžiště od kloubu pro svislý pohyb humanoidní hlavy je 128 mm.

Pro výpočet momentu byl použit vztah:

$$M_{svislý\ pohyb} = \sum l_{těžiště} \cdot m \cdot g$$

$$M_{svislý\ pohyb} = 0,128 \cdot 0,87 \cdot 9,81 = 1,09Nm$$

$$M_{svislý\ pohyb} > M_{MAX\ Mg\ 995} \Rightarrow VYHOVUJE$$



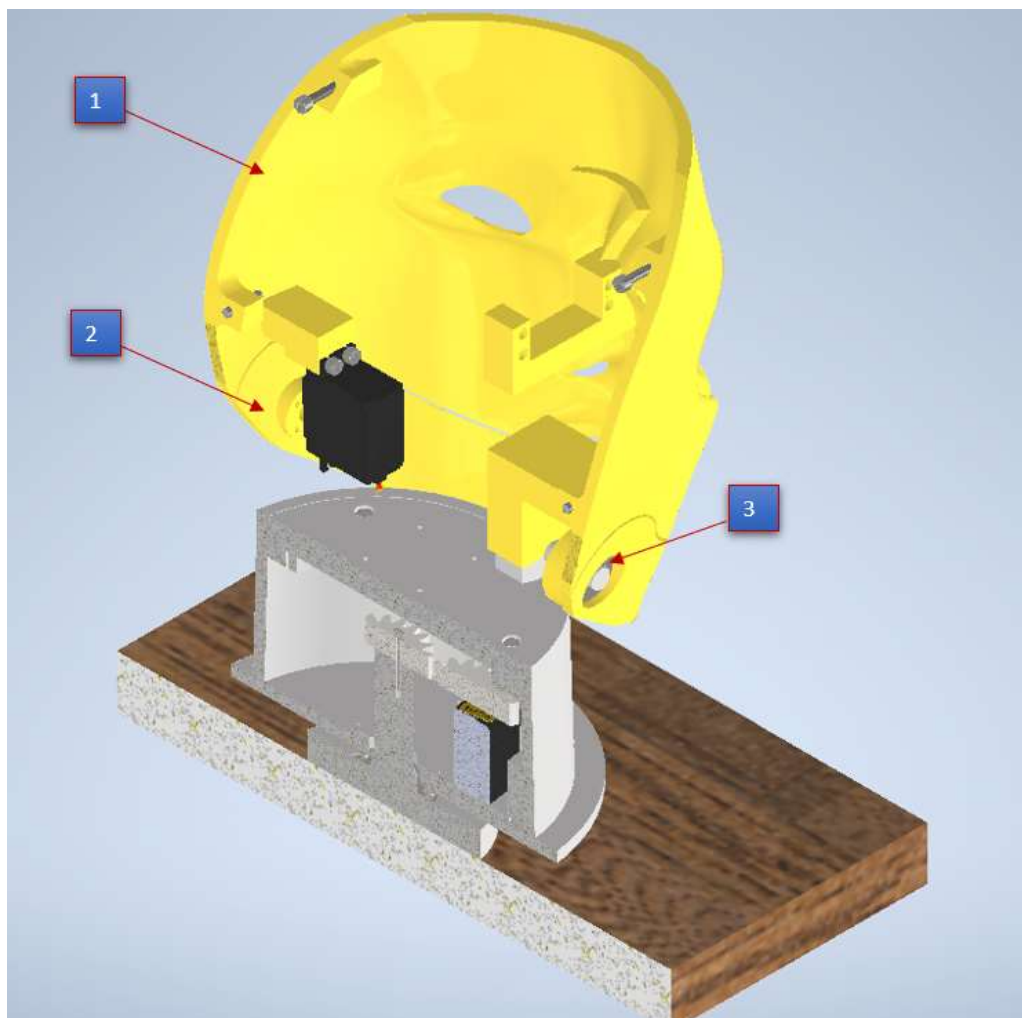
Obrázek 14.: Sestava mechanismu pro svislý pohyb (neviditelná součást pravého temene pro lepší znázornění): 1- temeno, 2- držák servomotoru, 3- hřídel, 4- ložisko ČSN 02 463, 5- poklička, 6- podstava

4.2 Návrh řešení čelistního kloubu

U řešení pohybu čelisti je opět jako v minulých případech použito servomotoru MG 995, kdy je využito pouze jedno ze dvou uchycení, a to z horní části lidské masky (obr. 15, díl 1). Tato součást je spojena s temenem dvěma šrouby M4x30 a M4x25. Výstupní hřídel servomotoru je spojena s čelistní částí masky (obr. 15, díl 2) za pomoci kruhové destičky z hliníku a čtyřmi samořeznými šrouby M2,5x12. Na druhé části je zhotovena díra s vystoupením pro ložisko ČSN 02 4630 SKF 6000 - 2RSH (obr. 15, díl 3), které je opět nalisované za pomoci teplotní dilatace. Ložisko je nasazeno na jednom konci hřídele a na druhém konci je uchyceno v podpěře vycházející z masky, a zároveň je zajištěno objímkou s dvěma šrouby M4x25.

Cílem bylo dosáhnout stavu, kdy by byla hřídel absolutně tuhá a nešlo s ní rotovat. Tohoto stavu bylo dosaženo tím, že jeden konec hřídele, který je uložený v podpěře, se zarovnal po délce pro zasunutí pomocí frézky GreenLine F50gL. Hřídel je ještě svrchu pokrytá malým kusem textilie pro zvýšení tření hřídele v objímce, aby nedošlo k prokluzu.

Čelist humanoidní hlavy robota se z výchozí pozice dokáže otevřít o 26°, což zcela odpovídá maximálnímu rozevření lidské čelisti. Při běžné klidové komunikaci se ústa rozevírají přibližně o 7°.



Obrázek 15.: Sestava mechanismu pro pohyb čelisti: 1- horní část lidské masky, 2- čelistní část lidské masky, 3- ložisko ČSN 02 4630

4.3 Návrh řešení pohybu očí

Návrh mechanismu na pohyb očí ve dvou osách je realizován především za pomoci servomotorů.

