

Návrh a realizace laboratorní soustavy modelu kvadroptéry

Vítězslav Novák, Bušek Jaroslav

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Cílem je navrhnout vhodnou konstrukci a senzorku laboratorní soustavy modelu kvadroptéry, který bude mít jeden stupeň volnosti v horizontálním směru. Na zařízení bude volně zavěšeno závaží a pohyb soustavy bude ovládán pomocí servomotorů. K zajištění pohybu v jednom směru je použit vozík přichycený k dráze, senzory snímání polohy ramene s vrtulemi i polohy vozíku jsou magnetické, sběr dat je pomocí elektronické platformy Arduino a řízení je přes Matlab Simulink. Projekt je určený pro první fázi testování kvadroptéry s vyvažováním zavěšeného závaží.

Klíčová slova: kvadroptéra; Matlab-Simulink; řízení; Arduino; SPI; dron; IC; servomotor; AS5048A; AS5304;

1. Laboratorní soustava modelu kvadroptéry

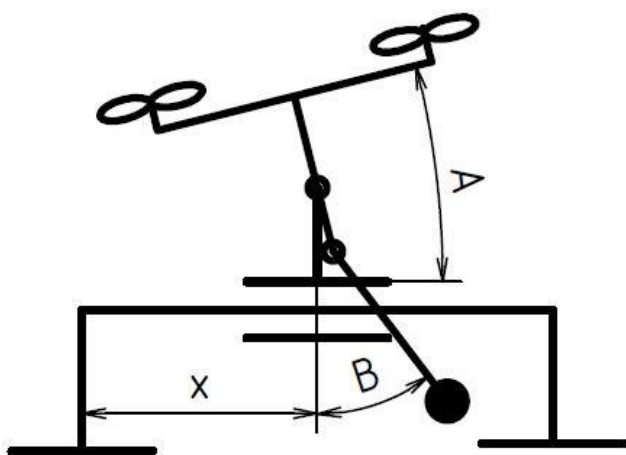
Model by měl sloužit k testování řízení pohybu kvadroptéry s volně zavěšeným závažím o zvolené maximální váze 2 kg.

Pohyb soustavy by měl simulovat let dronu. Pro jednodušší analýzu vyrovnávání výchylek závaží vůči ustálené poloze se v této fázi volí pouze lineární směr pohybu a to horizontální. Soustava bude mít jeden stupeň volnosti.

1.1. Návrh komponent

Základním návrhem je 3 m dlouhá kolejnice, na které se bude pohybovat vozík. Na vozíku je model kvadroptéry. Ten se skládá z hřídele s ramenem, na kterém jsou servomotory, a z hřídele se zavěšeným závažím. Model dále obsahuje prvek pro upevnění protizávaží a místa se senzory snímající natočení hřídelí a polohy modelu na kolejnici.

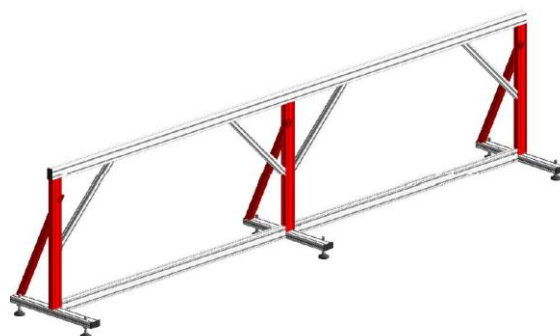
Pro řízení modelu je potřeba sledovat úhel natočení obou hřídelí a vzdálenost vozíku na kolejnici od zvoleného počátku.



Obr. 1. Skica soustavy.

1.1.1. Nosná konstrukce soustavy

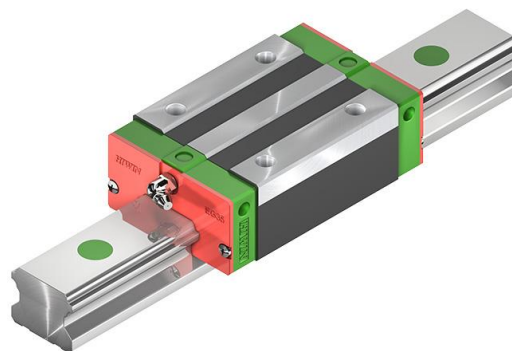
Jako nosná konstrukce pro soustavu byl smontován systém hliníkových profilů MayTec s dostačující délkou 3 m. Na horním profilu bude připevněna kolejnice a z boku nalepena magnetická páska pro snímání polohy modelu.



