

VOŠ a SPŠ Rychnov nad Kněžnou

Projekt z předmětu

Automatizační technika

Model servopohonu

Zadání

Navrhňte a sestavte model servopohonu pro výuku se stejnosměrným motorem s převodovkou. Snímání polohy bude realizováno potenciometrem, resp. magnetickým enkodérem. Mechanickou konstrukci navrhňte pro snadnou výměnu snímače polohy, nebo jako dvě varianty modelu.

Elektrické zapojení připravte pro snadné připojení k řídicímu mikrokontroleru – signály pro ovládání H-můstku a ze snímače polohy (1. konektor – napájení a ovládání elektromotoru, 2. konektor – napájení a signály snímače).

Pro obě varianty snímače polohy připravte ukázkový kód pro mikrokontroler realizující funkci:

- polohového servopohonu s možností nastavení maximální rychlosti
- pro magnetický enkodér i rychlostní servopohon

1 Volba komponent a návrh elektrického zapojení

Použité komponenty:

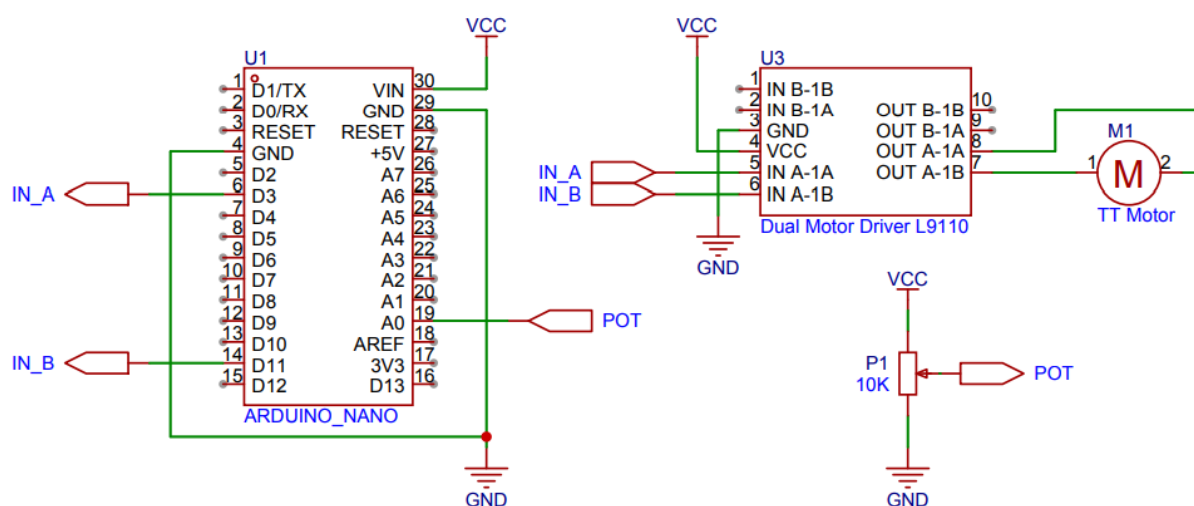
- stejnosměrný elektromotor s převodovkou (TT motor)
- H-můstek (L9110)
- lineární potenciometr 10k
- magnetický rotační enkodér (AS5600)

Elektrická část obsahovat výkonovou část pro ovládání stejnosměrného elektromotoru, která bude realizována modulem H-můstku s integrovaným obvodem L9110. Můstek je řízen dvěma vstupními signály, pomocí nichž je určen směr pohybu elektromotoru a napájení. Propojení můstku s elektromotorem je provedeno pájenými vodiči.

Funkci snímače bude zastávat lineární potenciometr. Potenciometr bude zapojen jako napěťový dělič, budou použity dva vodiče pro napájení a jeden z jezdce potenciometru pro přenos analogového signálu do mikroprocesoru.