Pro svislý pohyb je využitý servomotor MG 995, který je připevněn k horní části lidské masky (obr. 16, díl 1), a potom pomocí kruhové hliníkové desky pěti samořeznými šrouby M3 je připojena součást „kostra očí“ (obr. 16, díl 2). V dolní části ve vzdálenosti očí na pravé i levé straně jsou připraveny domky určené pro nalisování ložisek ČSN 02 4630 SKF 618 - 7LP4 (obr. 16, díl 3). V horní části je umístěno uložení pro mikro servomotory Tower Pro SG 90 (obr. 16, díl 4), které provádí vodorovný pohyb očí. Každý tento mikro servomotor je připevněn dvojicí samořezných šroubů M2. Mikro servomotory jsou nadefinované z důvodů jejich menších rozměrů a výrazně menší hmotnosti oproti servomotoru MG 995, avšak jejich maximální uhel natočení je plně zachován. Mikro servomotory SG 90 sice mají znatelně menší maximální kroutící moment, ale pro otáčení bulvy, která má hmotnost 10,6 g, je to zcela vyhovující. V tomto konkrétním případě za jedinou nevýhodu těchto mikro servomotorů SG 90 lze považovat to, že nejsou vybavené vnitřním závitem u výstupní hřídele pro jistější připevnění.

Osy výstupních hřídel mikro servomotorů SG 90 jsou totožné s domky pro ložiska. Do prostoru mezi mikro servomotorem SG 90 a domky je vložena oční bulva (obr. 16, díl 5), v níž je uložena kamera Runcam Nano 2. Z bulvy vychází směrem dolů tyčka kruhového průřezu, která je zasunuta do vnějšího průměru ložiska. V opačném směru vychází tyčka stejného kruhového průřezu, která je zakončena větší kruhovou plochou pro připojení k hliníkové desce čtyřmi šrouby M2. Hliníková deska je nasunuta na výstupní hřídel mikro servomotoru SG 90.

Tabulka 4.: Ložisko SKF 618 - 7LP4

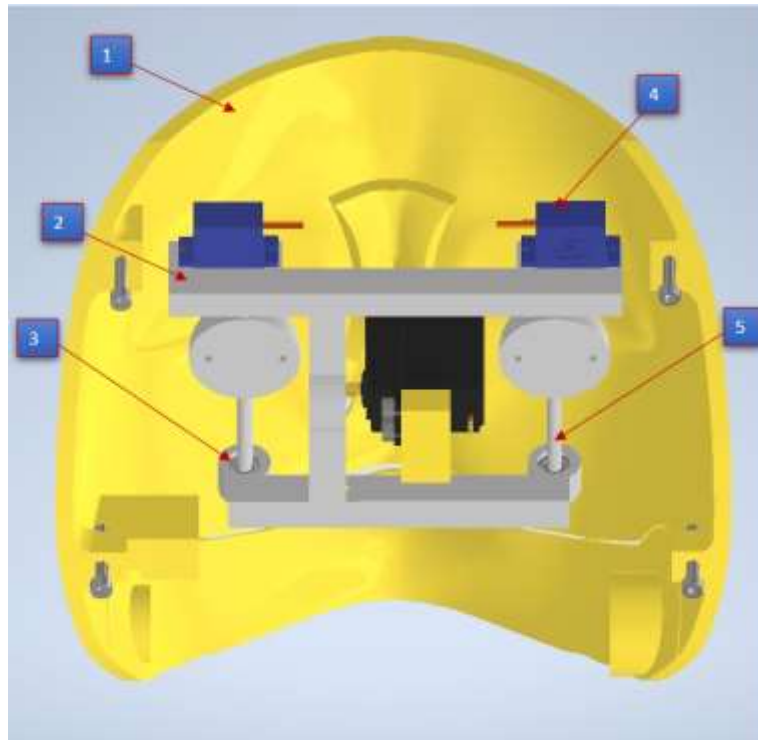
Označení	d [mm]	D [mm]	b [mm]	Hmotnost [kg]	Norma
SKF 618 - 7LP4	5	11	3	0,008	ČSN 02 4630

Tabulka 5.: Servomotor Tower Pro SG 90

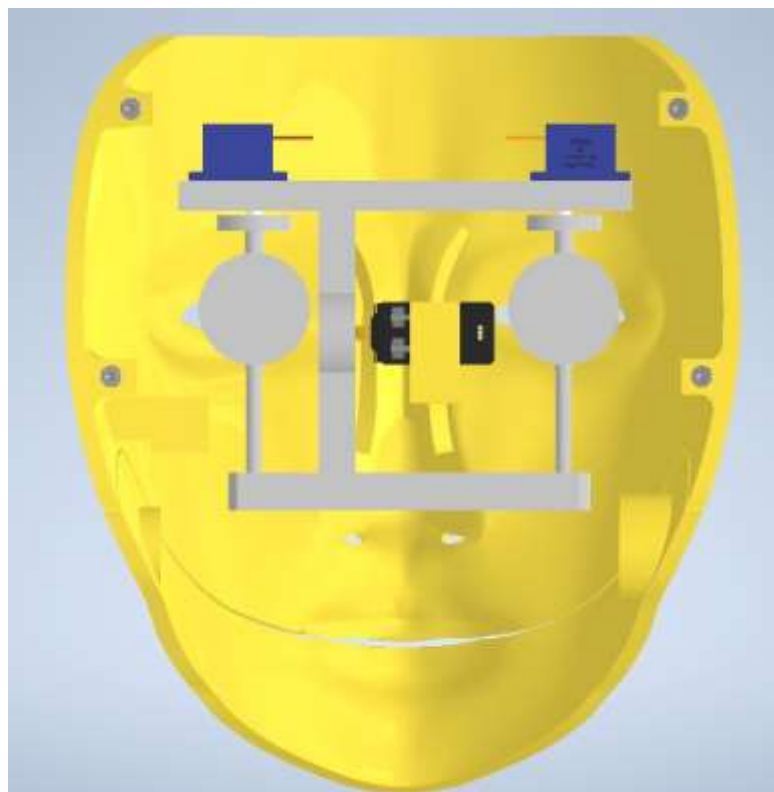
Označení	M_{MAX} [Nm]	U_{IN} [V]	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]	α_{MAX}
Tower Pro SG 90	1,35	3 – 7,2	21x12x29	9	170°

Oční bulvy jsou schopné se natáčet ve vodorovném směru za pomoci mikro servomotorů, a to z výchozí polohy do obou směrů o 50°. Větší úhel zde není doporučený z důvodu, že zorné pole by bylo částečně zakryto lidskou maskou.