Obr. 2. Model použité konstrukce MayTec. [1]

1.1.2. Vozík a kolejnice

K zajištění lineární trajektorie byla zakoupena kolejnice a vozík značky HIWIN. Dle rozměrů a momentů se zvolil typ vozíku EGH15CA a tomu odpovídající kolejnice EGR15.

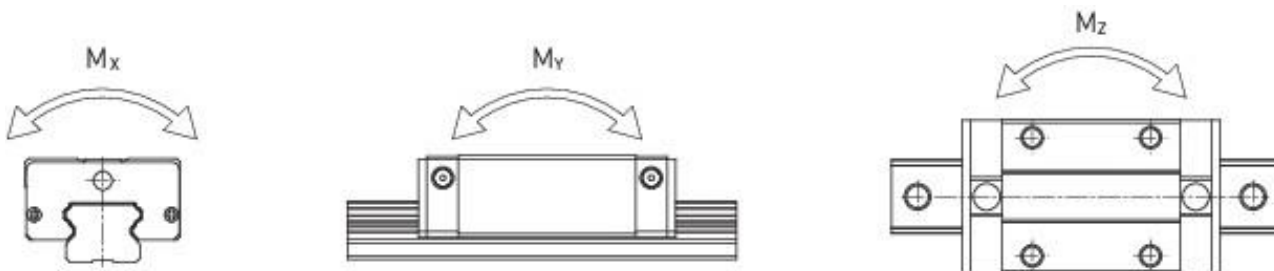


Obr. 3. Příklad modelu vozíku a kolejnice HIWIN. [2]

* Kontakt na autora: Vitezslav.Novak@fs.cvut.cz

Tabulka 1. Informace o parametrech vozíku EGH15CA s kolejnici. [2]

| Dynamická zátěž na 50 000 m | Statická zátěž | Dynamický moment | | | Statický moment | | |
|-----------------------------|----------------|------------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|
| C_{dyn} [N] | C_0 [N] | M_x [N·m] | M_y [N·m] | M_z [N·m] | M_{0x} [N·m] | M_{0y} [N·m] | M_{0z} [N·m] |
| 7830 | 16190 | 62 | 48 | 48 | 130 | 100 | 100 |



Obr. 4. Schéma modelu vozíku a kolejnice HIWIN. [2]

1.1.3. Servomotory a vrtule

Na modelu jsou použity dva střídavé servomotory Turnigy Park 300 1600kv, což jsou bezkartáčové motory s třífázovým vinutím statoru s 1600 otáčkami na volt. Na motorech jsou použity vrtule 8x3,8.

Výkon je dle stránek výrobce 85 W. Takže výkon obou motorů by měl být 150 W. U dvoučlátku je napětí 7,4 V a maximální proud je 9 A.

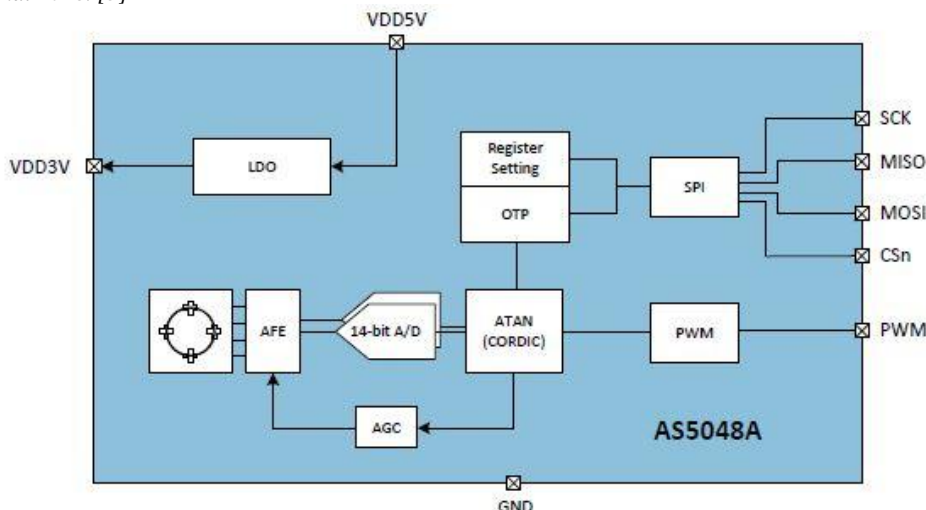


Obr. 5. Model Turnigy Park 300 s vrtulí v aplikaci Autodek Inventor Professional 2018. [3]