Ve druhé variantě bude jako snímač polohy použit magnetický enkodér s výstupem pulzně šířkovou modulací (šířka impulsu odpovídá poloze). Rozlišení snímače je 4096 kroků na otáčku. Připojení bude opět napájení a signál do mikrokontroleru.

1.1 Schéma zapojení – varianta s potenciometrem

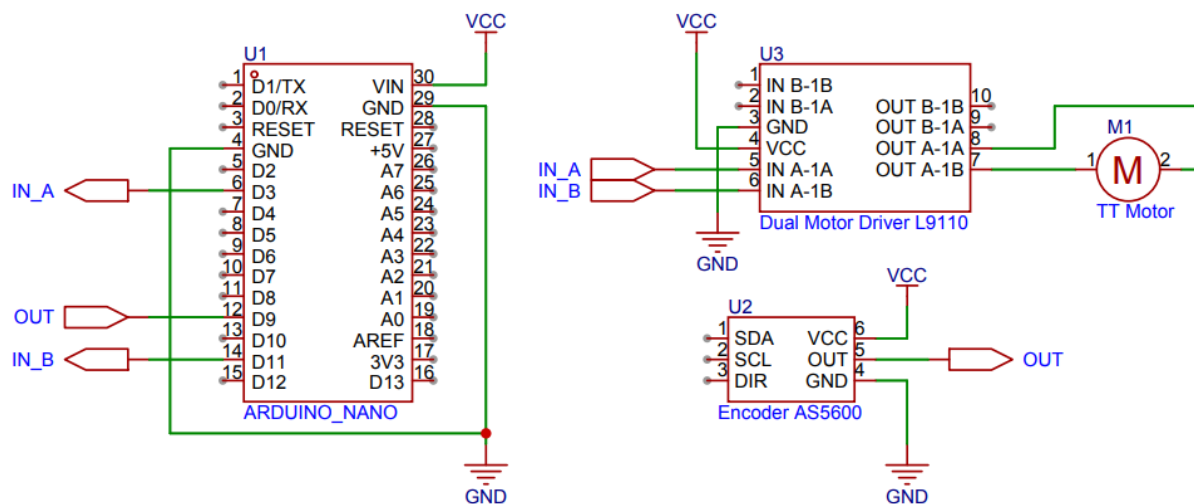


Obrázek 1: Schéma zapojení servopohonu s potenciometrem pro snímání polohy

Označení	Popis	Typ	Kusů
U1	řídící deska	Arduino Nano	1
U3	H-můstek	L9110	1
M1	stejnosměrný elektromotor	TT motor	1
P1	potenciometr lineární	10 kΩ	1
	propojovací vodiče	Dupond	7

