

Robotická ruka – dokumentácia

Meno a priezvisko:

Tomáš Franek

Názov školy:

Stredná priemyselná škola informačných
technológií Ignáca Gessaya Tvrdošín

Študijný odbor:

Mechatronika

Trieda:

IV.B

Názov práce:

Robotická ruka

Súťažná kategória:

Konštrukcie strojov a zariadení

Cieľ práce:

Cieľom tohto projektu bolo zostrojiť funkčnú robotickú ruku, ktorá by slúžila ako učebná pomôcka pre žiakov.

Stručný popis práce:

Robotická ruka je riadená mikrokontrolérom Arduino Mega2560. Všetky jej časti boli navrhnuté v programe Fusion360 a následne vytlačené na 3D tlačiarňi. Pohony jednotlivých kĺbov sú servo motorčeky. Súčasťou robotickej ruky je taktiež špeciálne navrhnutý ovládač (Teach-pendant), ktorý slúži na jednoduché riadenie. Robotickú ruku je možné programovať aj samostatne bez ovládača.

Spôsob využitia:

Robotická ruka by v praxi mohla slúžiť ako učebná pomôcka pre žiakov. Vďaka komplexnosti práce môžu žiaci získavať zručnosti z viacerých oblastí ako napríklad elektrotechnika, konštruovanie, strojárstvo, mechatronika, programovanie, robotika a mnohoiných. Žiaci si môžu prakticky vyskúšať stavbu jednoduchého robota od montáže častí a elektrického zapojenia až po samotné programovanie.



Úvod

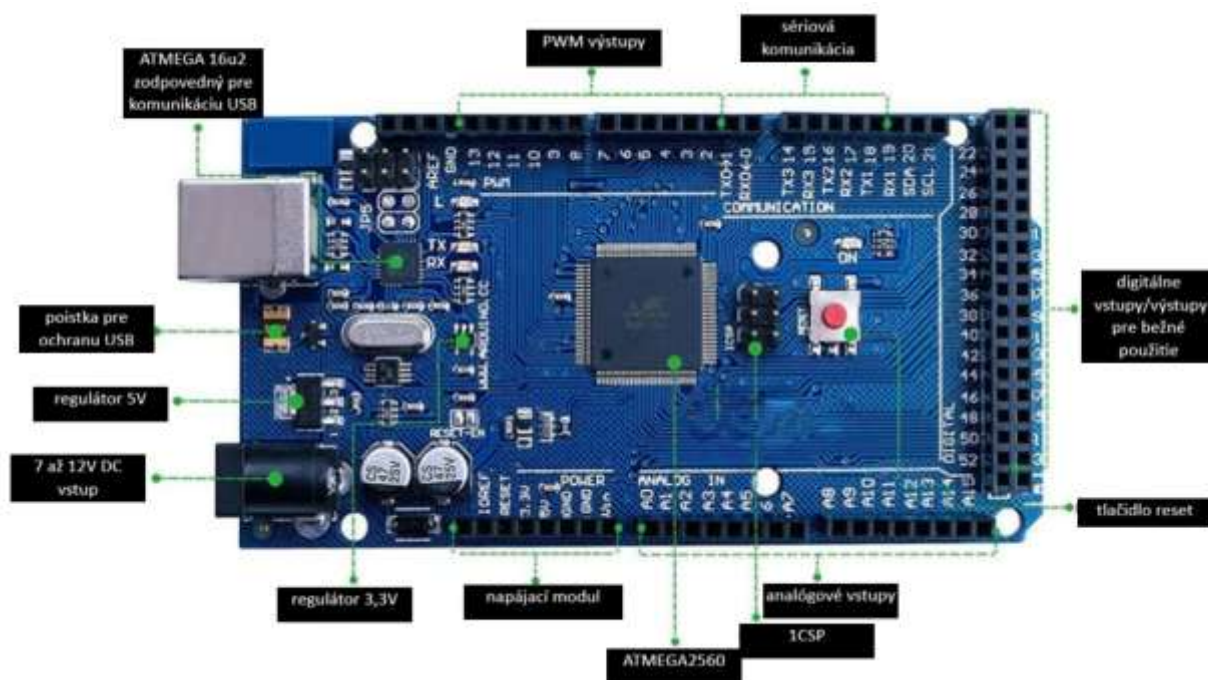
Hlavným cieľom môjho vlastného projektu bolo vytvoriť robotickú ruku, ktorá by mala najmenej 5 stupňov voľnosti a slúžila by ako učebná pomôcka pre žiakov. Rozhodol som sa pre túto prácu preto, lebo som videl priestor na zlepšenie učebných pomôcok žiakov mechatroniky. V súčasnosti sú náklady na kúpu robotickej ruky veľmi vysoké a často ani nezodpovedajú kvalite. Vzhľadom na tieto podmienky som bol presvedčený, že vďaka vedomostiam z odboru mechatronika, je možné skonštruovať robotickú ruku, ktorej náklady na výrobu by boli výrazne menšie a svojou konštrukciou by pripomínala moderné kolaboratívne roboty. Robotická ruka by bola ovládaná pomocou vývojovej dosky Arduino Mega 2560 a dokázala by pracovať vo väčšom rozsahu a vykonávať aj zložitejšie úlohy. Súčasťou by bol aj teach-pendant, ktorý by bol špeciálne navrhnutý tak, aby ponúkal jednoduché ovládanie. Myslím, že vďaka tejto práci by škola dokázala ušetriť na nákladoch pri kúpe učebných pomôcok a zároveň žiakom ponúknuť kvalitnejšie vzdelanie v oblasti robotiky, mikrokontrolérov a programovania, ktoré tvoria veľmi významnú časť odboru mechatronika.