Ve svislém směru bude servomotor MG 995 natáčet kostru očí z výchozí pozice do obou směrů také o 50°. Zvětšením zorného pole by nastal stejný problém jako v předchozím případě.



Obrázek 16.: Sestava mechanismu pro pohyb očí – 1. pohled: 1- horní část lidské masky, 2- kostra očí, 3- ložisko ČSN 02 4630, 4- servomotor SG 90, 5- bulva



Obrázek 17.: Sestava mechanismu pro pohyb očí - 2. pohled

4.4 Tisk a sestavení

Po dokončení 3D modelu v Inventoru 2020 byly jednotlivé díly exportovány do STL formátu. Poté byly 3D modely jednotlivých součástí nahrány do programu PrusaSlicer, kde bylo nastaveno systémové přednastavení na „NORMAL“ (udává rychlost tisku) a výplň na 15%. Variabilní výška vrstvy byla definována jako adaptivní. Potom byly do 3D tiskárny Ender Pro nahrané G-kódy. 3D tiskárna má maximální tiskovou plochu o rozměrech 170x130 a tavnou trysku o průměru 0,4 mm. Seznam všech tištěných dílů je uveden v tabulce č. 6. Kusovník s kupovanými součástmi uvádí tabulka č. 7.

Tabulka 6.: Seznam tištěných dílů

NÁZEV DÍLU	[ks]	NÁZEV DÍLU	[ks]
Zakladni_podstava.stl	1	Leva_cast_temene.stl	1
Krk_dolni.stl	1	Celni_ozubene_kolo_pastorek_temeno.stl	1
Krk_horni.stl	1	Celni_ozubene_kolo_temeno.stl	1
Celni_ozubene_kolo_pastorek_krk.stl	1	Priruba_pro_hridel_celist.stl	1
Celni_ozubene_kolo_krk.stl	1	Celist.stl	1
Poklicka.stl	1	Lidska_maska.stl	1
Priruba_pro_hridel_temeno.stl	2	Kostru_oci.stl	1
Vrsek_hlavy.stl	1	Kryt_bulva_pro_kameru.stl	2
Prava_cast_temene.stl	1	Bulva.stl	2
Podstava_pro_senzor_zvuku.stl	2	Drzak_pro_servo_temeno.stl	1
Ridici_listy.stl	4	Ulozeni_senzoru.stl	2
Kruhova_lista.stl	1		

Tabulka 7.: Kusovník kupovaných součástí

POLOŽKA	NÁZEV	NORMA	DODAVATEL	[ks]
1.	SAMOŘEZNÝ ŠROUB M2,5x12	DIN 84	BN ŠROUBY SERVIS	36
2.	SAMOŘEZNÝ ŠROUB M3x12	DIN 84	BN ŠROUBY SERVIS	12
3.	ŠROUB M3x25	DIN 7985	BN ŠROUBY SERVIS	9
4.	ŠROUB M4x12	DIN 7985	BN ŠROUBY SERVIS	25
5.	ŠROUB M4x16	DIN 7985	BN ŠROUBY SERVIS	2
6.	ŠROUB M4x25	DIN 7985	BN ŠROUBY SERVIS	13
7.	ŠROUB M8x30	DIN 7985	BN ŠROUBY SERVIS	3
8.	MATICE M8	DIN 934	BN ŠROUBY SERVIS	3
9.	ZÁVITOVÉ VLOŽKY M4x8x6		TISKNI.XYZ	40
10.	ZÁVITOVÉ VLOŽKY M3x8x6		TISKNI.XYZ	4
11.	SERVOMOTOR TOWER PRO MG 995		DRÁTEK	4
12.	SERVOMOTOR TOWER PRO SG 90		DRÁTEK	2
13.	LOŽISKO CODEX 51207	DIN 711	PRUMEX	1
14.	LOŽISKO SKF 6000-2RSH	ČSN 02 4630	PRUMEX	3
15.	LOŽISKO SKF 618-7LP4	ČSN 02 4630	PRUMEX	2
16.	TYČ KR 10x150		ŽELEZÁŘSTVÍ	1
17.	HALLŮV SENZOR KY-024		DRÁTEK	2
18.	REPRODUKTOR FIT0449		FARNELL	1
19.	KAMERA RUNCAM NANO 2 VPP		FYFT	2
20.	PRODLUŽOVACÍ KABEL BL-TOUCH		DRÁTEK	6
21.	DESKA 30x30x3		BAUHAUS	1
22.	KRUHOVÁ AI SERVO PÁKA		BIG HOBBY	4

23.	PROPOJOVACÍ KABEL SAMICE-SAMICE		DRÁTEK	5
24.	JOYSTICK PS2		DRÁTEK	1
25.	TLAČÍTKO		DRÁTEK	1

I když je 3D tisk v současné době velmi progresivní a inovativní technologií, využívanou v mnoha odvětvích, přesto je jeho přesnost jedním z faktorů, který vyžaduje jisté zlepšení, resp. inovaci. Nedokonalá přesnost 3D tisku vyžadovala v závěru práce použití pilníků a brusných papírů pro zvětšení průměru děr sloužících k uložení ložisek, závitových vložek, šroubů a hřídelí, a to v rozsahu až několik milimetrů.

Po zapuštění závitových vložek tavný materiál v některých z děr bránil průchodu šroubů. Za pomoci vrtačky byl tento nepotřebný materiál odstraněn. Vteřinového lepidlo pro plastové materiály UHU PLAST bylo potom nanášeno na místa, kde se závitová vložka spojuje s dílem, pro zvětšení pevnosti spoje.