Tabulka 1: Seznam součástek

1.2 Schéma zapojení – varianta s magnetickým enkodérem



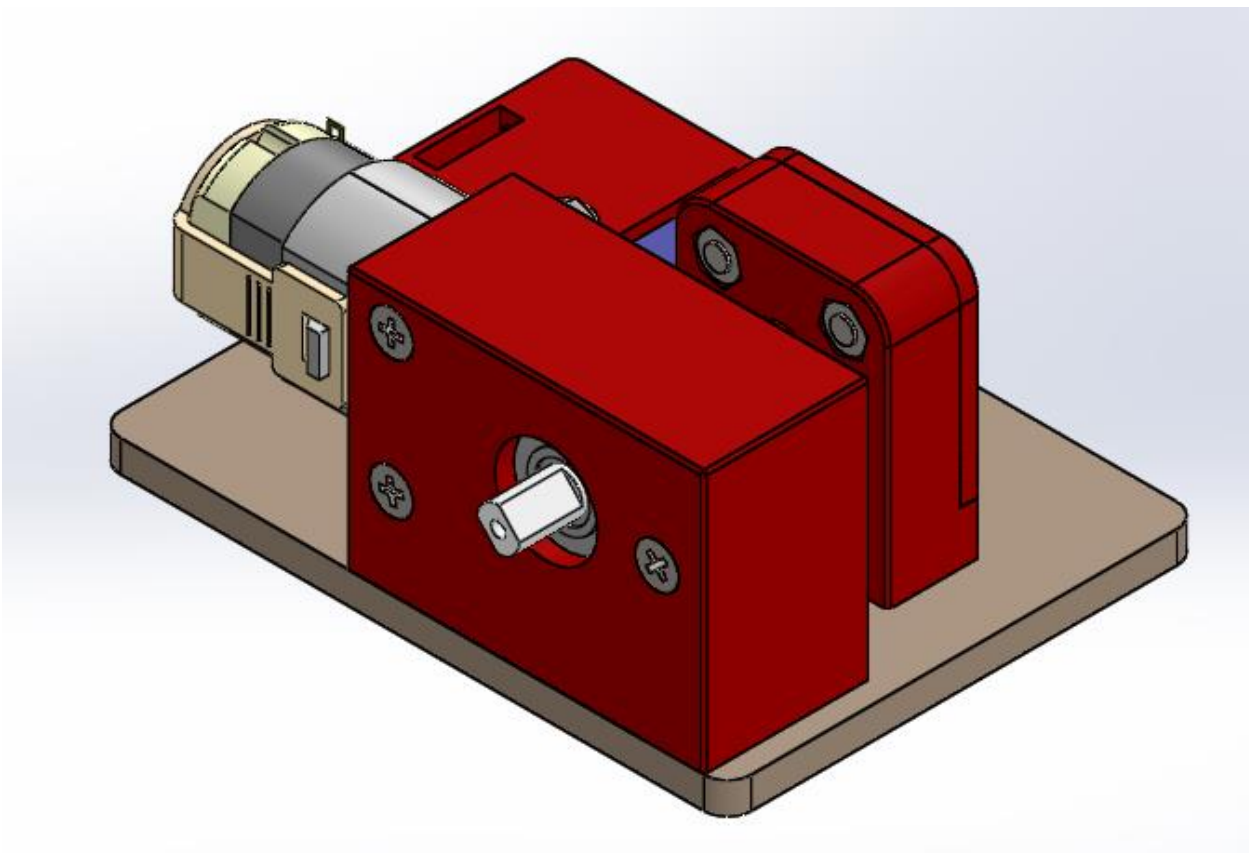
Obrázek 2: Schéma zapojení servopohonu s magnetickým enkodérem pro snímání polohy

Označení	Popis	Typ	Kusů
U1	řídící deska	Arduino Nano	1
U3	H-můstek	L9110	1
M1	stejnoseměrný elektromotor	TT motor	1
U2	magnetický enkodér	AS5600	1
	propojovací vodiče	Dupond	7

Tabulka 2: Seznam součástek

2 Mechanické řešení

Mechanická konstrukce je řešena držáky motoru, snímače a H-můstku vyrobenými metodou 3D tisku z materiálu PLA. Ty jsou přišroubovány na základovou desku z překližky. Dalším tištěným dílem je spojka, resp. hřídel spojující osu motoru s osou snímače.



