

Vývoj HW pro soutěž Micromouse

Bc. Adam Janík

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA; UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Janík**
Osobní číslo: **A15163**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vývoj HW pro soutěž Micromouse**
Téma anglicky: **The Development of HW for the Micromouse Competition**

Zásady pro vypracování:

- 1. Prostudujte různá řešení robotů pro soutěž Micromouse.**
- 2. Navrhněte a popište perspektivní, cenově dostupné řešení soutěžního robota.**
- 3. Navrhněte a realizujte konstrukci bludiště tak, aby byla dobře skladovatelná a převožitelná.**
- 4. Realizujte mechanickou konstrukci a elektroniku robota.**
- 5. Naprogramujte vzorové řešení průchodu robota bludištěm.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4**
2. **LACKO, Branislav, ed. Šedesát let kybernetiky. Brno: Akademické nakladatelství CERM pro Asociaci strojních inženýrů, 2009. ISBN 978-80-7204-662-1**
3. **NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1**
4. **HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-383-8**
5. **ROSS, Larry T. a James W. MASTERSON. Robotics: theory and industrial applications. 2nd ed. Tinley Park, IL: Goodheart-Willcox Company, 2010. ISBN 9781605253213**
6. **BUMBA, Jiří. Programování mikroprocesorů: praktický návod nejen pro mikroprocesory PIC. Brno: Computer Press, 2011. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-2838-1**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

3. února 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení: Bc. Adam Janík

Název bakalářské/diplomové práce: Vývoj HW pro soutěž Micromouse

Prohlašuji, že


- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

11.5.2017


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce si klade za cíl vytvořit kompletní sestavu, tedy bludiště a robota pro soutěž Micromouse. Plocha bludiště je složena z 16 kusů podstavy, s variabilní možností umístění stěn. Desky plošného spoje robota jsou rozděleny zvlášť na hlavní desku a na desku se senzory. Hlavní deska s elektronikou je osazena mikropočítačem STM32F407, driverem pro dva DC motory a dále konektory určené pro připojení motorů, desku se senzory a modulem obsahujícím gyroskop komunikujícím pomocí I2C rozhraní. Ukázkový program je naprogramován v jazyce C. Přínosem práce je vytvořeno bludiště, které umožňuje vlastníkovvi pořádat soutěže. Soutěžní robot lze programovat více způsoby, stejně tak jako jeho variabilita umožňuje osazení jiných senzorů, a tím využití robota ve více kategoriích.

Klíčová slova: STM32, I²C, Micromouse, Bludiště, Gyroskop, Floodfill

ABSTRACT

Purpose of this dissertation work is to create maze and robot for competition called micromouse. Whole maze is contains 16 base pieces, with variability of placing walls. Electronic of robot is divided into two PCB, main board and sensor board. Main board contains micro-computer STM32F407 along with motor driver and connectors for connection with engines, gyroscope and sensor board. Example program of movement is programmed in language C. Result of this work gives owner option to create events in such a competition. User is able to program micromouse in multiple languages with option of mounting different sensor for using robot in different robotics competition category.

Keywords: STM32, I²C, Micromouse, Maze, Gyroscope, Floodfill

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce panu Ing. Tomáši Dulíkovi, Ph. D. za konzultace, rady a pomoc při řešení problémů týkající se této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SOUTĚŽ MICROMOUSE	11
1.1 HISTORIE.....	11
1.2 PRAVIDLA SOUTĚŽE.....	12
1.3 BLUDIŠTĚ	13
2 TYPY MICROMOUSE	14
2.1 MICROMOUSE BEZ LOGIKY	14
2.2 MICROMOUSE S LOGIKOU.....	14
3 HARDWAROVÉ MODULY ROBOTŮ	17
3.1 GYROSKOP	17
3.2 SENZORY	18
3.3 MOTORY	18
3.3.1 Stejnoseměrné motory	19
3.3.2 Krokové motory	20
3.3.3 Servomotory	20
3.4 ENKODÉRY	21
3.4.1 Optické enkodéry	21
3.4.2 Magnetické enkodéry	22
4 MIKROPOČÍTAČ A KOMUNIKACE S MODULY	23
4.1 PWM MODULACE SIGNÁLU	23
4.2 ENCODER MODE	24
4.3 AD PŘEVODNÍK	24
4.4 I2C KOMUNIKACE	25
5 PRINCIP HLEDÁNÍ CESTY – ALGORITMUS FLOODFILL	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
6 NÁVRH BLUDIŠTĚ	29
6.1 PODSTAVA.....	29
6.2 SLOUPKY + STĚNY	30
7 NÁVRH MICROMOUSE	32
7.1 MIKROPOČÍTAČ STM32F407VET	32
7.2 VOLBA MODULŮ K ZÍSKÁVÁNÍ ZPĚTNÉ VAZBY POHYBU, POLOHY A NATOČENÍ.....	33
7.2.1 Motory + enkodéry.....	33
7.2.2 Gyroskop	35
7.2.3 Senzory.....	36
7.3 BLOKOVÉ SCHÉMA	36
7.4 ALTIVM DESIGNER.....	37
7.4.1 Hlavní deska - schéma	38
7.4.2 Hlavní deska – PCB	44
7.4.3 Senzorová deska - schéma	45

7.4.4	Senzorová deska – PCB	46
7.5	KOMPLETACE ROBOTA	47
8	SOFTWAREVÁ ČÁST MICROMOUSE	49
8.1	STM32 CUBEMX	49
8.2	UKÁZKOVÝ PROGRAM.....	55
8.2.1	ADC	55
8.2.2	CalibrateMode.....	56
8.2.3	Delay	57
8.2.4	Encoder	58
8.2.5	Gpio.....	58
8.2.6	Gyro.....	58
8.2.7	I2C	59
8.2.8	Led.....	59
8.2.9	Move	60
8.2.10	PID	60
8.2.11	PWM	61
8.2.12	SensorFunction.....	62
8.2.13	Tim	62
8.3	STM STUDIO.....	62
9	CENOVÉ OHODNOCENÍ.....	63
9.1	DOSTUPNÉ CENY NA TRHU.....	63
9.2	CENA ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ.....	64
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Soutěže autonomních robotů jsou mezi námi už více než třicet let. Vývoj elektroniky umožnil lidem vývoj autonomních robotů a tvorbu samovolně pohybujících se robotů pro různé účely.

Micromouse je soutěž autonomních robotů, kteří mají za cíl nalézt cíl bez zásahu člověka. Soutěžní kolo se skládá ze dvou částí. V prvním kole má robot čas na průzkum bludiště a hledání cest a v druhém projede nejrychleji tu cestu, kterou si určil jako nejrychlejší. Klíčovými vlastnostmi robota jsou, stejně tak jako u robotů sledujících čáru, zajistit co nejmenší rozměry, a rozložení váhy tak, aby bylo dosahováno co nejvyšších rychlostí. Na rozdíl od sledovače čáry je v této kategorii nutno vytvořit v algoritmu zpětnou vazbu o přesném pohybu a ujeté vzdálenosti.

Tématem této práce je vytvoření soutěžní plochy pro soutěž Micromouse, dále vytvoření hardwaru robota, jeho propojení a vytvoření ukázkového programu.

Teoretická část se zabývá problematikou spojenou se soutěží Micromouse. Nejdříve je zmíněna část historie a vznik soutěže Micromouse. Dále jsou popsána a vysvětlena pravidla soutěže. V další kapitole jsou popsány o různé typy robotů Micromouse a možnosti použití komponent potřebných pro jejich úspěšné ovládní. Následně jsou popsány komunikace a způsoby zisku informací o pohybu, poloze a natočení zpět do algoritmu. V poslední kapitole teoretické části je popsán algoritmus Floodfill, což je algoritmus využíván pro hledání cesty v bludišti.

V praktické části je popsána výroba bludiště a samotné Micromouse. Nejdříve jsou popsány moduly, které byly vybrány pro ovládní robota. Následně je popsáno blokové schéma, ze kterého vychází návrhy schémat a návrhy desek plošných spojů. Schémata jsou vysvětlena v jednotlivých částech. Na konci je vyobrazena Micromouse, tak jak byla vyrobena a smontována se všemi mechanickými a elektronickými prvky. Následující kapitola popisuje softwarovou část robota. Je zde popsána tvorba projektu určeného pro programování mikropočítače a následně popsány části vytvořeného kódu. Na závěr jsou porovnány náklady na výrobu bludiště i Micromouse ve srovnání s nalezenými nabídkami těchto produktů.