V místech pro spojení ozubeného kola se servomotory MG 995 a pro spojení mikro servomotorů SG 90 s kostrou očí nebylo možné zavést závitové vložky z důvodu malého průměru určeného a realizovaného výrobcem. Proto bylo zde využito samořezných šroubů M2,5x12. Nevýhodou samořezných šroubů je, že každým jejich vysunutím a zpětným zavrtáním se pevnost daného spoje snižuje. V tomto případě se ale nepředpokládá, že by nastaly důvody, které by vedly k opakované demontáži a následné montáži těchto spojů.

Realizace spoje Hallova senzoru KY-024 s modelem je provedena za pomoci aplikace vteřinového lepidla pro plastové materiály UHU PLAST. Jako u spojení servomotorů, i zde se neočekává opakované rozebírání spoje. Pokud by to bylo nutné, je možné v tomto případě odšroubovat podstavu od podpěr vycházejících z pokličky.

Reproduktor FIT0449 je spojen s pokličkou čtyřmi samořeznými šrouby M2,5x12.

Kamera je zavedena do bulvy s čočkou směřující do kanálku. Z druhé strany je bulva uzavřena krytem. Ten má dvě hlavní funkce: 1. zabránit vysunutí kamery, 2. tlačit čočku kamery do kanálku, tím se kamera nemůže vychýlit, čímž nedojde k nesouososti kamery s kanálkem. Kryt je připevněn k bulvě dvěma samořeznými šrouby M2,5x12. V bulvě je zhotovený vývod pro kabel od kamery a prodlužovací kabel. Pro přiblížení vizuálního vzhledu k lidské bulvě byly použity malířské fixy pro namalování duhovky. Černý vzhled kamery posloužil jako zornice.

Součást „vršek hlavy“ je spojena dvěma šrouby M4x12 jak k levé, tak k pravé části temene. Tento díl plní pouze funkci jakéhosi vstupu do hlavy při jednoduchých operacích, jako je například utahování šroubů, nebo zakrytí mechanismu z horního pohledu.

Bylo nutné vyřešit problém s rovnováhou modelu, který nastával při jeho svislém pohybu. Na spodní část krku byla nalepena kruhová lišta, která se při vyklouznutí ložiska opře o vodící lišty. Čtyři vodící lišty jsou spojeny dvěma samořeznými šrouby M3 se základní deskou.

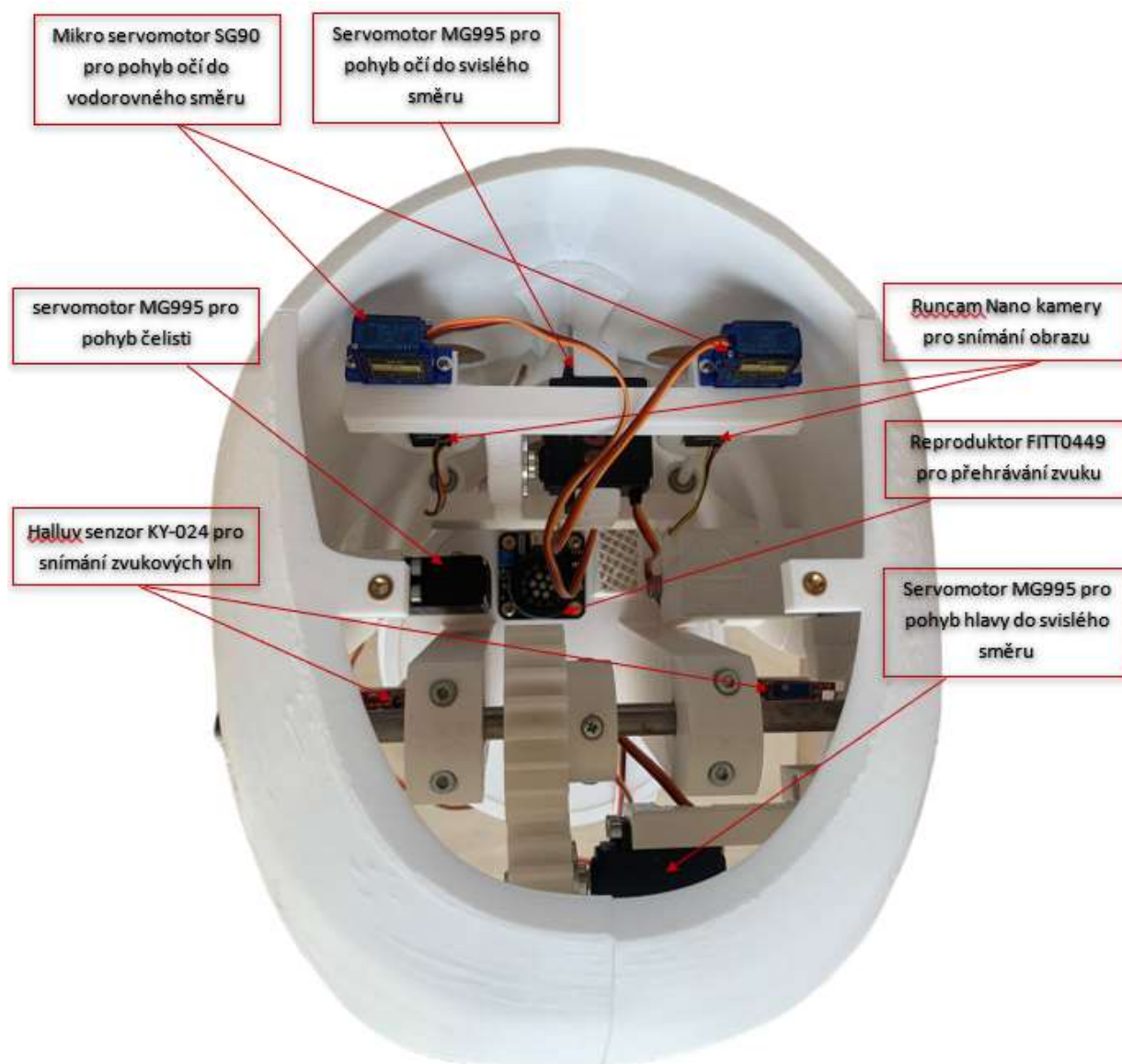
Při montáži temen k masce nastala problematika s utahováním šroubů – bylo zapotřebí častého zasunutí a vysunutí inbusu do utahovací hlavy šroubu. Proto byly vyvrtány souosé díry v temeni ruční vrtačkou pro snadnější montáž. Spoje jednotlivých součástí jsou popsány v kapitole č. 4.