1.1.4. Senzory

Natočení hřídele se zavěšeným závažím a hřídele s ramelem se servomotory zaznamenávají magnetické senzory AS5048A, které jsou umístěny proti magnetům pevně vsazených v hřídelích.

Jedná se o snadno použitelný snímač úhlu natočení o 360° se 14 bitovým rozlišením. IC měří absolutní polohu rotace magnetu a skládá se z Hallových senzorů, A/D převodníku a obvodu pro zpracování digitálního signálu. AS5048 má SPI komunikační rozhraní, které je dostatečně rychlé pro přenos dat. Bezkontaktní snímač toleruje nesouosost, odchylky vyvolané vzduchovými mezerami, teplotní odchylky a také odchylky vnějším magnetickým polem. Senzor se dokáže sám kalibrovat vůči magnetickému poli. Vnitřní regulátor napětí umožňuje pracovat na 5 i 3,3 V. [3]

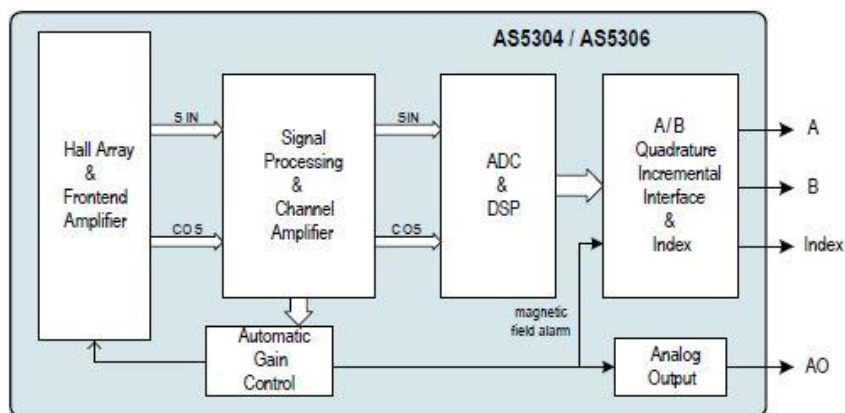


Obr. 6. Blokový diagram AS5048A. [3]

* Kontakt na autora: Vitezslav.Novak@fs.cvut.cz

Polohu vozíku sleduje senzor AS5304, jehož pozice je proti multipólové magnetické pásce nalepené podél nosné konstrukce s kolejničí.

Čip poskytuje 40 pulsů na pól pár při rychlosti až 20 m/s. Pokud bychom měli například pásku s 32 pól páry, měřili bychom s rozlišením 1280 pulsů, což odpovídá 5120 pozicím nebo 12.3 bitům. [4]



Obr. 7. Blokový diagram AS5304. [4]

1.1.5. Řídící deska

Senzory jsou propojené s elektronickou platformou Arduino, jenž pomocí UART komunikuje s prostředím Matlab-Simulink. Při testování je použito Arduino Mega 2560.

1.2. Realizace soustavy

Prvním krokem k realizaci soustavy bylo vytvoření softwarového modelu a následně výkresů. K tomu byl použit program Autodesk Inventor Professional 2018.

1.2.1. Vytvoření modelu

Kvůli senzoru na lineární pohyb je stěžejní, aby byla konstrukce modelu přesně smontovatelná a senzor byl v konstantní vzdálenosti od magnetické pásky. V základní desce je proto vytvořena drážka, ke které je vozík lícovaný. Deska je dostatečně dlouhá, aby se u modelu mohla použít varianta s jedním vozíkem nebo se dvěma vozíky najednou.



Obr. 8. Spodní pohled na desku se 2 vozíky na kolejničí a senzorem pro snímání lineárního pohybu.