Obrázek 3: Sestava servopohonu

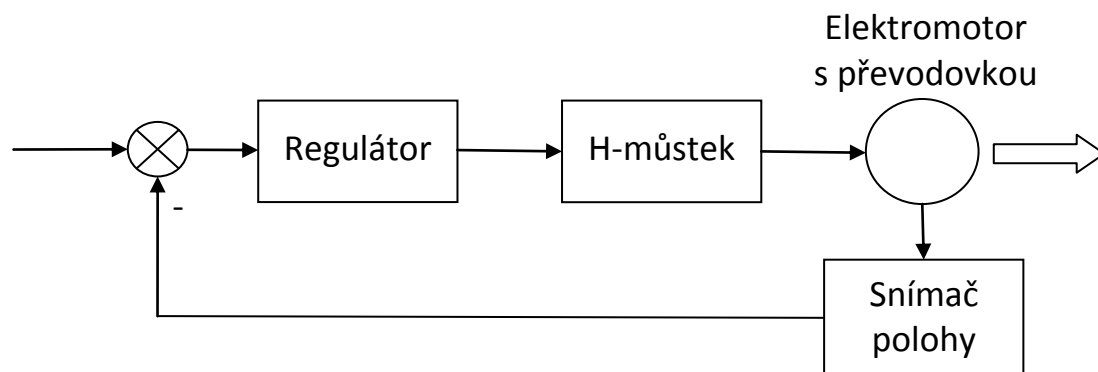
2.1 Výkresová dokumentace

- Příloha 1 – Základová deska (rozměry)
- Příloha 2 – Servopohon s magnetickým enkodérem (montážní sestava)

3 Programové řešení

3.1 Struktura programu

Program realizuje standardní regulační smyčku pro regulaci polohy.



Je rozdělen do samostatných částí pro zjištění aktuální polohy, výpočet regulačního zásahu a pro realizaci regulačního zásahu. Ty jsou tvořeny samostatnými objekty. Tato modularita umožňuje snadnou změnu softwaru, tak hardwaru, např. pro změnu snímače polohy stačí zaměnit část měření polohy.

3.2 Obsluha snímače polohy – magnetický enkodér

Použitý magnetický enkodér má pulzně šířkový výstup. Celý rámeček trvá 4250 us, ten je rozdělen na 4351 dílků, kde prvních 128 je vždy 1, následuje 4095 dílků, které vyjadřují polohu 0 až 4095 odpovídající úhlu v rozsahu 0 – 360°.

Zdrojový kód objektu pro měření polohy magnetickým enkodérem.

```
class Encoder {
public:
    Encoder(uint8_t p = ICP);
    float position();
private:
    uint8_t pin;
    int16_t z = 2047; // predchozi poloha
    int16_t r = 0;    // pocet otoceni z vychozi polohy
};

Encoder::Encoder(uint8_t p) {
    pin = p;
    pinMode(pin, INPUT);
}

float Encoder::position() {
    int16_t x = pulseIn(pin, 1);
    x = (4351UL * x) / 4250 - 128;

    int16_t d = x - z;
    if (d > 3072) r--;
    if (d < -3072) r++;
    z = x;

    float y = 360.0f * x / 4096 + 360.0f * r;
    return y;
}
```

3.3 Ovládání elektromotoru pomocí H-můstku

K řízení stejnosměrného elektromotoru je použit H-můstek se dvěma vstupy, pro jeden a druhý směr otáčení. Obsluha je napsaná tak, že vstupní hodnota je v rozsahu -100 až 100, to odpovídá procentuální hodnotě napětí, kterým je motor napájen pomocí pulzně-šířkové modulace.

Protože má použitý elektromotor široké pásmo necitlivosti (při nízkém napětí se netočí – velké odpory), je hodnota minimálního plnění PWM zvýšena na hodnotu 70 (zjištěno experimentálně).

Zdrojový kód objektu pro řízení elektromotoru

```
#define IN_A    11
#define IN_B    3

class Motor {
public:
    Motor(uint8_t A = IN_A, uint8_t B = IN_B);
    void power(float x);
private:
    uint8_t motorA, motorB;
};

#define MIN 70
#define MAX 255

Motor::Motor(uint8_t A, uint8_t B) {
    motorA = A;
    motorB = B;
    pinMode(A, OUTPUT);
    pinMode(B, OUTPUT);
}

void Motor::power(float u) {
    int16_t x = 0;
    if (u > 0) {
        x = map(u, 0, 100, MIN, MAX);
    } else if (u < 0) {
        x = map(u, -100, 0, -MAX, -MIN);
    }
    x = constrain(x, -MAX, MAX);
    if (x == 0) {
        digitalWrite(motorA, 0);
        digitalWrite(motorB, 0);
    } else if (x < 0) {
        digitalWrite(motorB, 0);
        analogWrite(motorA, -x);
    } else {
        digitalWrite(motorA, 0);
        analogWrite(motorB, x);
    }
}
```

3.4 Regulátor

Pro výpočet regulačního zásahu slouží objekt regulátoru, realizující standardní PID regulátor.