Popis komponentov

Vývojová doska Arduino Mega 2560 a shield

Arduino Mega 2560 je výkonná vývojová doska založená na mikrokontroléri ATmega2560. Toto Arduino som zvolil preto, pretože na rozdiel od klasickej verzie Arduino UNO ponúka viac flash pamäte (až 256kB), vďaka čomu je možné nahráť aj rozsiahlejšie a zložitejšie programy. Keďže moja práca vyžaduje napájanie mnohých komponentov (napríklad motorčeky, tlačidlá, displeje atď.), veľkou výhodou je aj väčší počet digitálnych a analógových vstupov a výstupov. Pre ľahšie pripojenie vodičov som použil shield pre Arduino 2560. Hlavné technické parametre:

- **Mikrokontrolér:** ATmega2560 (16MHz)
- **Prevádzkové napätie:** 5V
- **Vstupné napätie (odporúčané):** (7-12V)
- **Digitálne I/O piny:** 54 (z toho 15 poskytuje PWM výstup)
- **Analógové vstupné piny:** 16
- **Flash pamäť:** 256KB(8 KB pre bootloader)
- **SRAM:** 8KB



Obr.1:Popis častí vývojovej dosky Arduino Mega2560

Servo motorček MG996R

Pohonmi jednotlivých kĺbov sú servo motorčeky. Rozhodol som sa tak preto, pretože ponúkajú dostatočný krútiaci moment, rýchlosť a sú dostupné za dobrú cenu. Pre niektoré kĺby som zvolil konkrétne motorčeky typu MG996R.

Hlavné parametre:

Operačné napätie: 4.8V – 7.2V
Operačný prúd: 500mA, pri záťaži 2.5A (6V)
Uhol otáčania: 270°
Rozmery: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm
Krútiaci moment: 11 kgf·cm (6 V)
Rýchlosť: 0.14 s/60° (6 V)



Obr.2: Servo motorček MG996R



Obr.3: Servo motorček LD-27MG

Servo motorček LD-27MG

Pre dva pohony, ktoré sú zaťažované najviac (spodné), som zvolil tento servo motorček s kovovými prevodmi a väčším krútiacim momentom, pre zaručenie správneho a plynulého chodu.