Obrázek 18.: Sestavěný model z boku



Obrázek 19.: Sestavěný model zředu



Obrázek 20.: Model hlavy z horního pohledu bez vršku



Obrázek 21.: Model hlavy - krk z horního pohledu

4.5 Zapojení elektroniky

Zapojení elektroniky

Jako napájecí zdroj pro soustavu humanoidní hlavy byl zde zvolen stejnosměrný laboratorní zdroj Manson NP – 9615, který byl zapůjčen z fakulty strojní. Zdroj má jeden regulovatelný výstup a dvojici pevných vstupů. Hodnoty se zde zobrazují digitálně pomocí 2 LCD.

Tabulka 8.: Manson NP-9615

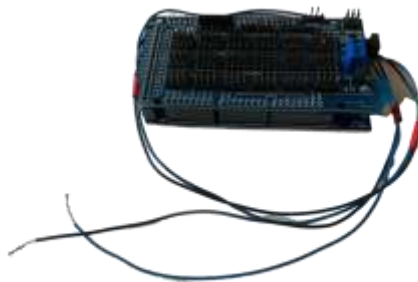
Označení	Výstupní napětí [V]	Výstupní proud [A]	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]	Síťové napájení [VAC/Hz]
MansonNP-9615	0-30	5	250x115x280	6,5	230/50



Obrázek 22.: Manson NP-9615 (26)

K řízení servomotorů byla využita Arduino deska MEGA 2560 R3 společně s Arduino MEGA Sensor Shieldem v2.0, který umožňuje zapojení více servomotorů kvůli napájení ze samostatného zdroje. Jelikož řídicí deska je přišroubována k základní desce, bylo nutné připojit k servomotorům prodlužovací kabely sloužící k vytvoření kontaktu se Sensor Shieldem.

Spoj mezi zdrojem Manson a Sensor Shieldem je určen k napájení modelu a je realizován dvěma tenkými kabely. U těchto vodičů elektrické energie bylo zapotřebí zbavit jejich konce plastové izolace. Očištěné konce byly poté natřeny pájecí kalafunou, která zabraňuje oxidaci mědi a napomáhá k lepšímu pokrytí cínem. Pájkou byl nataven cín a konce byly pocínovány pro lepší zavedení do svorek.

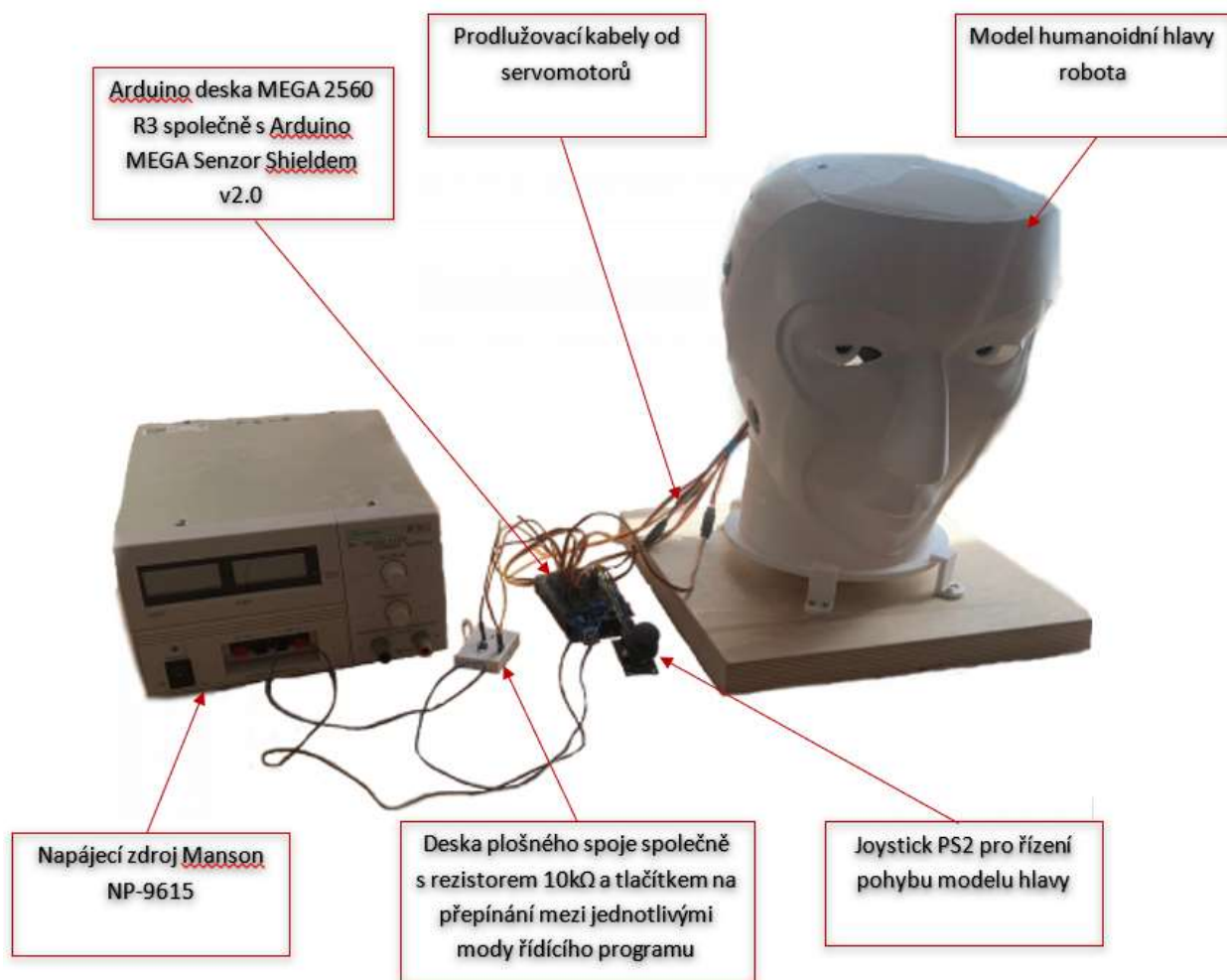


Obrázek 23.: Arduino deska MEGA 2560 R3 společně s Arduino MEGA Sensor Shieldem v2.0 s napájecími kabely

Do modelu byly zakomponovány jednotlivé předem určené konfigurace, tj. dvě kamery RunCam NANO 2 jako oči, dva Hallovy senzory KY-024 jako uši a reproduktor FIT0449 sloužící k simulaci mluvení. Další zpracování funkčnosti těchto konfigurací nebylo úkolem této bakalářské práce. Jednotlivé způsoby jejich uložení jsou komentovány v kapitole č. 4.