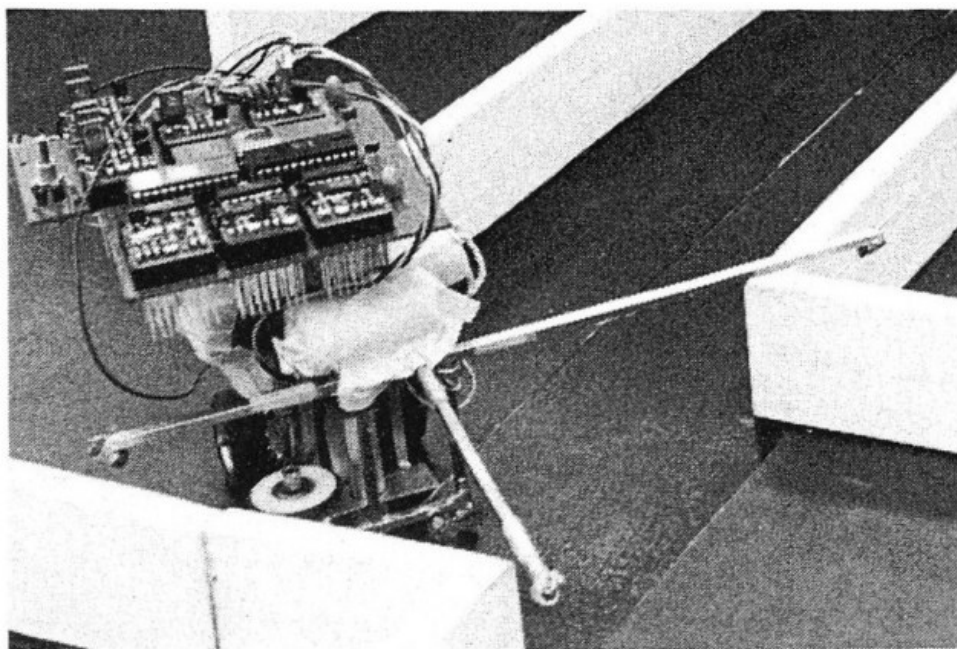
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOUTĚŽ MICROMOUSE

Micromouse je soutěž, ve které se každé soutěžní kolo skládá ze dvou částí. První část je průzkumná, robot tedy projíždí celé bludiště a hledá cíl. Po jeho nalezení se ještě snaží prozkoumat části, kde nebyl, zda do cíle nevede rychlejší cesta. Toto kolo je omezeno časem dle pořadatele soutěže. V druhé části je robot postaven na začátek, a má za úkol projet nalezenou cestu do cíle v co nejkratším čase. V této části je důležité, aby robot z nalezených cest vybral tu, na které dokáže dosáhnout co nejvyšších rychlostí a neztratit kontrolu. V dnešní době jsou roboti na rovných úsecích dosahovat rychlostí až 5 m/s.

1.1 Historie

První zmínka o soutěži se objevila v magazínu IEEE Spectrum, kde magazín představil koncept soutěže Micromouse, která se měla konat v **New Yorku** v roce 1979. Hlavní cenou bylo 1000 \$ a další věcné ceny využitelné při tvorbě HW a SW robotů, například osciloskop od firmy Tektronix. Paradoxem bylo, že soutěžící této soutěže měli větší zájem o věcné ceny, než hlavní peněžní výhru. Z 6000 přihlášených soutěžících se do hlavní soutěže dostalo pouze 15 z nich. Spousta soutěžících se nedostavila z důvodů chyb a selhání robotů. Chybou soutěže byla špatně nastavená pravidla a bludiště, což umožnilo účast i robotům bez logiky, tedy pouze sledující stěny a otáčející se jedním směrem. Shodou okolností se vítězem stal jeden z těchto robotů, viz obrázek 1. [1]



Obr. 1 Moonlight Flash – vítězná micromouse první soutěže na světě [1]

Zde se inspirovala **Velká Británie**, kde soutěž proběhla o rok později, tedy v roce 1980. Zde už byly upraveny pravidla soutěže tak, že cílem nebylo najít cestu ven z bludiště, ale do jeho středu. Tím bylo vyloučeno, že by Micromouse sledující stěnu zatáčející jen doprava, nebo doleva, našla cíl. V této soutěži však žádná z 18 Micromouse nezvládla najít cíl. Mezi diváky bylo několik delegátů z Japonské vědecké společnosti, kteří si poznamenali veškeré poznámky týkající se soutěže potřebné pro organizaci. [1]

První soutěž v **Japonsku** proběhla v roce 1985. Bludiště byly posílány do několika zemí, z důvodu podpory účasti. V samotné soutěži poté soutěžící z Japonska obsadili všechny nejvyšší příčky. [2]

První soutěž v **USA** proběhla v roce 1986, kde se domácí účastník David Otten z MIT umístil na poslední pozici. Za dva roky však obsadil první a druhou pozici se svými dvěma modely Micromouse na soutěži konající se v Londýně. [1]

1.2 Pravidla soutěže

Pravidla pro Micromouse bývají většinou stejná až na pár detailů, které si nastaví podle sebe sám pořadatel soutěže. Co se však nemění, jsou rozměry a stanovené barevné povrchy plochy bludiště.

Vzhled a povrch bludiště bude popsán v následující kapitole, zde si zmíníme základní pravidla týkající se robotů.

- Micromouse se musí pohybovat samovolně bez dálkových ovládaní.
- Micromouse nesmí za sebou zanechávat žádné součásti.
- Rozměry Micromouse nesmí přesáhnout limit 16 cm x 16 cm, na výšku neomezeno.
- Micromouse nespí přijít do styku se stěnami bludiště, nesmí tedy stěny přeskakovat, přejíždět a bořit. [3]

Jak bylo řečeno, základní body jsou většinou využity ve všech aktuálně probíhajících soutěžích. Pořadatelé si poté můžou přidat další podmínky, například zamezit změnu geometrie robota při hledání cesty k cíli, čímž je zamezena účast robotům s připevněnými konstrukcemi a kamerami.

1.3 Bludiště

Mezi pravidla pro bludiště se řadí rozměry, barevné provedení a povrchy bludiště. Pro úspěšné hledání cesty je důležité zachovat odrazivost a pohltivost povrchu pro umožnění využití senzorů ověřujících hodnotu odraženého signálu.[3]

Bludiště se tedy skládá z několika částí podstavy černé barvy. Složené bludiště obsahuje 16 x 16 čtverců o rozměrech 18 cm x 18 cm. Pohybová plocha mezi stěnami je 16,8 cm s 5% tolerancí. [3]

Sloupky jsou o rozměrech 1,2 cm x 1,2 cm x 5 cm umístěny na každém rohu výše zmíněných čtverců.

Stěny jsou protikusem ke sloupkům, jejich barva je bílá a mohou, nebo nemusí obsahovat červené zvýraznění na vrchu. Zvýraznění je využitelné roboty větších konstrukcí se senzory nad stěnami fungujících na principu sledování čáry. Zda stěny budou mít červené zvýraznění na vrchní hraně, závisí na pořadateli soutěže. Informaci je však záhodno uvést do informací o soutěži.

Pravidla pro bludiště jsou poté následující:

- Start je umístěn na jednom z rohů bludiště, a jde o buňku ohraničenou stěnami ze třech stran.
- Cíl je o rozměrech 2 x 2 buněk uprostřed bludiště s jednou přístupovou cestou.
- Pro dané bludiště je předpokládáno více cest do cíle umístěného tak, aby jej mechanická micromouse otáčející se doleva, nebo doprava nemohla najít. [3]



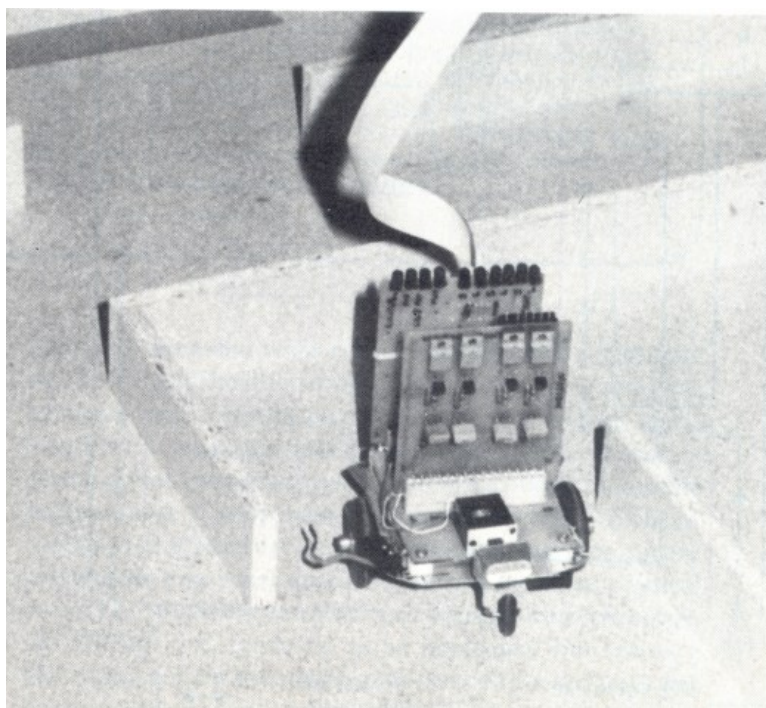
Obr. 2 Bludiště 16 x 16 [5]

2 TYPY MICROMOUSE

Základním rozdělením robot jsou roboti s logikou nebo bez logiky.

2.1 Micromouse bez logiky

Šlo o jedny z prvních robotů, kteří obsahovali mechanické senzory dotýkající se stěn, a zatáčením pouze na jednu stranu. Na každém bludišti bylo zatáčení na jednu stranu o poznání rychlejší než zatáčení na druhou stranu, viz obrázek č. 3.[4]



Obr. 3 Micromouse bez logiky [4]

2.2 Micromouse s logikou

Roboti v této kategorii už obsahují několikero senzorů, a dalších modulu pro získávání zpětné vazby o pohybu a poloze v bludišti, a vyhodnocovací algoritmus určující následující pohyb. V závislosti provedení konstrukce, volby senzorů a ostatních modulu mohou mít roboti mnoho možností realizace. [4]

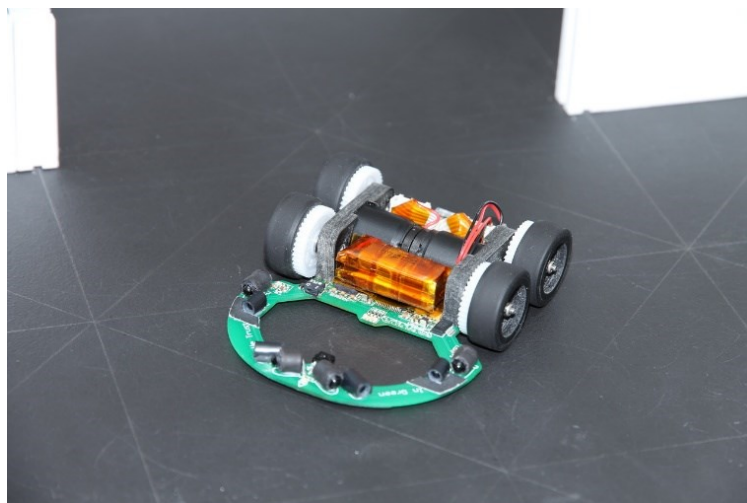
Jelikož by mohlo být vybráno a vyobrazeno asi 300 různých druhů Micromouse, jsou zde zobrazeny pouze tři, kde každá je realizována jiným způsobem než ta předchozí.