Hlavné parametre:

Rýchlosť:	60°/0.16sec
Otáčanie:	270°
Krútiaci moment:	20kg.cm (6.6V)
Pracovné napätie:	4.8 – 7.4V
Prúd:	1A
Prúd bez záťaže:	100mA
Rozmery:	40 x 20 x 40.5mm

Displej LCD 20×4

Tento LCD displej som použil na zaznamenávanie informácií. Má štyri riadky, do ktorých je možné napísať až 20 znakov. Má biele písmo a tmavomodré podsvietenie. Tento typ displeja som si vybral preto, lebo je ľahko kompatibilný s vývojovou doskou Arduino.

LED tlačidlo

Pre ovládanie robotickej ruky som využil kovové tlačidlá s červeným LED podsvietením. Použité boli dva typy – momentové (po stlačení sa vrátia naspäť do pôvodnej polohy) a západkové (po stlačení ostávajú stlačené a pre vrátenie do pôvodnej polohy je nutné ich opätovné stlačenie). Taktiež boli použité aj dve rôzne veľkosti (16mm a 22mm).

Hlavné parametre:

Pracovné napätie:	3-9V
Farba:	červená

Gripper

Časť robotickej ruky, ktorá slúži na uchopovanie predmetov. Je vyrobená z hliníka a je dizajnovaná pre motorček MG996R.

Hlavné parametre:

Maximálny úchop:	55mm
Dĺžka:	108mm
Šírka:	98mm



Obr.4: LCD displej



Obr.5: LED tlačidlá



Obr.6: Gripper

Rotačný potenciometer

Pasívna odporová elektronická súčiastka k Arduino. V mojom zapojení slúži na riadenie polohy servo motorov.

Hlavné parametre:

Hmotnosť: 8g

Typ potenciometra: B5K

Napájací zásuvkový nastaviteľný impulzný zdroj

V zapojení slúži ako napájanie pre Servo motorčeky a tlačidlá. Vďaka tomu, že je nastaviteľný, dokážeme regulovať veľkosť napätia.