Joystick PS2 měřící hodnoty X a Y analogově byl zde využit k nastavení polohy hlavy, čelisti a očí. Se Sensor Shieldem byl propojen kabely.

Byla také vytvořena deska plošného spoje, na které bylo společně s rezistorem 10 k Ω připojeno tlačítko pro přepínání mezi jednotlivými módy řídicího programu. Deska byla spojena propojovacími kabely se Sensor Shieldem.



Obrázek 24.: Konečné sestavení modelu humanoidní hlavy robota

5 Programování

Program pro chod modelu byl sestaven v prostředí Arduino IDE, které využívá integrovaný programovací jazyk Wiring, jenž je vyvíjen v C a C++. Tento jazyk k funkčnímu provozu vyžaduje mikrokontroler a ten se nachází na použité Arduino desce MEGA 2560 R3. Na danou desku byl mikrokontroler připojen za pomoci pinů Arduino MEGA Senzor Shieldem v2.0, který převzal veškerou funkci při řízení servomotorů.

Na začátku bylo nutné vycentrovat všechny servomotory do neutrální polohy, aby bylo využito celkového rozpětí všech servomotorů do obou stran. Toho bylo docíleno funkcí *int pos = proměnná*, jež dostala servomotor do požadovaných stupňů.

Pro ovládání všech druhů servomotorů (Tower Pro MG 995 a Tower Pro SG 90) bylo zapotřebí vložit příkaz *#include* knihovnu *Servo.h*. Následně se vytvoří instance, tj. reprezentace dat odvozená ze třídy, která určuje, jakým stylem se budou objekty vytvářet pro jednotlivé servomotory.

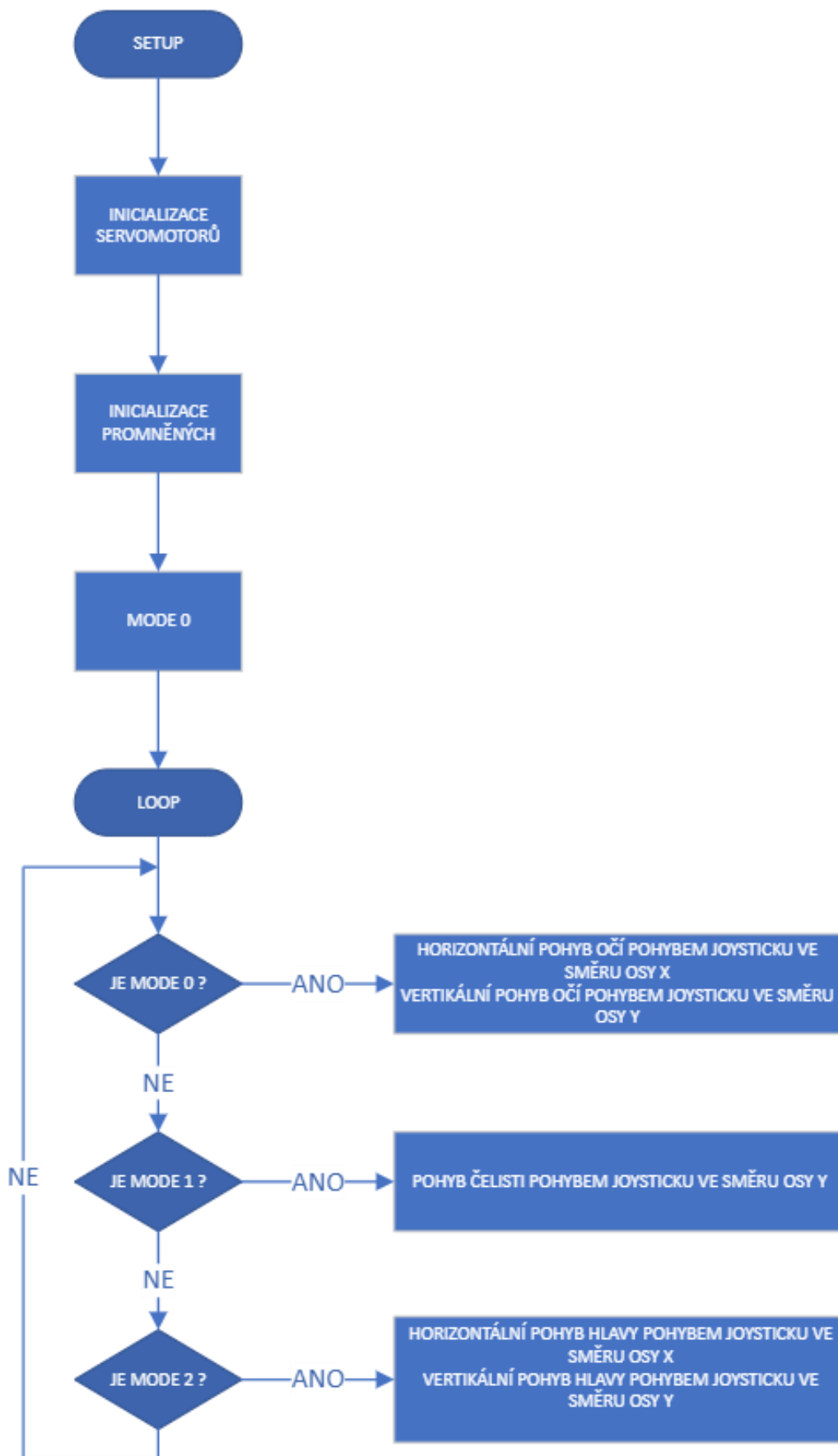
V další části programu byly přes funkci *void setup()* přiřazené piny k jednotlivým servomotorům. Ve *void loop()* a *if ()* byl postupně sestavován program pro jednotlivé části pohybu humanoidní hlavy.