Zdrojový kód objektu PID regulátoru

```
class PID {
public:
    PID();
    float action(float w, float y);
    void setting(float P, float I, float D, float Umin, float Umax, float F);
protected:
    float    uMin = -100;
    float    uMax = 100;
    float    kF = 0;
    float    kP = 2;
    float    kI = 0;
    float    kD = 0;
    float    ePrev;
    float    iPrev;
};

PID::PID() {
    ePrev = 0;
    iPrev = 0;
}

float PID::action(float w, float y) {
    float e = w - y;
    float de = e - ePrev;
    ePrev = e;

    float uF = kF * w;
    float uP = kP * e;
    float uI = kI * (iPrev + e);
    float uD = kD * de;

    float u = uF + uP + uI + uD;

    if (u > uMax)
        u = uMax;
    else if (u < uMin)
        u = uMin;
    else
        if (kI != 0) iPrev += e;

    return u;
}

void PID::setting(float P, float I, float D, float Umin, float Umax, float F) {
    kF = F;
    kP = P;
    kI = I;
```

```
kD = D;
uMin = Umin;
uMax = Umax;
}
```

3.5 Hlavní program

V hlavním programu jsou vytvořeny objekty snímače polohy, regulátoru a ovládání motoru. Pro nastavování požadované polohy je použit potenciometr. Následuje nastavení parametrů regulátoru. Hodnoty byly určeny experimentálně a určitě by šlo nastavení vylepšit.

V hlavní smyčce programu se načte požadovaná hodnota polohy z potenciometru, hodnota aktuální polohy ze snímače. Regulátor vypočte požadovaný akční zásah a ten je následně aplikován při ovládání elektromotoru.

Zdrojový kód programu

```
#include "encoder.h"
#include "motor.h"
#include "pid.h"

#define W      A1

Encoder encoder;
PID controller;
Motor motor;

void setup() {
  pinMode(W, INPUT);
  controller.setting(3.0f, 0.01f, 0.5f, -100, 100, 0);
}

void loop() {
  float w = map(analogRead(W), 0, 1023, 0, 360);
  float y = encoder.position();

  float u = controller.action(w, y);

  motor.power(u);
}
```

4 Finanční a časový rozbor

4.1 Finanční rozbor projektu

V tabulce jsou uvedeny ceny nakupovaných dílů. U dílů vyráběných je proveden odhad ceny dle spotřebovaného materiálu (3D tisk, řezání laserem).

Pozice	Název	Popis	Materiál	Kusů	Cena
1	Deska	ATE - 01 - 01	Překližka 6 mm	1	5 Kč
2	Držák motoru	3D tisk	PLA	1	17 Kč
3	DC motor s převodovkou	Solarbotics GM9		1	38 Kč
4a	H-můstek	L9110		1	32 Kč
4b	H-můstek	3D tisk	PLA	1	8 Kč
4c	H-můstek	3D tisk	PLA	1	3 Kč
5a	Enkodér	AS5600		1	88 Kč
5b	Enkodér	3D tisk	PLA	1	8 Kč
5c	Enkodér	3D tisk	PLA	1	3 Kč
6	Spojka	3D tisk	PLA	1	1 Kč
7	Magnet 4 x 2			1	
8	Šroub M4 x 12	ISO 7046		2	1 Kč
9	Šroub M3 x 25	ISO 7047		2	1 Kč
10	Šroub M3 x 16	ISO 7048		1	1 Kč
11	Šroub M3 x 12	ISO 7049		8	4 Kč
12	Šroub M3 x 8	ISO 7050		2	1 Kč
13	Matice M3	ISO 4032		9	1 Kč
	Celkem				212 Kč

4.2 Časový harmonogram projektu

Následující tabulka zobrazuje časový rozvrh a jeho plnění v průběhu projektu.