Obr.7: Potenciometer

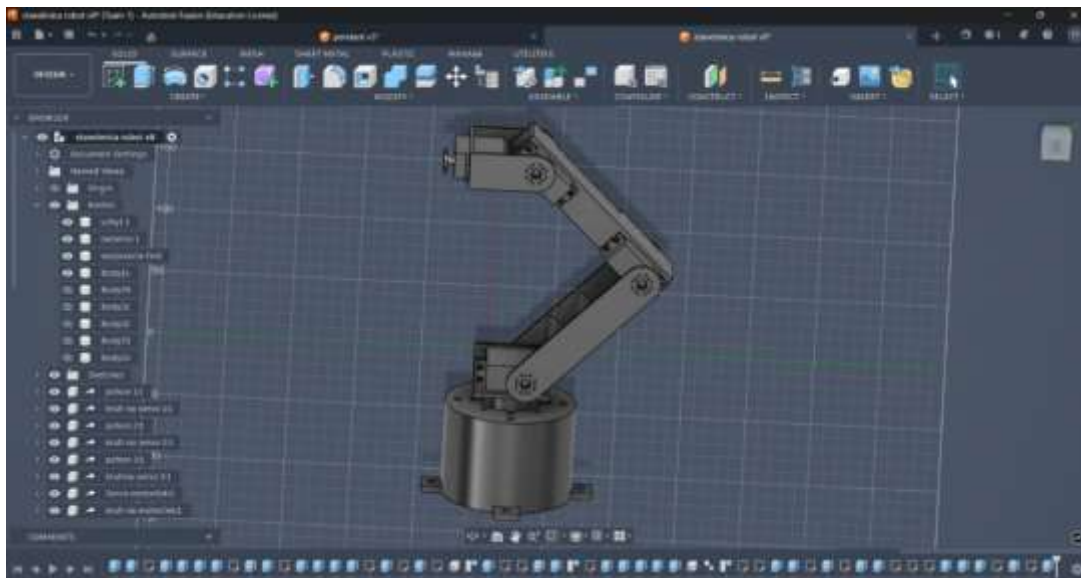


Obr.8: Nastaviteľný impulzný zdroj

Praktická časť

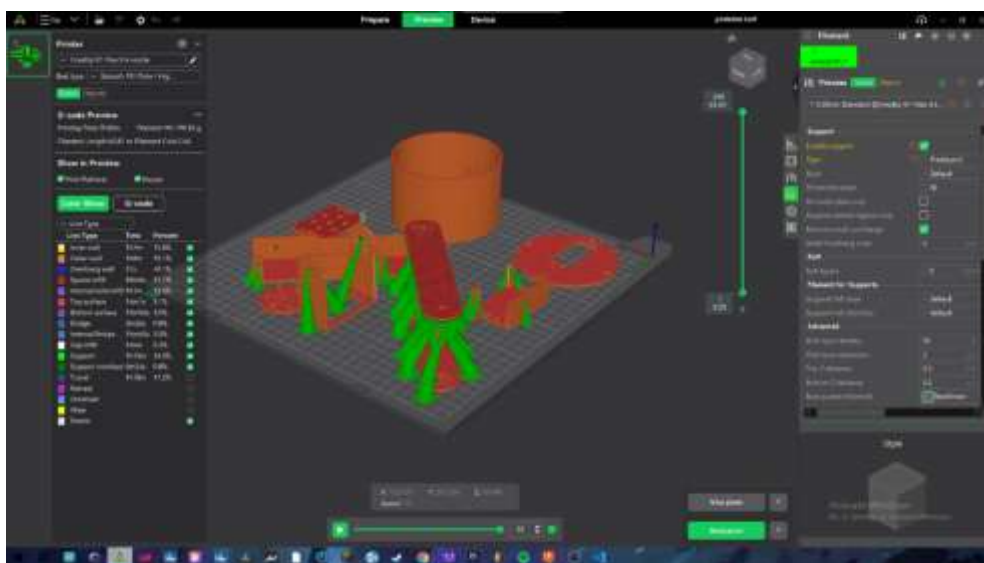
Pred začatím samotnej práce bolo potrebné dopodrobna premyslieť, ako bude robotická ruka vyzeráť a ako bude fungovať. Bolo nutné zvoliť správne pohony, riadiacu jednotku a materiál, z ktorého bude vytvorená konštrukcia. Taktiež bolo potrebné presne určiť, na čo bude robotická ruka použitá a uspôsobiť tomu komponenty (napríklad pre zdvíhanie ťažších bremien by bolo potrebné namontovať ako koncový efektor gripper a použiť čo najsilnejšie pohony). Keďže moja robotická ruka mala byť určená predovšetkým ako učebná pomôcka zvolil som jednoduchú konštrukciu zhotovenú na 3D tlačiarňi. Pre pohony som si vybral servo motorčeky, pretože ponúkajú dostatočný krútiaci moment, jednoduché ovládanie aj napájanie. Krokové motory by boli lepšou možnosťou v prípade, že by sme chceli dosiahnuť väčší krútiaci moment, no náklady na výrobu s krokovými motormi by boli výrazne väčšie. Pri voľbe komponentov bolo nevyhnutné myslieť aj na hospodárnosť, to znamená, že pri návrhu konštrukcie použijeme vhodné materiály za čo najlepšiu cenu a samotnú konštrukciu zbytočne nepredimenzujeme. Diely by mali byť čo najľahšie aby sa zvýšila nosnosť robota, no zároveň musia byť pevné, aby sa predišlo poškodeniu. Vďaka týmto poznatkom bolo možné začať pracovať na modele projektu.