Na desce jsou čtyři pilíře, které drží horní obdélníkové patro s dírou uprostřed. Prostor vybrání je rozměrově dostatečný pro volné kmitání části s hřídelí se závažím.

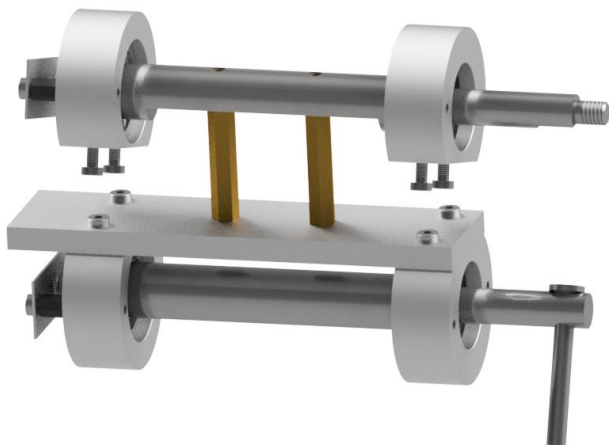


Obr. 9. Základní nosná kostra modelu kvadrokoptéry.

Shora jsou přišroubovány dva domky na ložiska, které svírají hřídel. Z této hřídele je distančními sloupky přichycena konstrukce s druhou hřídelí, na jejím konci je zavěšeno závaží.

Ložiska byla zvolena kuličková jednořadá. Zřetel na životnost se brát nemusel, jelikož se jedná o laboratorní soustavu a je možné brzké předělání modelu.

Obě hřídele mají z jedné strany vsazený magnet a z domku ložiska od magnetu s rozestupem 0,2 mm vzdálený senzor. Vzdálenost senzoru je zvolena dle informací v datasheetu.



Obr. 10. Horní pevně chycená a spodní volně kmitající hřídel.

K horní hřídeli je pevně aretováno rameno, které má na koncích servomotory zajišťující pohyb. Rameno je duté, aby jím mohli vést kabely od motorů k řídicí desce uprostřed konstrukce.



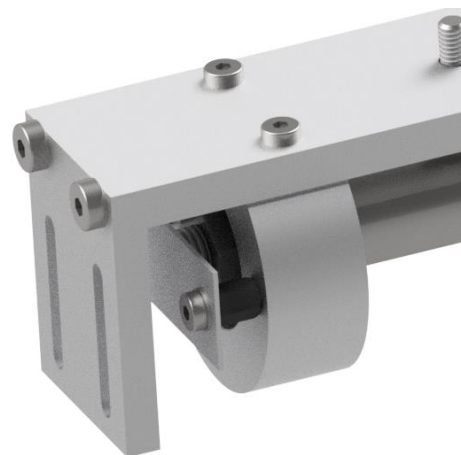
Obr. 11. Horní hřídel s ramenem a servomotory.

V části vedle spodní hřídele je deska pro připevnění protizávaží, které by mělo vyrovnat klopný moment, jenž může mít nepříznivý vliv na lineární pohyb. V Tabulce 2 jsou zapsány hodnoty modelu získané pomocí fyzikálních výpočtů aplikace Autodesk Inventor Professional 2018.

Tabulka 2. Informace o parametrech modelu.