Datum	Týden	Popis činnosti	Reálný stav
29. 9.	1	Sestavení zadání, výběr materiálu	Odevzdáno
6. 10.	2	Návrh mechanické konstrukce	Rozpracováno
13. 10.	3	Model mechanické konstrukce v CAD	3D model dokončen, vytištěny díly na prototyp, otestována montáž varianty s potenciometrem
20. 10.	4	Model mechanické konstrukce v CAD, výroba dílů	úprava 3D modelu pro jiný potenciometr, realizováno
3. 11.	5	Výroba dílu, montáž	úprava 3D modelu pro enkodér, realizováno
10. 11.	6	Výroba dílu, montáž	kompletní montáž
17. 11.	7	Zprovoznění mechanické části	elektrické zapojení, ověření funkčnosti
24. 11.	8	Elektrické zapojení, ověření funkčnosti, testovací sw	softwarový test h-můstku, snímače
1. 12.	9	Tvorba programu	testovací program servopohonu s potenciometrem
8. 12.	10	Ladění programu, tvorba dokumentace	tvorba dokumentace, výkresy, schémata
15. 12.	11	Tvorba dokumentace	úprava programu, dokončování dokumentace
5. 1.	12	Kontrola funkčnosti, časová rezerva	
12. 1.	13	Prezentace projektu	

5 Závěr

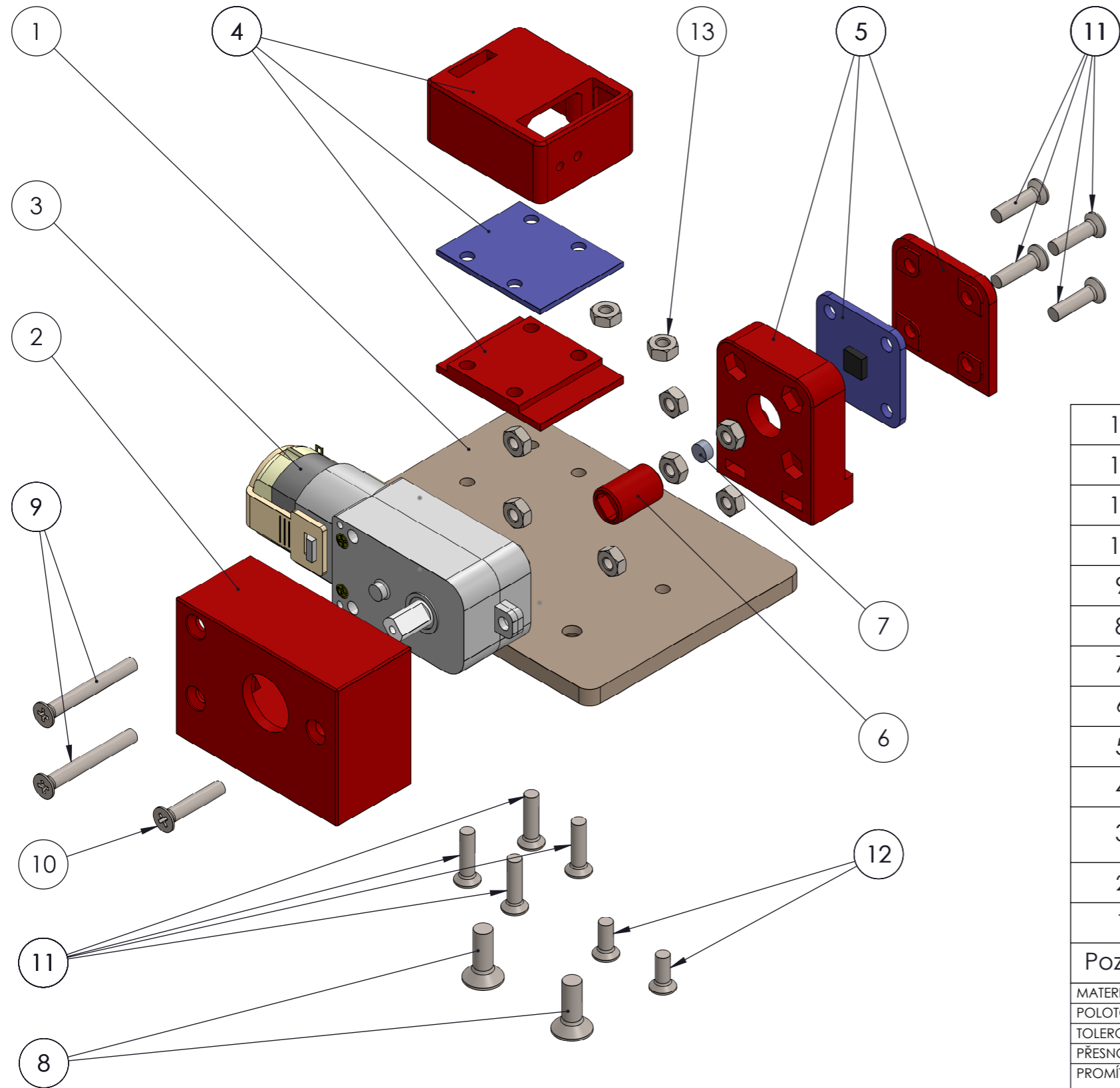
V rámci projektu byl navržen a realizován model servopohonu, který bude použit pro výuce automatizace – regulace. Cíl se podařilo splnit, model po mechanické i elektrické stránce funguje. Programové vybavení v mikrokontroleru se podařilo zrealizovat. Pro účely výuky by bylo vhodné doplnit program pro ovládání servopohonu z PC, především nastavování parametrů regulátoru.