Konštruovanie modelu vo Fusion360



Obr.9: Ukážka prostredia programu Fusion360

Konštruovanie robotickej ruky bolo nepochybne najťažšou časťou celej práce. Pri konštruovaní som využíval program Fusion360, ktorý ponúka možnosti vytvárania 3D modelov aj technických výkresov. Modelovanie dielov bolo náročné, keďže všetky museli byť vymyslené a navrhnuté tak, aby po montáži tvorili funkčný celok. Pri návrhu bolo potrebné myslieť na to, aby diely boli dostatočne pevné a nezlomili sa pri mechanickom zaťažení. V praxi to znamenalo zvoliť správnu hrúbku dielov a zvoliť dostatočne veľké rozmery pre dané zaťaženie, no taktiež nenavrhnúť zbytočne veľké komponenty, ktoré by mohli znížiť schopnosť robota prenášať predmety. Základ pri návrhu tvorili servo motorčeky, ktoré majú jasne zadané rozmery a preto všetky ostatné časti boli pridávané tak, aby sa dali k motorčekom pripojiť. Keďže sa jedná o robotickú ruku, jej časti sú rozdelené na základňu, rameno, kĺb, zápestie a koncový efektor. Všetky časti boli postupne pridávané k motorčekom a tvorené tak, aby spájali jednotlivé komponenty. Výsledkom práce bol hotový model robotickej ruky, ktorého časti bolo možné vytlačiť na 3D tlačiarňu a zmontovať pomocou skrutiek.



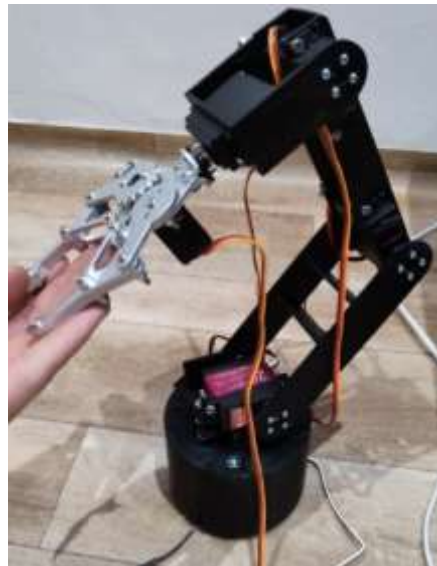
Obr.10: Ukážka prostredia programu PrusaSlicer

Zhotovenie častí na 3D tlačiarňi

Tlač trvala viac ako 7 hodín a vďaka rozmerom 3D tlačiarne bolo možné vytlačiť všetky časti súčasne. Materiálom pre výrobu bol PETG filament, ktorý ponúkal dostatočnú pevnosť a odolnosť. Na prípravu STL súborov pre tlač bol použitý program PrusaSlicer. Po vytlačení a odstránení supportov boli diely pripravené pre montáž.

Montáž častí a zapojenie vodičov

Diely som spájal pomocou malých skrutiek. Bolo dôležité, aby spoje boli čo najpevnejšie, pretože každá voľná časť by znamenala zníženie presnosti robota. Špeciálne navrhnuté guľčkové ložisko muselo byť otočené tak, aby nevypadli guľčiky cez otvor na ich vkladanie. To mohlo nastať len vtedy, keď je vonkajší a vnútorný krúžok v jednej určitej polohe. Keďže servo motorček LD-27MG má uhol otočenia len 270 stupňov, je možné otočiť vonkajší krúžok tak, aby sa pri pohybe v rozsahu servo motorčeka nepohyboval cez danú polohu, a tým zaistiť, aby guľčiky nevypadli. Ostatné časti bolo možné len jednoducho pospájať podľa návrhu.