Obr. 4 První Micromouse úspěšně nalézající cíl uprostřed bludiště

Na obrázku 4 lze vidět Micromouse, která pro získávání informace o přítomnosti stěn používá senzory ve stylu lopatek připevněných na prodloužených ramenech na obou stranách robota. Mikro počítač poté zpracovává informaci, zda je lopatka ve vodorovné poloze a jede po stěně, nebo zda je svěšená a stěna přítomna není. Zda je Micromouse v cíli je ověřeno přítomností neobsazeného sloupku v cílovém čtverci 2 x 2 buněk.

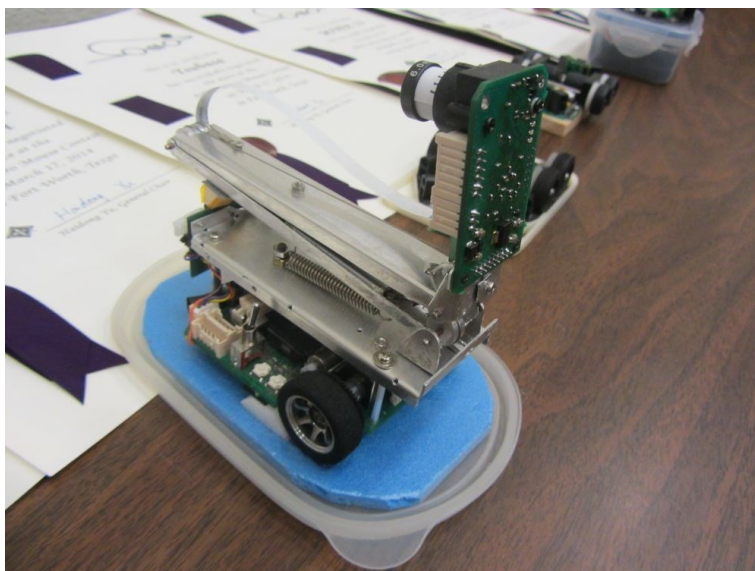
Na obrázku 5 lze vidět Micromouse s využitím modernějších technologií, než předchozí. Namísto mechanického snímání stěn jsou použity dvojice IR LED Diody a IR Fototranzistoru, které zajišťují informaci o přítomnosti stěn nejen na stranách, ale i před Micromouse. Konstrukce je co nejmenší, a s co nejnižším těžištěm, za účelem dosažení co nejvyšších rychlostí pohybu.



Obr. 5 Micromouse s IR senzory [6]

Mezi modely se sem tam objeví kuriózní modely, například typ, který má na prodlouženém ramenu připevněnou kameru. A jak taková Micromouse funguje? Uživatel ji umístí na startovní pozici do bludiště, a zahájí se sekvence určena pro hledání cesty k cíli. Robot nějakou dobu stráví zvedáním konstrukce pomocí servomotorů nahoru, aby kamera měla celé bludiště v zorném poli. Poté je provedena výpočetní část algoritmu pro nalezení cest k cíli, no, a robot je připraven na druhou část soutěže, a to k rychlostnímu testu dosažení cíle. [7]

Pro uživatele těchto Micromouse je však důležité si zkontrolovat pravidla soutěže, zda nejsou uvedena pravidla pro zákaz změny geometrie robota při průzkumné fázi, a dále ověření, zda stěny mají na vrchní části červeně zvýrazněnou stranu, pokud to kamera k prozkoumání potřebuje.



Obr. 6 Micromouse s kamerovým systémem [7]

Pokud však při čtení této práce přemýšlíte nad tvorbou vlastní Micromouse, zvažte variantou podobnou variantě druhé. Micromouse malého rozměru, malé hmotnosti a schopnosti dosažení cíle v době kratší 10 vteřin a maximálních rychlostí dosahujících přes 4 m/s.

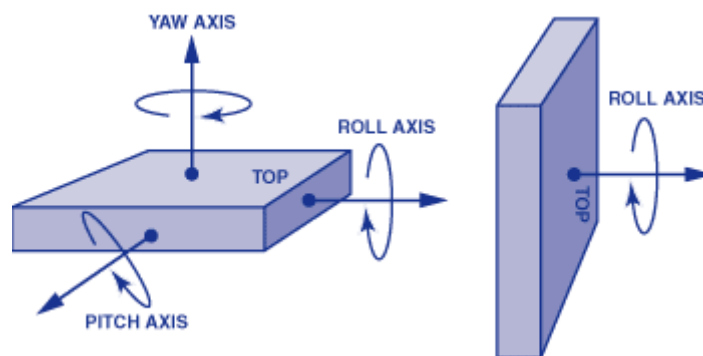
3 HARDWAROVÉ MODULY ROBOTŮ

Jak už bylo zmíněno, Micromouse musí zvládat pohyb zcela samostatně, bez zásahu uživatele. Je tedy důležité, aby získávali zpětnou vazbu a své poloze, pohybu a přítomnosti překážek v bludišti.

Přesněji řečeno, je potřeba získávat informace o úhlu natočení, a proto je nutno zvolit správný modul pro tuto úlohu. Dále je nutno získávat informaci a ujeté vzdálenosti, a tak je potřeba zvolit pohon se zpětnou vazbou pohybu, nebo pohon s osazenými enkodéry. Poslední z důležitých zpětných vazeb jsou senzory informující o překážkách kolem robota.

3.1 Gyroskop

Gyroskopy jsou již dlouhou dobu známy a využívány pro měření a určování změny polohy nebo natočení libovolného předmětu, ke kterému jsou připevněny. Jejich princip je měření úhlové rychlosti, tedy rychlost otáčení objektu v jednotkách [$^{\circ}/\text{sec}$] podle osy otáčení, viz obrázek 7. [8]



Obr. 7 Znáznornění os, ve kterých gyroskop zaznamenává změnu natočení [8]

Jejich výstupy mohou být analogové, digitální, nebo jejich kombinace. Na trhu lze nalézt několik modulů s osazenými gyroskopy k okamžitému použití. Výstupní data z gyroskopu poté mohou být vyvedena přímo na piny modulu, nebo pomocí komunikace, například I2C. [8]

Takto robot získá jednu ze třech potřebných zpětných vazeb o pohybu. Tato z nich mu umožní zaznamenávat průběh otáčení a navázání plynule na následující pohyb.

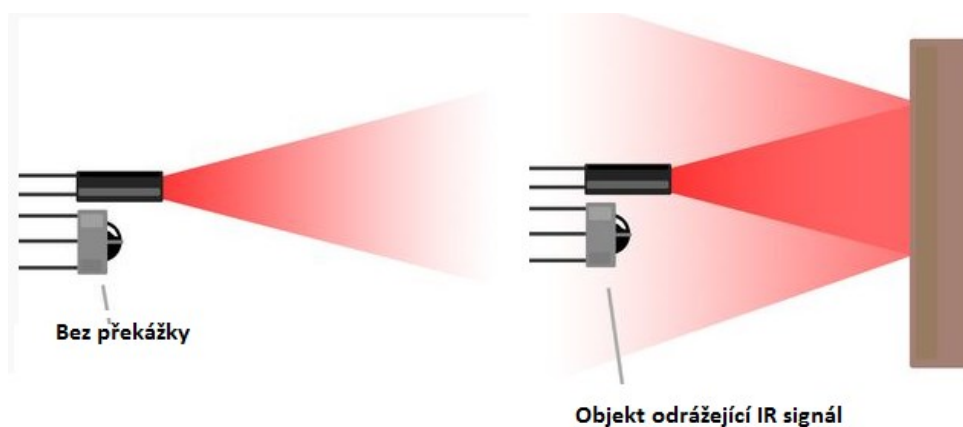
3.2 Senzory

Nejjednodušší a nejvíce využívanou variantou v této kategorii jsou kombinace IR LED Diody a IR fototranzistorů. Jejich počet a úhly natočení závisí na uživateli, kolik dat chce zpracovávat. [2]

Důležitými vlastnostmi při volbě vysílače je úzký vyzařovací úhel a vysoká zářivost.

Při volbě přijímače je kritérií nutných pro dodržení více. Charakteristika záření rozpoznatelná přijímačem musí být stejné vlnové délky, jako vysílač. Další vlastností je volba senzoru s co nejvyšší stabilitou, a odolnost proti šumu z okolí. Princip je takový, že vyzářený IR signál se odrazí v prostoru od stěn a fototranzistor zachycuje signál. Čím blíže je překážka, tím více signálu je odraženo a zachyceno. [9]

Montáž a komunikace s těmito prvky je velice jednoduchá, a poskytuje robotu informaci o překážkách v čase menším než 1 milisekunda.