Přílohy

- Příloha 1 – Základová deska (rozměry)
- Příloha 2 – Servopohon s magnetickým enkodérem (montážní sestava)
- Příloha 3 – 3D model zařízení
- Příloha 4 – Soubory s modely pro 3D tisk
- Příloha 5 – Zdrojový kód programu

Použité zdroje

- [1] Laskakit s. r. o., *Katalogový list AS5600* [online]. 2022
[citováno 30. 12. 2025]. Dostupné z:
https://www.laskakit.cz/user/related_files/as5600_ds000365_5-00-1877365.pdf
- [2] Adafruit Industries, *Katalogový list TT motor* [online]. 2018
[citováno 30. 12. 2025]. Dostupné z:
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Adafruit%20PDFs/3777_Web.pdf



13	Matice M3	ISO 4032		9
12	Šroub M3 x 8	ISO7046		2
11	Šroub M3 x 12	ISO 7046		8
10	Šroub M3 x 16	ISO 7046		1
9	Šroub M3 x 25	ISO 7046		2
8	Šroub M4 x 12	ISO 7046		2
7	Magnet 6 x 2			1
6	Spojka	3D tisk	PLA	1
5	Enkodér	3D tisk	PLA	1
4	H-můstek	3D tisk	PLA	1
3	DC motor s převodovkou	Solarbotics GM9		1
2	Držák motoru	3D tisk	PLA	1
1	Deska	ATE - 01 - 01	Překližka 6 mm	1
Pozice	Název	Popis	Materiál	Kusů

MATERIÁL				
POLOTOVAR				
TOLEROVÁNÍ	ISO 8015	INDEX	ZMĚNA	DATUM
PŘESNOST	ISO 2768			PODPIS
PROMÍTÁNÍ				MĚŘÍTKO 1:1
KONSTR.	Martin Locker	SCHVÁLIL	HMOTNOST kg	KUSOVNÍK
KONTR.		DATUM	29. prosince 2025 10:13:59	STARÝ VÝKR.