Program byl přes funkci *mode()* rozdělen do tří módů:

- 0. mode: pohyb očí (vertikální/horizontální),
- 1. mode: pohyb čelisti,
- 2. mode: pohyb hlavy (vertikální/horizontální).

Přepínání mezi jednotlivými módy se nabízelo také přes Joystick PS2, ale zde byl problém s registrováním signálu prostřednictvím stlačení. Proto bylo využito separátní tlačítko. Časový interval přepínání mezi různými druhy módů byl nastaven na 2 sekundy.

Na další stránce je vytvořen vývojový diagram programu pro řízení humanoidní hlavy robota.



Obrázek 25.: Vývojový diagram programu pro řízení humanoidní hlavy robota

6 Experiment

Úkolem experimentální části této bakalářské práce bylo sestavení tabulky s přehledem časů naměřených při pohybech čelisti, krku a očí. Časy byly naměřené pro maximální rozsahy pohybů. Z pěti naměřených časů byla pak vypočítána jejich střední hodnota.

Tabulka 9. : Naměřený čas

POHYB	Změřený čas				
	t1 [sec]	t2 [sec]	t3 [sec]	t4 [sec]	t5 [sec]
Oči ve směru osy Y	0,18	0,19	0,18	0,18	0,17
Oči ve směru osy X	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18
Čelist ve směru osy Y	0,21	0,23	0,19	0,2	0,19
Hlava ve směru osy Y	2,68	2,71	2,69	2,72	2,68
Hlava ve směru osy X	3,87	3,84	3,85	3,79	3,78

Naměřené hodnoty u pohybů očí a čelisti humanoidní hlavy robota jsou podobné s dobou trvání pohybů reálné lidské hlavy. U pohybu hlavy robota do obou směrů X a Y jsou naměřené hodnoty podstatně větší oproti reálným pohybům lidské hlavy. To je zapříčiněno řídicím programem modelu. Kvůli radiální vůli v ozubení uvnitř krku byl pohyb hlavy do směru osy X trhaný. Pro docílení jednotné rychlosti u pohybu hlavy v obou směrech, tj. z výchozí pozice do pozice maximální v osách X a Y, bylo nutné snížit rychlost pohybu hlavy v programu.

Vzorec použitý pro zjištění střední hodnoty:

$$\bar{t}_i = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{\text{počet měření}}$$

Jednotlivé střední hodnoty:

$$\bar{t}_{\text{oči ve směru osy Y}} = 0,18 \text{ sec}$$

$$\bar{t}_{\text{oči ve směru osy X}} = 0,18 \text{ sec}$$

$$\bar{t}_{\text{čelist ve směru osy Y}} = 0,20 \text{ sec}$$

$$\bar{t}_{\text{hlava ve směru osy Y}} = 2,70 \text{ sec}$$

$$\bar{t}_{\text{hlava ve směru osy X}} = 3,83 \text{ sec}$$

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout, zhotovit a naprogramovat humanoidní hlavu robota. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí – teoretické a praktické.

Teoretická část je zaměřena na popis lidské hlavy z anatomického hlediska vycházejícího z hlavních zastupitelů humanoidních robotů, a to v čele s humanoidním robotem Sophia. Zároveň se teoretická část odkazuje na analýzu použitých pohonů, elektroniky a konfigurace.

Praktická část popisuje postup při návrhu, sestavení a programování humanoidní hlavy robota. Celkový model je zhotoven v systému Autodesk CAD Inventor 2020. Při návrhu byl kladen důraz na snadnou montáž a demontáž modelu. Celý model je navržen tak, že je umožněno jeho opakované rozebrání z důvodu výměny dílů. U řešení s nerozebíratelným spojem se nepředpokládá další rozebírání modelu.

Díly byly vytisknuty na 3D tiskárně Creality ENDER 3 PRO z filamentu PETG bílé barvy. Pro tisky byly použity dvě kilogramové cívky.

Pro zajištění funkčnosti pohybů byly použity dva druhy servomotorů – čtyři servomotory Tower Pro MG 995 a dva mikro servomotory Tower Pro SG 90. Pro konfiguraci byly zvoleny dvě kamery RunCam NANO 2, které nahrazují oči; dva Hallovy senzory KY-024 pro mapování směru přicházejícího zvuku a reproduktor FIT0449, jenž společně s pohybem čelisti slouží k simulaci verbální komunikace.

Celé řízení je realizováno za pomoci desky Arduino MEGA a Senzor Shieldu. Soustava je napájena zdrojem Manson NP-9615. Demonstrační program pro pohyb hlavy, očí a čelisti byl vytvořen v rozhraní Arduino.

Celý model sestavené humanoidní hlavy robota je pokryt silikonovou maskou, aby se svým vzhledem co nejvíce přiblížil lidskému vzhledu.

V experimentální části bakalářské práce byly vypočítány střední hodnoty časů vypovídajících o době trvání jednotlivých pohybů hlavy robota.

Na tuto bakalářskou práci je možné navázat především z hlediska IT, a to využitím zakomponovaných konfigurací. Například snímání okolí kamerou, registraci příchozího zvuku nebo přehrávání zvukové stopy reproduktorem.

Humanoidní robotická hlava prezentovaná v této bakalářské práci bude využita k sestavení celkového robota.