Obr.11: Ukážka hotovej konštrukcie

Tvorenie teach-pendantu

Teach pendant je nevyhnutnou súčasťou väčšiny súčasných kolaboratívnych robotických rúk. Zaručuje jednoduché ovládanie pomocou elektronických súčiastok a prináša aktuálne informácie o stave zariadenia, ktoré sa zobrazia na displeji. Teach-pendant, ktorý som sa rozhodol skonštruovať je navrhnutý špeciálne pre túto robotickú ruku. Poskytuje ovládanie



Obr.12: Predná strana teach-pendantu

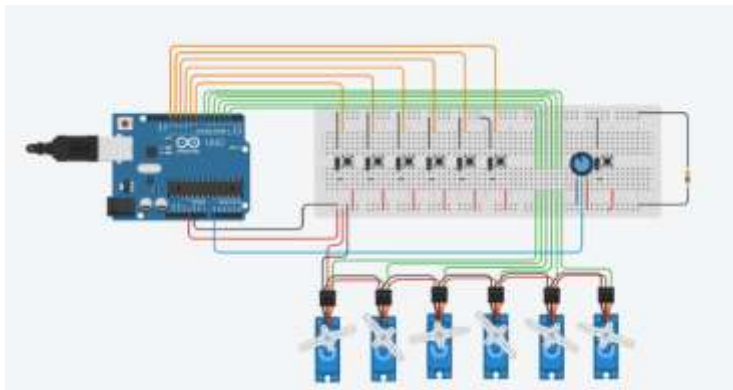


Obr.13: Zadná strana teach-pendantu

pomocou tlačidiel a potenciometrov, vďaka ktorým je možné jednoducho riadiť polohy jednotlivých servo motorčekov. Súčasťou teach-pendantu je taktiež LCD displej, ktorý zobrazuje informácie o polohách servo motorčekov a tlačidlo „central stop“, ktoré slúži pre núdzové vypnutie zariadenia. Konštrukcia bola opäť navrhnutá v programe Fusion360 a následne vytlačená na 3D tlačiarňi. Elektrické súčiastky boli pripojené podľa schémy zadanej v ich technickej dokumentácii a zároveň podľa navrhutej elektrickej schémy obvodu.

Tvorenie elektrickej schémy

Na tvorbu elektrickej schémy som použil webstránku Tinkercad, s ktorou som často pracoval v škole. Táto stránka slúži na tvorbu elektrických schém a programov pre vývojové dosky Arduino. Ponúka aj možnosť simulácie zapojenia a programu, čo mi veľmi pomohlo, pretože som mohol otestovať či dané zapojenie funguje predtým, ako ho uvediem do činnosti. Vďaka simulácii je možné predísť možným chybám, úrazom alebo poškodeniam súčiastok. Schéma pre ovládanie robotической ruky je pomerne jednoduchá. Zapojenie jednotlivých komponentov je popísané v ich technickej dokumentácii a vývojová doska Arduino ponúka dostatočný počet vstupných a výstupných pinov, na



Obr.14: Schéma zapojenia

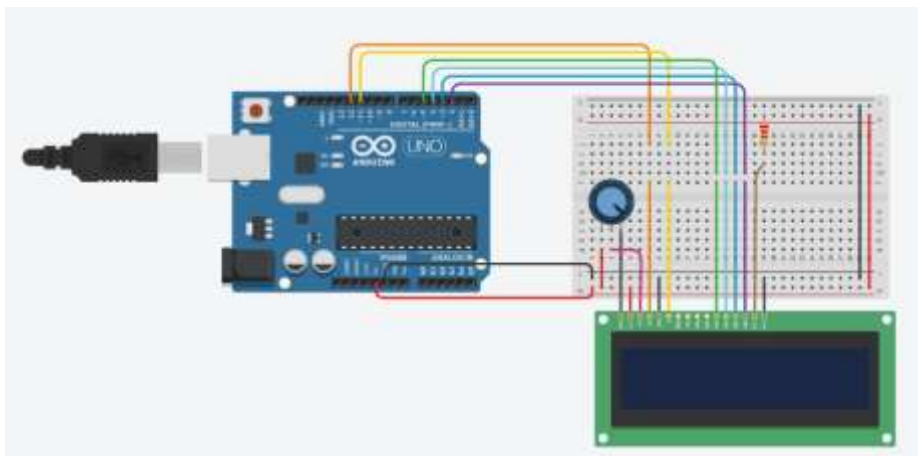
ktoré je možné komponenty pripojiť. Po zhotovení schémy a následnej simulácii sa ukázalo, že zapojenie funguje správne.