Obr. 8 Princip detekce překážky kombinací IR led a IR fototranzistoru [9]

3.3 Motory

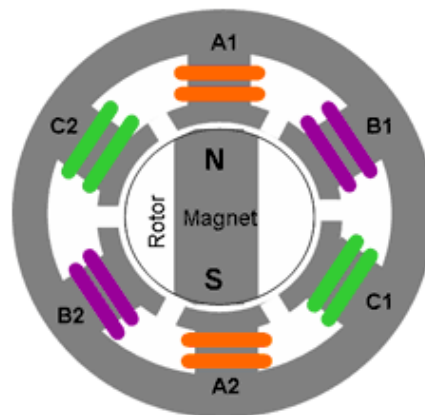
Hlavní částí mechaniky robotů jsou pohonné jednotky. V jejich případě je nutno myslet na rozměry, výkon, ztráty, jednoduchost ovládání a získávání zpětné vazby. V následujících odstavcích jsou zmíněny tři kategorie motorů, které se jsou nejčastěji využívány při tvorbě robota pro soutěž Micromouse.

3.3.1 Stejnosměrné motory

Princip stejnosměrných motorů pracuje na bázi odpudivosti magnetického pole. V základu jde o permanentní magnet a cívky, ve kterých při průchodu elektrického proudu vzniká magnetické pole s takovou polaritou, aby docházelo k vzájemnému odpuzování magnetických polí, a tedy ke tvorbě kroutivého momentu, a vzniku rotačního pohybu. Z hlediska konstrukčního provedení se nám naskytují dvě varianty. [10]

Bezkartáčový DC motor

První varianta konstrukce je znázorněna na následujícím obrázku. Jde o umístění permanentního magnetu na rotační část, tedy rotor, a vytvoření magnetických vinutí na statoru. Napětí je poté přiváděno postupně na jednotlivá vinutí v takovém směru, aby vzniklé magnetické pole bylo ve stejném směru jako pole rotoru, a tím docházelo k odpuzivé síle vytvářející rotační pohyb. Tento motor musí obsahovat řídicí logiku, a kontrolovat polohu rotoru, aby bylo jasné, které cívky dále napájet. [10] [13]

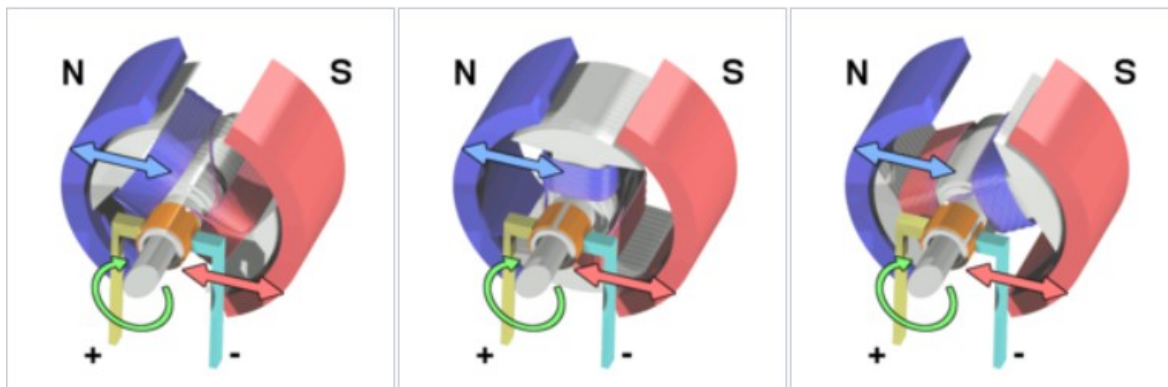


Obr. 9 Konstrukce stejnosměrného bezkartáčového motoru [10]

Kartáčový DC motor

Tento typ motoru je konstrukčně řešen naopak oproti kartáčovému motoru. Konstrukce je zobrazená na následujícím obrázku. Jde opět o permanentní magnet, který je v tomto případě stator motoru. Rotor obsahuje několik magnetických vinutí v pravidelném posunutí (na obrázku je znázorněno jen jedno), a ty jsou připojeny na komutátor. Jednotlivé části komutátoru jsou propojeny s konci magnetických vinutí. Jeho funkce je přenos elektrické energie ze zdroje do vinutí, a jelikož je umístěn na rotační části, je automaticky zajištěna změna napájecí cívky, tedy vznik kontinuálního pohybu bez nutnosti získávání zpětné vazby polohy

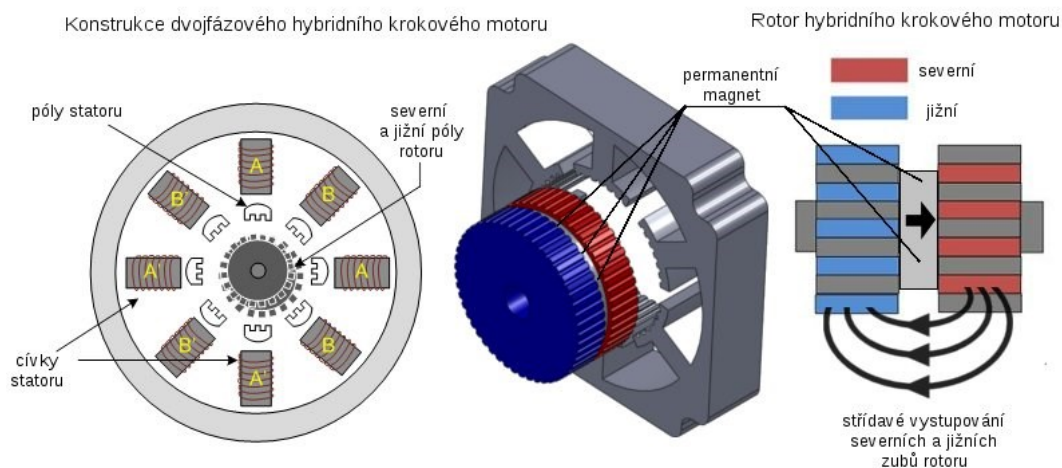
rotoru a logiky napájení. Jejich nevýhodou je opotřebení kartáčků, které přenáší elektrickou energii ze zdroje na komutátor. [11] [13]



Obr. 10 Princip kartáčkového stejnosměrného motoru [11]

3.3.2 Krokové motory

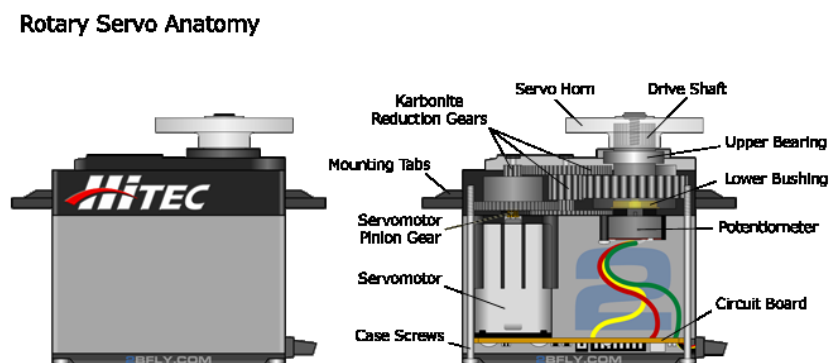
Krokové motory jak už název napovídá, neposkytují kontinuální pohyb, ale pohyb po krocích. U těchto motorů není využito odpudivých určitého počtu magnetických polí na rotoru. Na statoru je opět několik magnetických vinutí po obvodu, a na rotoru je magnet. Jejich řízení je složitější, jelikož je potřeba mít driver, který bude posílat specifický signál, na cívky tak, aby bylo dosaženo požadované polohy. [12]



Obr. 11 Konstrukce krokového motoru [12]

3.3.3 Servomotory

Servomotory jsou z praktického hlediska kartáčkové DC motory se zpětnou vazbou o poloze a driverem řídicí motor. Jejich výhodou je velká síla v důvodu převodovky. Jejich otáčky však bývají menší. [13]



Obr. 12 Struktura servo motoru [14]

3.4 Enkodéry

Je to elektronické zapojení nacházející se přímo na hřídeli motoru, nebo na otáčející se části, u které potřebujeme získávat informaci o pohybu.