VOŠ a SPŠ
Rychnov n. Kn.

Servopohon

ČÍSLO VÝKRESU

Ate - 01 - 00

LISTŮ 1

LIST 1

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

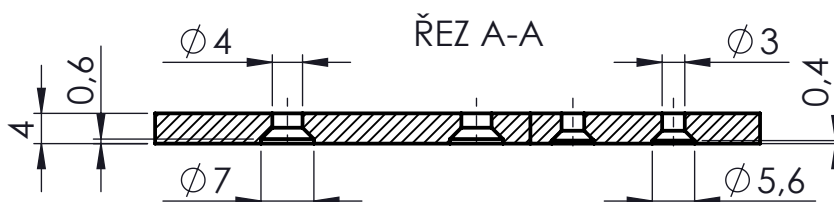
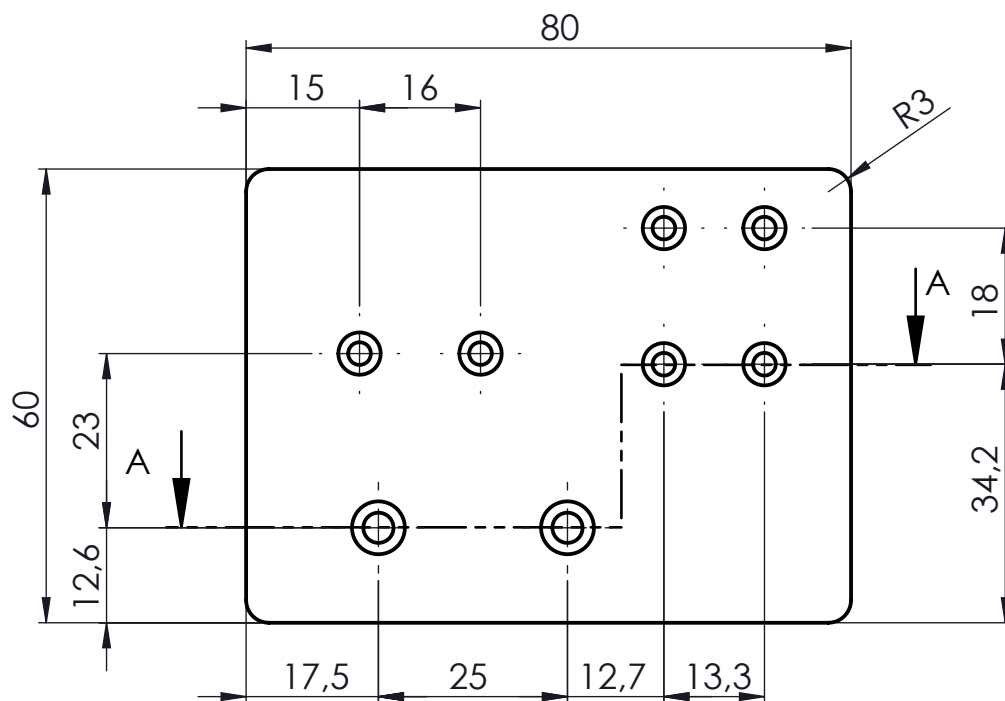
D

E

E

F

F



MATERIÁL	Překlížka bříza 6 mm	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR	82 x 62 x 6				
TOLEROVÁNÍ	ISO 8015				
PŘESNOST	ISO 2768				
PROMÍTÁNÍ				HMOTNOST kg	MĚŘÍTKO 1:1
KONSTR.	Martin Locker	SCHVÁLIL		SESTAVA	KUSOVNÍK
KONTR.		DATUM	29. prosince 2025 11:06:58	STARÝ VÝKR.	

VOŠ a SPŠ
Rychnov n. Kn.

NÁZEV

Deska

ČÍSLO VÝKRESU

ATE - 01 - 01

LISTŮ 1

LIST 1

1

4