Zapojenie schémy

Keďže schéma v simulácii pracovala správne, bolo možné overiť činnosť zapojenia. Pri zapájaní som použil svorky typu WAGO, pre spojenia, ktoré by sa v budúcnosti ešte mohli meniť. Pre pevné spojenia som využil metódu spájkovania cínom. Pred samotným pripájaním však bolo potrebné otestovať funkčnosť komponentov.

Testovanie funkčnosti jednotlivých servo motorčekov a tlačidiel

Najprv som sa rozhodol otestovať, či sú všetky servo motorčeky funkčné a pracujú správne. Taktiež bolo potrebné zistiť, či servo motorčeky majú dostatočný krútiaci moment a zvládnu zaťaženie. Postupne som motorčeky pripájal k vývojovej doske Arduino mega2560 a pozoroval plynulý chod, presnosť zadanej polohy a celkovú funkčnosť. Podobne som to spravil aj neskôr s tlačidlami, ktoré som testoval pomocou jednoduchšej schémy, kde mali spínať jednoduchý DC motorček.



Obr.15: Schéma zapojenia LCD displeja

Testovanie LCD displeja

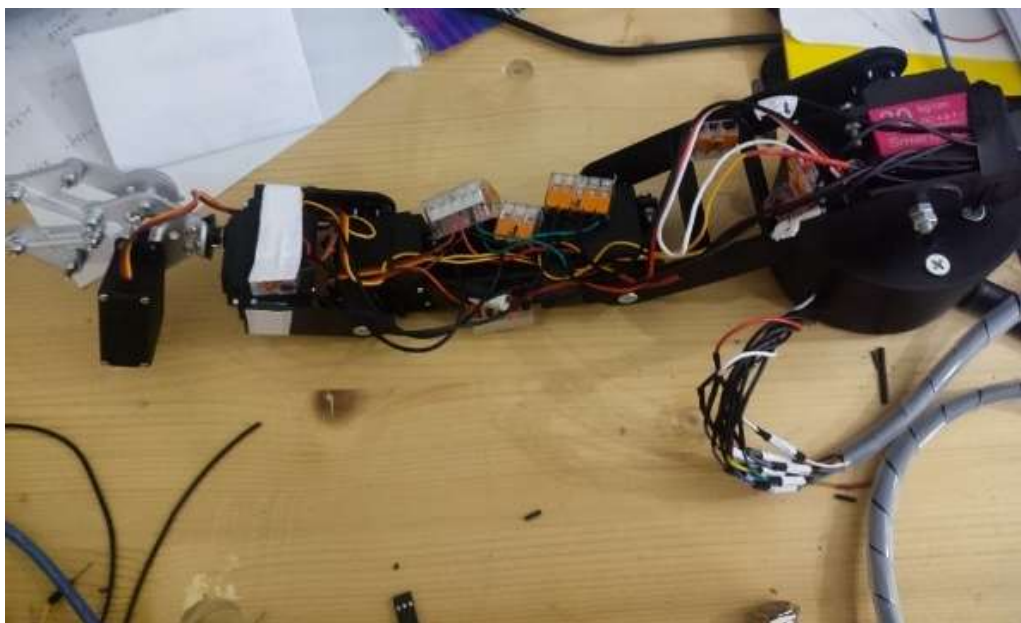
Funkčnosť LCD displeja som otestoval jednoducho pripojením k vývojovej doske a nahraním programu, ktorý mal premietiť text na displeji. Po rozsvietení a zobrazení textu sa ukázalo, že displej funguje správne.