3.4.1 Optické enkodéry

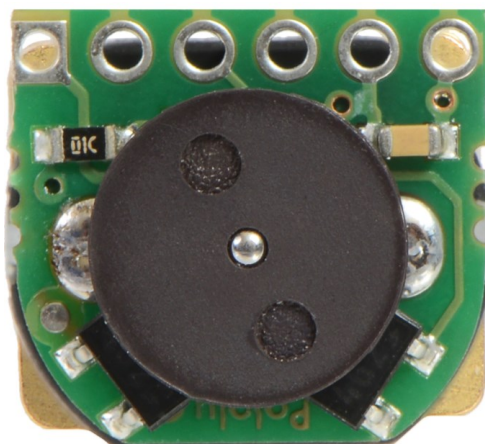
Optické enkodéry jsou první ze dvou možností. Princip je takový, že na hřídeli motoru je upevněno kolečko, které obsahuje na obvodu pravidelné mezery, a v druhé části konstrukce je na jedné straně vysílač paprsků a na druhé straně optický přijímač. Při rotaci poté dochází k přerušování paprsků a změně hodnoty na přijímači. Informace o změně hodnoty na přijímači jsou poté využity jako informace pohybu zařízení. Zvýšením počtu mezer je zvýšeno rozlišení enkodéru, tedy počet pulzů za jednu otočku, a tím lepší určení uraženého pohybu. [15]



Obr. 13 Ukázka optického enkodéru [16]

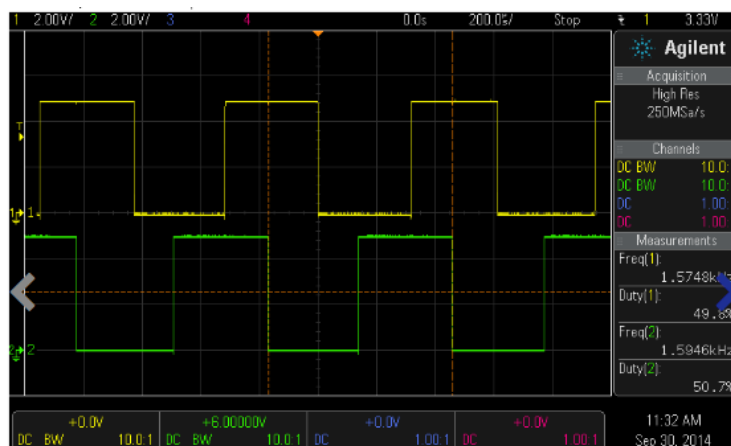
3.4.2 Magnetické enkodéry

Druhou z možností jsou magnetické enkodéry využívající Hallovy sondy. Na hřídel motoru je připevněno kolo obsahující magnety, pod kterým je umístěn obvod s Hallovými sondami. Při rotaci poté dochází k propuštění napětí sondou pokaždé, když je magnet nad ní. Na následujícím obrázku jde vidět kolo s dvěma magnety, rozlišení enkodéru je tedy 2 impulzy za otočku. Pro zvýšení rozlišení je možno využití více magnetů. Některé magnetické enkodéry dosahují rozlišení až 4096 pulzů na otočku. [15]



Obr. 14 Ukázka magnetického enkodéru [17]

Následující obrázek je příklad signálu získaného z enkodéru. Jsou zde dva signály, z důvodu určení směru pohybu rotace. U magnetických enkodérů je toho docíleno umístěním dvou sond snímajících magnetické pole v různých místech. U optických enkodérů toho je docíleno obdobně, umístěním další dvojice vysílače a přijímače.



Obr. 15 Ukázka výstupního signálu z enkodéru [17]

4 MIKROPOČÍTAČ A KOMUNIKACE S MODULY

Jednotlivé komponenty jsou propojeny s mikropočítačem, jehož algoritmus zpracovává veškerá data ze senzorů, enkodérů, gyroskopu, a řídí rychlost motorů.

V dnešní době jsou mezi tvůrci Micromouse hodně favorizovány mikropočítače od firmy STMicroelectronic, tedy 32 bitové mikropočítače obsahující jádra ARM Cortex-Mx od firmy ARM.

Jejich výhodou je široká nabídka funkcí a funkčních režimů. Ve spojení se softwarem od firmy STM jsou jednoduchou a rychlou cestou k implementaci všech periférií potřebných k běhu programu.

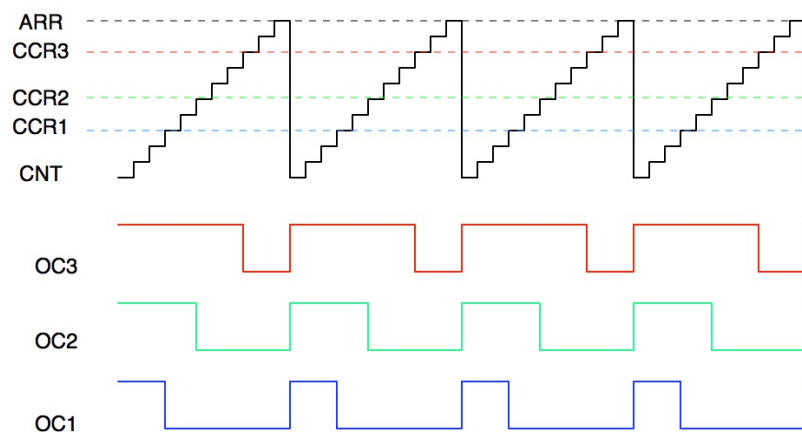
4.1 PWM modulace signálu

Pulzně šířková je hojně využívána pro ovládání výkonu motorů. Základem implementace PWM je časovač tikající se stanovenou frekvencí. Každým cyklem se přičte hodnota v registru, jehož limit je také nastaven uživatelem, tím je vytvořena finální frekvence PWM signálu. Ukázkový příklad můžeme vysvětlit na následující rovnici,

$$f_{PWM} = \frac{f_{tim}}{prescaler * cnt} \quad (1)$$

kde f_{tim} je frekvence časovače, $prescaler$ je hodnota, kterou si frekvenci můžeme snížit na požadovanou hodnotu a cnt je hodnota, do které se bude hodnota registru inkrementovat a poté se resetuje. [18]

Příklad PWM modulace signálu za použití časovačů mikropočítače je vyobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 16 Princip PWM modulace signálu [18]

Časovač v pravidelném intervalu přičítá hodnotu v registru CNT. Nastavováním registrů CCR1, CCR2, CCR3 se mění střída signálu, tedy doba, kdy je signál na výstupu v logické 1. Dochází k jednoduchému porovnání hodnot střídy s registrem CNT. Střední hodnotu napětí na výstupu poté jednoduše měníme změnou hodnot střídy. Větší počet hodnot registru CNT zajistí detailnější regulaci z důvodu možnosti menší změny střední hodnoty napětí výstupu. [18]

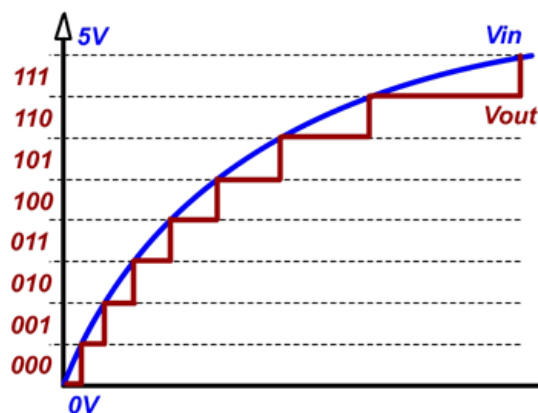
4.2 Encoder mode

Další z výhod STM mikroprocesoru je možnost připojení kanálů A a B enkodéru na kanály 1 a 2 některého z primárních časovačů, a v softwaru je nastavit jako kombinační čtení s čítáním nahoru, nebo dolů. Časovač pak pravidelně ověřuje náběžné hrany kanálů, a podle toho, který se signálů se předbíhá vůči druhému, přičte nebo odečte hodnotu v count registru. Ukázka takového signálu je vyobrazena na obrázku 12. Ověřením hodnoty pulzů daného časovače uživatel zjistí přesnou ujetou vzdálenost motoru. [2]

4.3 AD převodník

Pro zpracovávání analogových hodnot ze senzorů, nebo z nastavitelného trimru je nutno využít analogově digitální převodník. Princip AD převodníku je takový, že rozsah analogového signálu je rozdělen na počet vzorků dle rozlišení převodníku a při převodu je poté analogové hodnotě signálu přiřazena referenční digitální hodnota, viz následující obrázek. [20]

Při převodu analogových hodnot na digitální hodnoty dochází ke ztrátě informace, a je proto nutno zanalyzovat analogový signál, a určit co nejvhodnější rozlišení převodníku. [20]



Obr. 17 Princip převodu signálu z analogového na digitální [20]

V následující tabulce je možno vidět, jaké je rozlišení hodnot pro jednotlivé převodníky.

Tab. 1 Počet digitálních hodnot AD převodníku v závislosti na rozlišení

rozlišení [bitů]	počet digitálních hodnot
16	65536
14	16384
12	4096
10	1024
8	256
4	16

Pokud tedy analogový signál je v rozmezí hodnot 0 – 256 V a zvolíme si 10 bitový převodník, tak převodník rozpozná a zaznamená změnu analogového signálu o 0,25 V.

4.4 I2C komunikace

Moduly obsahující gyroskopy s digitálními vývody jsou většinou připojeny na nějaký typ sběrnice.

I2C Terminologie

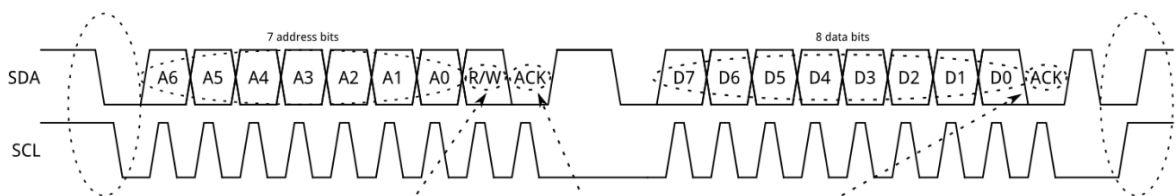
- Vysílač – zařízení inicializující komunikaci
- Přijímač – zařízení přijímající požadavek na komunikaci
- Master – vysílá časový signál a určuje začátek a konec přenosu dat
- Slave – zařízení s adresami, čekající na požadavek od zařízení master
- SDA – sériová datová linka
- SCL – sériová časovací linka

I2C je dvou vodičové datové propojení zařízení, s možností propojení až 1008 zařízení. Princip komunikace je založen na rozdělení zařízení na master a slave. Zařízení master inicializuje komunikaci se zařízením, které mu odpoví, že je připraveno komunikovat a zaregistrovalo požadavek. [19]

Protokol I2C rozeznává řadu definovaných situací, které účastníkovi umožní rozeznat začátek a konec přenosu včetně adresy zařízení. [19]