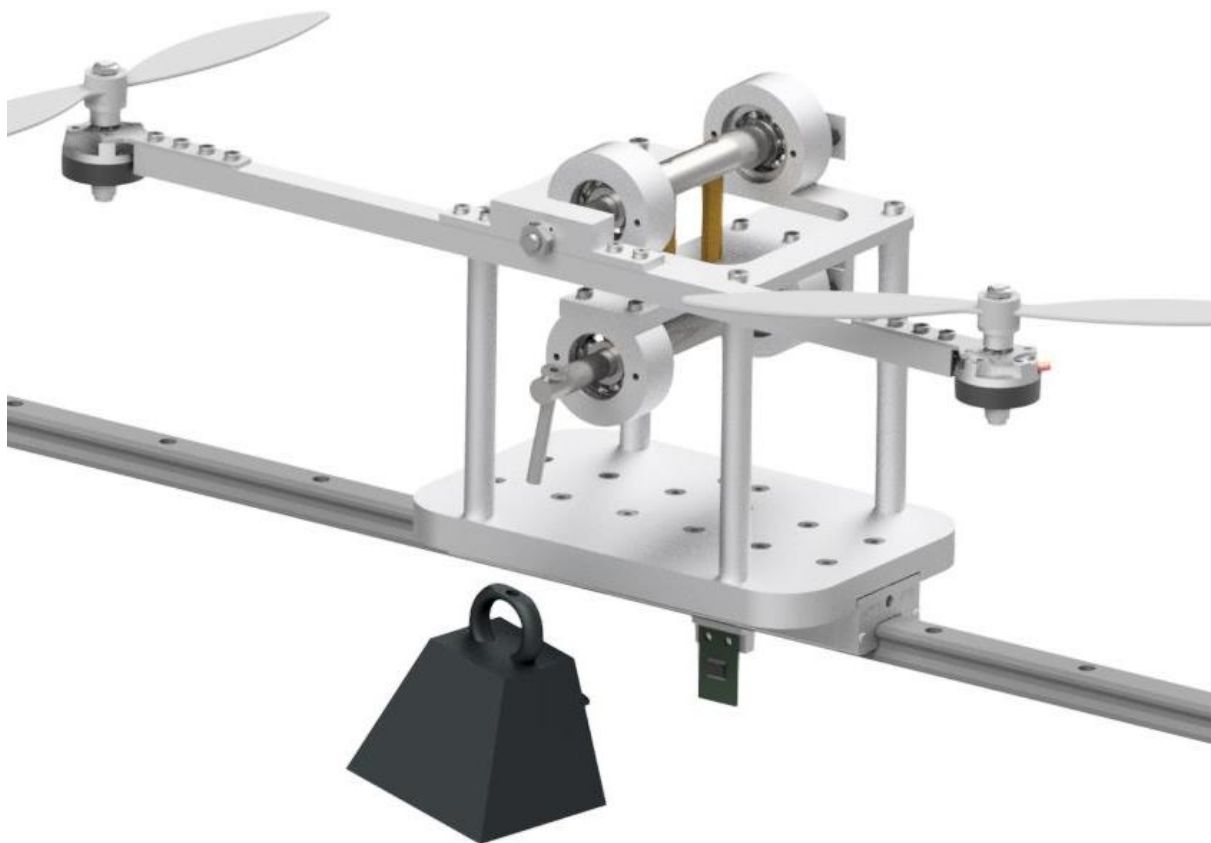
| Provedení | Hmotnost modelu | Moment setrvačnosti | Klopný moment | Hmotnost protizávaží |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|---------------|----------------------|
| | m [kg] | J [kg·m ²] | M [N·m] | m [kg] |
| 1 vozík | 1,37 | 5,88 | 0,09 | 0 |
| 2 vozíky | 1,47 | 6,26 | 0,09 | 0 |
| 2 v. + 2 kg závaží | 3,47 | 20,26 | 1,54 | 0 |
| 2 v. + 2 kg závaží + protizávaží | 5,38 | 46,65 | 0 | 2,01 |

Celá sestava bez nosné konstrukce má klopný moment 0,09 N·m a se závažím 1,54 N·m. Protizávaží by se například u 2 kg závaží mohlo volit přibližně 2,01 kg. Ovšem porovnáním momentů z tabulky 1 je zřejmé, že nedosahujeme vysokých hodnot klopného momentu a není tak při těchto parametrech nutné řešit vyvážení.



Obr. 12. Část určená pro připevnění závaží vyrovnávající klopný moment soustavy.

U celkového modelu bylo potřeba zvážit i kolizi vrtulí s kolejnici. Náklon ramene s motory a tedy i dolní hřídele je omezen rozpětím pilířů. Při maximální výchylce se domek dolní hřídele zastaví o pilíř. Maximální úhel s vodorovnou osou je 28,7°.



Obr. 13. Detail modelu s naznačeným závažím.