Príprava vodičov, spájkovanie a pripájanie

Pred zapájaním komponentov som si pripravil vodiče, ktoré som skrátil na požadovanú dĺžku a odizoloval som ich tak, aby ich bolo možné zapojiť. Keďže každý servo motorček sa pripájal pomocou špeciálneho konektora, ktorý nebol dosť pevný, rozhodol som sa konektor odstrániť a nahradiť spojenie svorkou WAGO alebo vodiče spojiť spájkovaním.

Pri spájkovaní som dbal na základné zásady spájkovania a vždy som aj overil pevnosť a kvalitu spojov pomocou multimetra. Pokiaľ bol spoj správne spojený spájkou, umiestnil som na miesto spoja bužírku, aby sa predišlo poškodeniu spoja. Bužírka taktiež nahrádza vonkajšiu izoláciu vodičov. Po dôkladnej príprave vodičov som vodiče pozapájal podľa vopred pripravenej schémy a pooznačoval ich, aby zapojenie bolo prehľadné. Najprv som pripojil vodiče pre ovládanie servo motorčekov (VCC, GND, signálový vodič).

Vďaka shieldu bolo pripojenie k Arduino Mega2560 rýchle a jednoduché. Následne som pripojil vodiče tlačidiel, displeja a ostatných elektrických súčiastok podľa vytvorenej schémy. Bolo potrebné dbať na správne zapojenie, aby sa súčiastky nepoškodili a aby fungovali správne. Dôležité bolo aj pripojiť správne napájacie napätie k motorčekom. Arduino Mega2560 má zabudované výstupy pre 5V a GND, no zariadenia ako servo motorčeky by sa nemali pripájať priamo na tieto výstupy. Na budenie motorčekov by mal slúžiť iný impulzný zdroj, ktorý spĺňa ich parametre (napájacie napätie a prúd).



Obr.16: Pripájanie vodičov

Tvorba programu a simulácia

Pre tvorbu programu som zvolil webstránku tinkercad, pretože ponúka možnosť kompilácie (opravy chýb) a simulácie. Program je zložený z niekoľkých častí a je tvorený v jazyku C++. Po kompilácii som program skopíroval a premiestnil do prostredia aplikácie Arduino IDE. Pri programovaní vývojovej dosky Arduino je potrebné stiahnuť si túto aplikáciu aj knižnice pre servo motorčeky a LED displej pre ľahšie programovanie. Program je rozdelený na viacero častí kvôli prehľadnosti. Jeho základnou funkciou je ovládanie jednotlivých kľbov pomocou potenciometra. Stlačením tlačidla na Teach-pendante je možné zvoliť, ktorý motorček chceme ovládať a následným otáčaním potenciometra môžeme meniť polohu servo motorčeka. V programe je aj možné naprogramovať to, aby robot vykonával jednoduchú úlohu ako napríklad premiestňovanie objektov alebo jednoduché montážne úlohy.

```

1 #include <Servo.h>
2 #include <liquidCrystal.h>
3 #include <Adafruit_NeoPixel.h>
4
5 #define PIN 8
6 #define LED_COUNT 24
7
8 Adafruit_NeoPixel ring(LED_COUNT, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
9
10 uint16_t offset = 0;
11
12 const int rs = 20, en = 19, d4 = 18, d5 = 17, d6 = 16, d7 = 15; // zadanie pinow pre ICD
13 LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); //zadanie ICD displeja
14 int cas = 1000;
15 int val = 0;
16 int analogPin = A0;
17 int a = 0; // zadanie prawnnych
18
19 Servo Servo1;
20 Servo Servo2;
21 Servo Servo3;

```

Obr.17: Časť programu

Obr. 18 Ukážka časti elektrickej schémy