Stavy komunikace

- Klidový stav – jde o stav, ve kterém jsou obě linky na úrovni logická 1, komunikace je neaktivní.
- Startovní podmínka – stav, kdy na lince SDA je přepnut stav z logické 1 na logickou 0.
- Přenos dat – jde o stav probíhající mezi podmínkami start a stop. Na začátku komunikace jsou přenášeny informace o adrese zařízení následující vyžádanými daty.
- Koncová podmínka – v tomto případě jde o opak startovní podmínky, tedy po dokončení přenosu dat je linka SCL nastavena na logickou 1, a linka SDA přejde ze stavu logické 0 na logickou 1.
- Potvrzení (acknowledge) – jde o potvrzovací bit na konci datového bloku, které označuje zařízení, že přijal data v pořádku a je připraveno v následující komunikaci, nebo jejímu ukončení. [19]



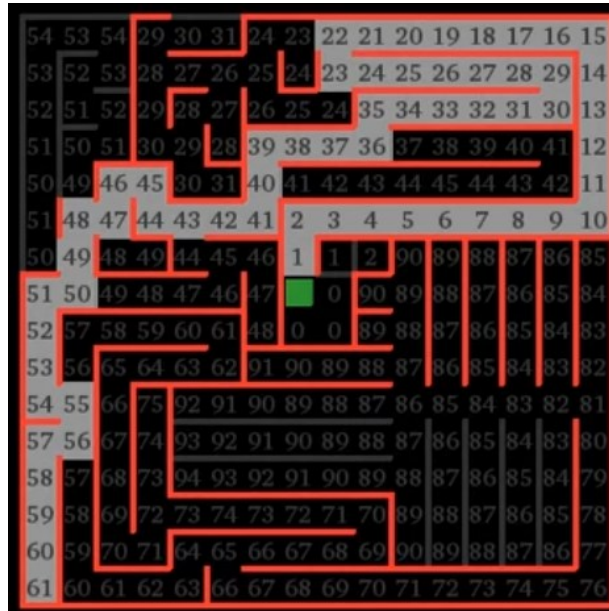
Obr. 18 Princip I2C komunikace [19]

Zařízení master inicializuje komunikaci startovní podmínkou a pošle 7 adresních bitů následující bitem reprezentující čtení, nebo zápis. Počká na odpověď zařízení ve formě ACK bitu. Při úspěšném přijetí bitu ACK a potvrzení komunikace následuje stop podmínka a vzápětí start podmínka, po které následuje 8 bitů reprezentující vyžádaná data. Přenos je opět potvrzen bitem ACK. Pokud bylo vyžádáno více dat, než jeden bajt, následuje další bajt dat, pokud nebylo, je vyvolána koncová podmínka a komunikace ukončena. [19]

Gyroskopové moduly se při komunikaci vždy reprezentují jako zařízení slave a jejich adresu nalezneme v dokumentaci modulu.

5 PRINCIP HLEDÁNÍ CESTY – ALGORITMUS FLOODFILL

Jedním z nejvíce využívaných algoritmů u těchto robotů je algoritmus zvaný floodfill.



Obr. 19 Princip vyhledávání cesty pomocí algoritmu floodfill [21]

Jeho princip si vysvětlíme s dopomocí obrázku. Je dána startovní pozice v prostoru. Hodnota buňky je 0. Přejdeme do dostupné vedlejší buňky a ta bude označena číslem 1. Následující označíme číslem 2. Podstatou tedy je, že hodnota každé buňky reprezentuje počet buněk, kolik je nutno projít k dosažení začátku hledání. V místě, kde je hledáno, musí být známo, co je cílem, jelikož po jeho nalezení je nově cíl označen číslem 0 a všem buňkám je přepočítána hodnota k novému cíli. To je možné z důvodu narůstání hodnot sousedních buněk o 1. [21]

Mimo hodnoty vzdálenosti ke startu/cíli bývá také ukládána informace o překážkách. Při pohybu v takto prozkoumaném prostoru stačí poté následovat sousední buňku s menší hodnotou vzdálenosti. Informace o překážkách nám poté dávají informaci o tom, do kterých stran se můžeme vydat. [21]

Jelikož soutěž Micromouse probíhá ve dvou částech, je využití algoritmu floodfill velice výhodné, jelikož robot v čase průzkumu může nalézt více cest k cíli, což mu umožní propočítat, jak jdou buňky za sebou, zda cesta i s pár buňkami navíc k cíli nemůže být rychlejší díky rovným úsekům. [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

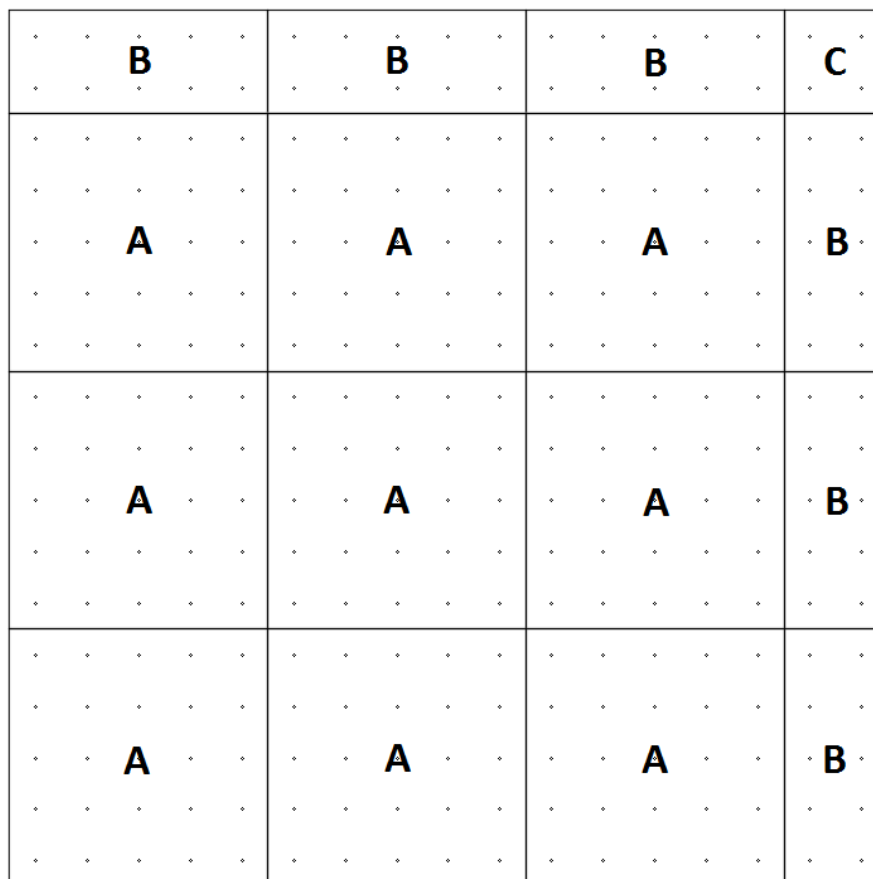
6 NÁVRH BLUDIŠTĚ

Při návrhu bludiště byly zvažovány různé možnosti volby materiálu. Z důvodu levné ceny laminátových desek a možnost objednání s černou povrchovou úpravou, byly zvoleny jako materiál podstavy. Pro stěny by materiál neměl dostatečnou pevnost ve spojích se sloupky v bludišti, proto za materiál byly zvoleny dřevovláknité desky s bílou povrchovou úpravou. Tím byly splněny požadavky pravidel ohledně barevných povrchů bludiště.

6.1 Podstava

Pro návrh podkladů pro výrobu byl využit program AutoCAD. Podstava byla navržena tak, aby byla co nejvíce zachována univerzálnost bludiště. Na všech třech částech podstavy byly díry pro sloupky o průměru 5 mm v mřížce 180 mm umístěny 90 mm od krajů. Výkresy jednotlivých částí A, B a C jsou k nalezení na konci dokumentu v příloze P I.

Na následujícím obrázku je vyobrazeno jednoduché schéma, jak celé bludiště bude skládáno dohromady.



Obr. 20 Schéma spojení dílů podstavy bludiště

Další výhodou takto zhotovených částí podstavy je, že mohou vytvářet různé varianty velikostí bludiště. Například při využití jedné části A a C a dvou částí B vznikne bludiště o rozměrech 6 x 6, při využití 4 částí A vznikne bludiště 9 x 9 atp.

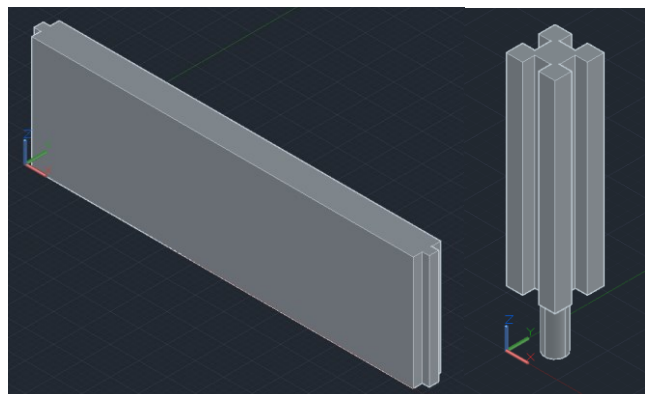
Na následujícím obrázku je vyobrazen model bludiště sestavené ze všech částí podstavy.



Obr. 21 AutoCAD – 3D model bludiště

6.2 Sloupky + stěny

Sloupky a stěny jsou dvojice, která v bludišti tvoří start, cíl a různé cesty, které je propojují. Stěny byly dle výkresu vyráběny ve stolařství, sloupek jako protikus ke stěnám bylo potřeba navrhnout a vyrobit.