8 Seznam zdrojů

- [1] *Joints and their Types* [online]. Kochi, India: Amrita Learning, 2013 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <http://aven.amritalearning.com/index.php?sub=99&brch=289&sim=1440&cnt=3262>
- [2] *Neck* [online]. Britannica, 2018 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/neck-anatomy>
- [3] *TMJ Anatomy* [online]. Physiopedia, 2018 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: https://www.physio-pedia.com/TMJ_Anatomy
- [4] *Anatomy of the Eye* [online]. verywellhealth, 2020 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.verywellhealth.com/eye-anatomy-4014109>
- [5] *Variations in eyeball diameters of the healthy adults* [online]. National Library of Medicine, 2014 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25431659/>
- [6] DE PINA FILHO, Armando Carlos, ed. Humanoid Robots: New Developments. In: CANNATA, Giorgio a Marco MAGGIALI. *Design of a Humanoid Robot Eye* [online]. Italy: Advanced Robotic Systems, 2007, s. 592 [cit. 2021-12-03]. ISBN 978-3-902613-00-4. Dostupné z: https://books.google.cz/books/about/Humanoid_Robots.html?id=YOOGDwAAQBAJ&redir_esc=y
- [7] *This Humanoid Robot Head Has Facial Expressions* [online]. Autoevolution, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/this-humanoid-robot-head-has-facial-expressions-its-grin-makes-you-cringe-162355.html>
- [8] *EVA robot identifies and copies people's facial expressions* [online]. NewAtlas, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://newatlas.com/robotics/eva-robot-mirroring-facial-expressions/>
- [9] *The making of Sophia* [online]. Hanson Robotics, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.hansonrobotics.com/category/the-making-of-sophia/>
- [10] HIRTH, Jochen, Norbert SCHMITZ a Karsten BERNS. *Architecture for the Humanoid Robot Head ROMAN* [online]. 2017 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/221072302_Emotional_Architecture_for_the_Humanoid_Robot_Head_ROMAN. Výzkumná práce. Technische Universität Kaiserslautern.
- [11] *Definition, Working, And Types of Servo Motor* [online]. Engineering choice, 2020 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.engineeringchoice.com/servo-motor/>
- [12] *Definition of servo motor* [online]. ASPINA, 2020 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/what-is/004/>
- [13] *Understanding the basics of Servo Motor Working* [online]. Circuit Digest, 2015 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/servo-motor-working-and-basics>

- [14] FIROOZIAN, Riazollah. *Servo Motors and Industrial Control Theory*. Miláno, Itálie: Springer, 2015. ISBN 9780387854601.
- [15] *What is Arduino?: Overview and How to Get Started* [online]. Seeedstudio, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/04/introduction-to-the-arduino-what-is-arduino/>
- [16] *Arduino UNO R3, Pin Diagram, Specification and Applications* [online]. Elprocus, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/what-is-arduino-uno-r3-pin-diagram-specification-and-applications/>
- [17] *Arduino Uno* [online]. Components, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>
- [18] *INTRODUCTION TO ARDUINO SENSOR SHIELD* [online]. The engineering projects, 2018 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/10/introduction-to-arduino-sensor-shield.html>
- [19] *How Does a Camera Work?* [online]. Expert Photograhya, 2020 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://expertphotography.com/how-does-a-camera-work/>
- [20] *Webcams* [online]. Explain that stuff, 2018 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/webcams.html>
- [21] *What is a sound sensor? – Uses, Arduino Guide, Projects* [online]. Seeedstudio, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/01/03/what-is-a-sound-sensor-uses-arduino-guide-projects/>
- [22] *Sound Sensor Working and Its Applications* [online]. Elprocus, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/sound-sensor-working-and-its-applications/>
- [23] *Applications for Sounds sensor* [online]. The star sensors, 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://thestarsensors.com/how-does-a-sound-sensor-work/>
- [24] *Speaker* [online]. Computer Hope, 2018 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/jargon/s/speaker.htm>
- [25] *What is a Speaker?* [online]. Java T point, 2019 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/what-is-a-speaker>
- [26] Manson NP-9615. In: *Official electronic* [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.official.cz/z11573-laboratorni-zdroj-manson-np-9615>

9 Seznam obrázků

Obrázek 1.: Pohyb otočného kloubu na obě strany (1).....	11
Obrázek 2.: Lidská čelist (3).....	12
Obrázek 3.: Lidské oko svírající 55° s body vložení (6).....	12
Obrázek 4.: Eva vyjadřující šest typických řadových emocí (7).....	13
Obrázek 5.: Sophia (9).....	14
Obrázek 6.: ROMAN (10).....	15
Obrázek 7.: Modelářský servomotor MG995 (12).....	16
Obrázek 8.: Arduino UNO R3 (16).....	17
Obrázek 9.: Senzor Shield (18).....	18
Obrázek 10.: Runcam Nano 2 FPV Camera (19).....	19
Obrázek 11.: Modul mikrofonu pro jednodeskové počítače (23).....	20
Obrázek 12.: Reprodukční FIT0449 (23).....	21
Obrázek 13.: Sestava mechanismu pro vodorovný pohyb: 1-krk, 2- ložisko DIN 51207, 3-váleček, 4- deska, 5-hnané ozubené kolo, 6-pastorek, 7-servomotor Mg995.....	23
Obrázek 14.: Sestava mechanismu pro svislý pohyb (neviditelná součást pravého temene pro lepší znázornění): 1- temeno, 2- držák servomotoru, 3- hřídel, 4- ložisko ČSN 02 463, 5- poklička, 6- podstavy.....	25
Obrázek 15.: Sestava mechanismu pro pohyb čelisti: 1- horní část lidské masky, 2- čelistní část lidské masky, 3- ložisko ČSN 02 4630.....	26
Obrázek 16.: Sestava mechanismu pro pohyb očí – 1. pohled: 1- horní část lidské masky, 2- kostra očí, 3- ložisko ČSN 02 4630, 4- servomotor SG 90, 5- bulva.....	28
Obrázek 17.: Sestava mechanismu pro pohyb očí - 2. pohled.....	28
Obrázek 18.: Sestavený model z boku.....	31
Obrázek 19.: Sestavený model zepředu.....	31
Obrázek 20.: Model hlavy z horního pohledu bez vršku.....	32
Obrázek 21.: Model hlavy - krk z horního pohledu.....	33
Obrázek 22.: Manson NP-9615 (26).....	34
Obrázek 23.: Arduino deska MEGA 2560 R3 společně s Arduino MEGA Senzor Shieldem v2.0 s napájecími kabely.....	34
Obrázek 24.: Konečné sestavení modelu humanoidní hlavy robota.....	35
Obrázek 25.: Vývojový diagram programu pro řízení humanoidní hlavy robota.....	37

10 Seznam příloh

Příloha č. 1: SD karta