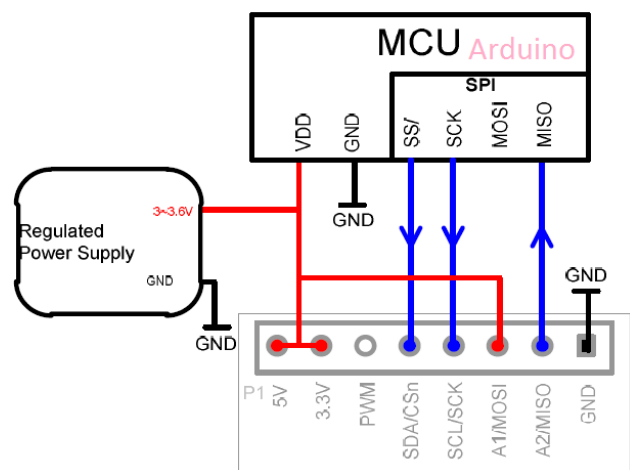
Při tvorbě výkresů se jako materiál pro hřídele zvolila nerezová ocel a pro zbytek součástí se jako materiál zvolil hliník.

1.2.2. Programování příjmu dat a komunikace

Při testování senzorů bylo použito Arduino Mega 2560. Senzor AS5048 byl dodán na desce s SPI rozhraním. Dle datasheetu byly nalezeny SPI piny na Arduino. Tyto piny se se senzorem zapojily dle tabulky 3.

Tabulka 3. Propojení pinů na Arduino a senzoru. [4]

| | | | | |
|-------------------|------|------|-----|----|
| Arduino Mega 2560 | 50 | 51 | 52 | 53 |
| AS5048 | MISO | MOSI | SCK | SS |



Obr. 13. Schéma zapojení z forum.arduino. [6]

Pro správné fungování programu je třeba stáhnout knihovnu AS5048A.h a AS5048A.cpp a správně nainstalovat. Kód programu je pak jednoduchý.

```
#include <AS5048A.h>
AS5048A angleSensor(53);
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    angleSensor.init();
}
void loop()
{
    word val = angleSensor.getRawRotation();
    Serial.println(val);
    delay(1000);
}
```

2. Závěrečné informace

V tuto chvíli je model ve výrobě a připravuje se montáž, oživování, diagnostika a testování řízení. Tomuto projektu se věnuje také spolužačka Vendula Hovorková z FS ČVUT, která má na starost kompenzaci nežádoucího kmitání zavěšeného závaží. Předpokládá se, že na naše projekty navážou další studenti.

U konstrukčního návrhu bylo potřeba vyřešit schopnost pohybu celého modelu v lineárním směru pomocí vrtulových servomotorů, otázku klopného momentu v souvislosti s nežádoucím třením, umístění kabelů a rozložení a smontovatelnost zařízení. Dále smysluplně zvolit veličiny a k nim senzory pro měření polohy, navrhnout komunikaci a ovládání.

Poděkování

Děkuji za spolupráci a věcné rady panu Ing. Jaroslavu Buškovi, za sdílení studentských rad Vendule Hovorkové a za shovívavost přítelkyni Veronice Hrubé.

Seznam symbolů

m hmotnost (kg)
 t čas (s)
 J moment setrvačnosti ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
 M klopný moment ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 x vzdálenost senzoru od zvoleného počátku (m)
 A úhel náklonu ramene s motory ($^\circ$)
 U napětí (V)
 I proud (A)
 C_{dyn} dynamická zátěž (W)
 C_0 statická zátěž (W)
 M_x dynamický moment ve směru x ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 M_y dynamický moment ve směru y ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 M_z dynamický moment ve směru z ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 M_{0x} statický moment ve směru x ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 M_{0y} statický moment ve směru y ($\text{N}\cdot\text{m}$)
 M_{0z} statický moment ve směru z ($\text{N}\cdot\text{m}$)

Literatura

- [1] The Profile System. [online]. The_Profile_System_1_2018_GB_V02. [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.maytec.com.de/index.php?id=24&L=1#c96>
- [2] EGH15CA. [online]. [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: https://www.hiwin.de/en/Products/Linear_Guideways/Series_EG_QE/Block_EG/EGH/4307/2440745
- [3] Datasheet AS5048A/AS5048B. [online]. [v1-09] 2016-Nov-15 [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5048_DS000298_4-00.pdf
- [4] Datasheet AS5304/AS5306. [online]. [v2-00] 2017-May-03 [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5304_06_DS000187_2-00.pdf/50d25cf2-337a-1b3c-2218-6dd9d16421fd
- [5] Datasheet Arduino Mega 2560 [online]. Revize 3. [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf
- [6] Fórum Arduino [online]. [cit. 21. 3. 2019]. Dostupné z: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=155238.0>