Obr. 22 AutoCAD – 3D modely stěny (vlevo) a sloupek (vpravo)

K výrobě byla využita 3D tiskárna a materiál tisková struna typu PLA o průměru 1,75. Sloupky byly tištěny po várkách 20 nebo 25 kusů. Doba tisku jednoho sloupku byla přibližně 1 hodina a 45 minut. Doba tisku s narůstajícím počtem tisknutých kusů však neroste lineárně. Při tisku 20 kusů, viz obrázek, byla doba tisku přibližně 18 hodin 15 minut.

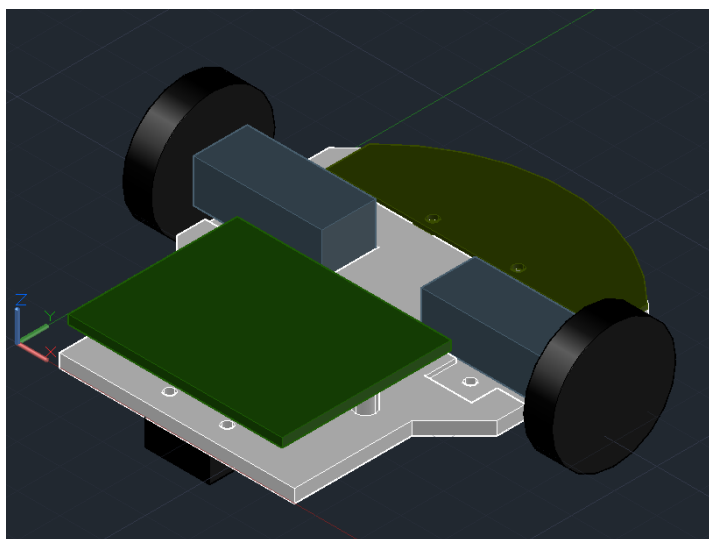


Obr. 23 Tisk sloupků na 3D tiskárně

7 NÁVRH MICROMOUSE

Návrh Micromouse byl poněkud složitější problém než návrh bludiště, kde všechny potřebné parametry k výrobě jsou zadány pravidly. V tomto případě bylo potřeba si uvědomit, jak bude Micromouse vypadat, kde budou umístěny jednotlivé moduly vůči pohonu, jak budou vytvořeny rozhraní komunikací a tak dále.

V následujících kapitolách bude popsán návrh krok za krokem. Na začátek si však ukážeme prvotní, jednoduchý návrh Micromouse.



Obr. 24 Návrh konstrukce Micromouse

Na obrázku jde vidět, že elektronika myši byla rozdělena na dvě části. Ve přední části se vyskytuje deska plošného spoje se senzory a v zadní části deska plošného spoje s mikropočítačem a veškerými konektory pro komunikace s moduly a motory. Motory byly umístěny mezi desky plošných spojů s prostorem mezi nimi určeným pro uchycení modulu s gyroskopem.

Před začátkem tvorby blokových schémat bylo nutno si najít a zajistit kompatibilitu všech modulů a výběr mikropočítače, který bude data zpracovávat a Micromouse řídit.

7.1 Mikropočítač STM32F407VET

Aby bylo možné využít Micromouse ve školním robotickém kroužku, kde je programováno v rozhraní Espruino, bylo vybíráno z mikroprocesorů umožňující tuto volbu.

Z toho důvodu se nespočet možností, jež se při vytváření návrhu naskytovaly, snížily pouze na tři volby, viz následující tabulka.

Tab. 2 Volba mikropočítače

Procesor	Jádro	Pouzdro	RAM [kB]	Flash [kB]	Rychlost [MHz]	USB	Cena [kč]
STM32F100RB	ARM Cortex - M3	LFPQ64	8	128	24	Ne	111
STM32F303VCT	ARM Cortex - M4	LFPQ100	40	256	72	Ano	165
STM32F407VET	ARM Cortex - M4	LFPQ100	196	512	168	Ano	280

Ze třech dostupných mikropočítačů byl zvolen poslední z nich, tedy STM32F407VET. Jeho pořizovací cena byla sice vyšší, díky poměru cena/výkon však převyšuje zbylé možnosti. Velkou výhodou je jeho rychlost, která je v soutěži Micromouse hodně podstatná z důvodu nutnosti vyhodnocování několika dat v krátkém časovém úseku. Pouzdro LFPQ100 ze 100 piny zajišťuje pohodlné zapojení všech potřebných periférií.

7.2 Volba modulů k získávání zpětné vazby pohybu, polohy a natočení

Hlavní část Micromouse byla zvolena, dále bylo potřeba vybrat vše ostatní, tedy zajištění pohonu a přísun informací o pohybu, poloze a otočení zpět mikropočítači.

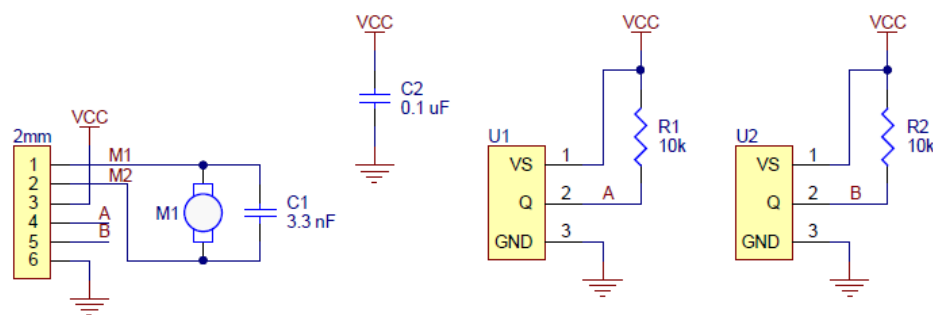
7.2.1 Motory + enkodéry

Jako pohonná jednotka byla zvolena dvojice DC motorů s napájecím napětím 6 V a prodlouženou hřídelí, umožňující připevnění enkodérů připojených, viz následující obrázek. Motor je osazen převodovkou v poměru 10:1, zajišťující maximální otáčky 2200 ot/min.



Obr. 25 DC motor s připojeným magnetickým enkodérem [17]

Enkodéry byly zvoleny od firmy Pololu, a jsou kompatibilní s typem zvolených motorů. Enkodér je možno napájet zdrojem 2,8 V – 18 V. Šesti pólové magnetické kolečko zajišťuje 12 pulzů na jednu otočku hřídele motoru, což za převodovkou je pouze jedna desetina otočky kola. Ve výsledku tedy získáme rozlišení 120 pulzů za jednu otočku. Kolo bylo zvoleno Pololu o průměru 32 mm. Pokud tedy přepočítáme hodnotu jednoho pulzu na ujeté vzdálenosti, získáme informaci o pohybu robota o 0,83 mm.



Note: U1 and U2 are Hall Effect sensor ICs in SOT-23 packages, e.g. TLE4946-2K.

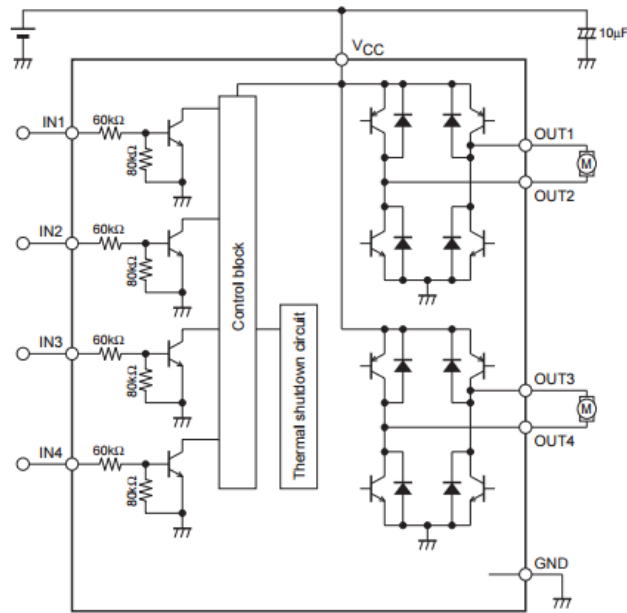
Obr. 26 Schéma zapojení enkodéru [17]

Na levé části schéma jde vidět 6 pinový header pro vytvoření propojení se zařízením. Dva ze šesti pinů na konektoru jsou připojeny na komutátor motoru ovládající rotaci motoru vpřed a vzad. Na jejich vstup bude přiváděn modulovaný signál z driveru motorů. Další dva konektory jsou napájecí napětí a zemnicí, využity v obvodu enkodéru. Poslední dva piny, označeny jako A a B, jsou výstupní signál ze sond.

Hallovy sondy U1 a U2 jsou připojeny na napájecí napětí a na zem, prostřední piny označeny Q jsou připojeny na výstupy A a B, kde signál je v logické 0 a při zjištění magnetického pole je hodnota napětí přes pull up rezistor nastavena na napájecí napětí.

Jelikož výstupní PWM signál z mikropočítače dosahuje hodnoty napětí 3,3 V, výsledná střední hodnota napětí na motorech by byla v rozmezí 0 – 3,3 V, což by bylo nedostačující a od určité střední hodnoty napětí by motor neměl dostatečnou sílu se roztočit. Z toho důvodu byl zvolen driver motorů LB1948MC, jehož výhodou je práce se dvěma různými hodnotami napětí. Na vstupy budou připojeny piny mikropočítače generující PWM signál pro regulaci pohybu a na výstupy bude driver generovat totožné signály s napěťovou hodnotou zdroje.

Pokud bude napájecím zdroje baterie 9 V, tak střední hodnota napětí na motorech bude v rozmezí 0 – 9 V.



Obr. 27 Driver motorů LB1948MC – schéma zapojení [25]

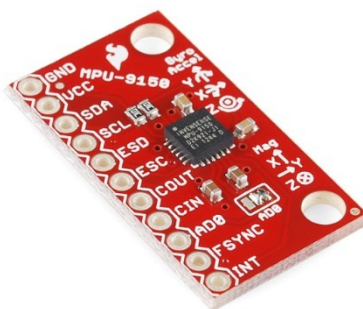
V následující pravdivostní tabulce jsou vyobrazeny kombinace vstupů na driver, a jeho výstupy.

Tab. 3 Driver motorů LB1948MC – pravdivostní tabulka vstupů a výstupů [25]

Input				Output				Notes	
IN1	IN2	IN3	IN4	OUT1	OUT2	OUT3	OUT4		
L	L	L	L	OFF	OFF	OFF	OFF	Standby mode	
L	L			OFF	OFF			1CH	
H	L			H	L				Forward
L	H			L	H				Reverse
H	H			L	L				Brake
		L	L			OFF	OFF	2CH	
		H	L			H	L		Forward
		L	H			L	H		Reverse
		H	H			L	L		Brake

7.2.2 Gyroskop

Z bohaté nabídky gyroskopů bylo nezbytné vybrat gyroskop v dostupné cenové relaci, čímž že výběr minimalizoval. Gyroskop s analogovými výstupy otáčení v ose Z, jenž by byl pro komunikaci s mikropočítačem lepší variantou, byl mimo cenovou relaci, a proto byl nahrazen alternativou, tj. gyroskopem s digitálními výstupy komunikující pomocí sériového rozhraní I2C. Výhodou modulu a komunikace je možnost ukládání dat také z akcelerometru.



Obr. 28 Gyroskop MPU 9150 [28]

7.2.3 Senzory

Senzory byly zvoleny přijímače a vysílače v IR pásmu. Obě součástky pracují v pásmech vlnové délky 900 nm. Budou použity čtyři dvojice vysílačů a přijímačů.

IR vysílač a přijímač je nutno umístit tak, aby se jejich optické osy protínaly ve vzdálenosti, na které má být detekována překážka. [23]

Dvě dvojice na levé a pravé části robota s vytočením do stran v úhlu 5°. Další dvě dvojice budou umístěny na přední část robota doprostřed, vytočeny na strany pod úhlem 60°.



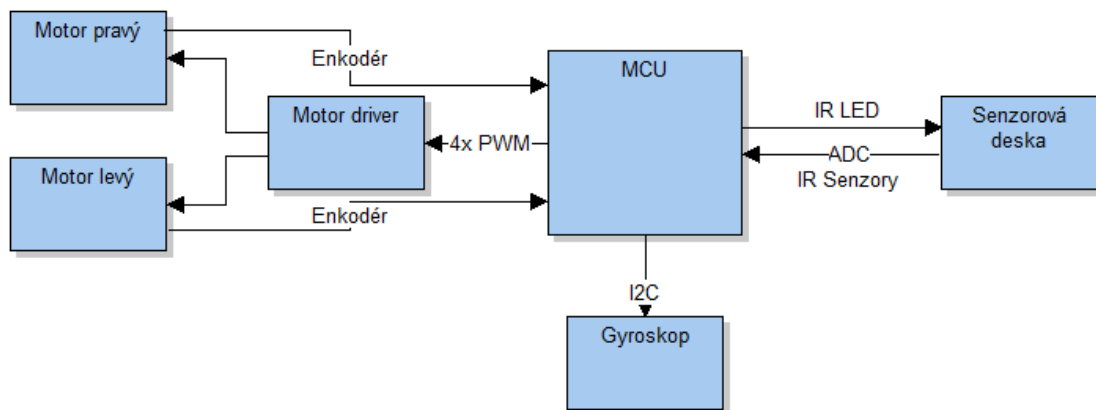
Obr. 29 IR Led Dioda SFH4545 (vlevo) a IR Foto-tranzistor TEFT4300 (vpravo)

Diody budou napájeny napětím 5 V a spouštěny přes tranzistorové pole, zatímco fototranzistory budou napájeny napětím 3,3 V.

7.3 Blokové schéma

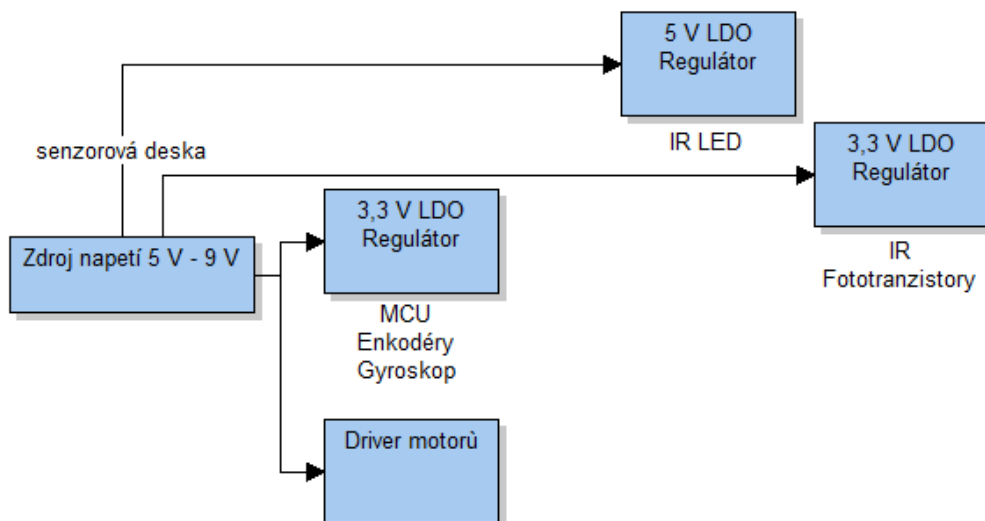
Na následujícím blokovém schématu je znázorněna logika a typ propojení mikropočítače s moduly. Gyroskop je připojen přes sběrnici I2C, PWM signály pro regulaci motorů z mikropočítače jsou připojeny přes driver motorů k motorům, a z nich výstupy z enkodérů jsou

připojeny do mikropočítače jako encoder mode. IR Led diody jsou ovládány mikropočítačem jednotlivě a fototranzistory jsou připojeny na AD převodník mikropočítače.



Obr. 30 Blokové schéma Micromouse

Na následujícím blokovém schématu je znázorněno napájení modulů a senzorů. Vstupní napětí je regulováno na hodnotu 3,3 V pro napájení elektroniky na hlavní desce, tedy mikropočítače, enkodérů a modulu s gyroskopem. Napájecí napětí zdroje bude také vyvedeno na konektor pro sensorovou desku, na které bude regulátor regulující na hodnotu 5 V a vytvoření napájení pro IR Led diody, odkud bude regulátor 3,3 V využit pro napájení IR fototranzistorů.



Obr. 31 Napěťové blokové schéma Micromouse

7.4 Altium Designer

Na základě navržených blokových schémat, zvolených modulů a přibližného návrhu vzhledu Micromouse bylo potřeba navrhnout schéma zapojení elektroniky pro obě desky plošného

spoje. Byl využit program Altium Designer se školní licenci z důvodu možnosti využití školní databáze součástek.

7.4.1 Hlavní deska - schéma

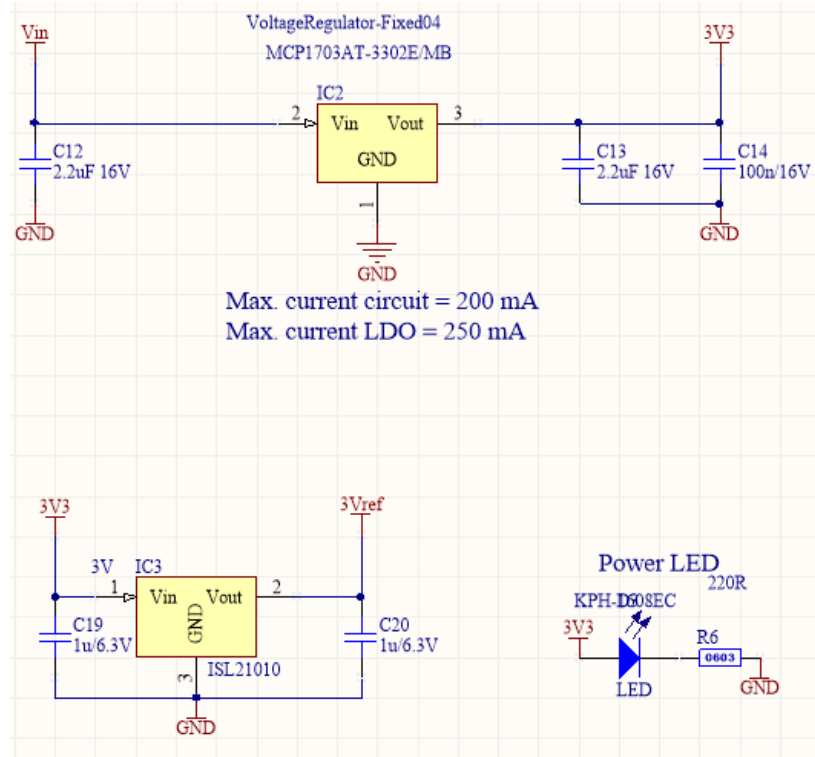
Elektronika hlavní desky obsahuje spoustu součástek, bylo tedy záhodno schéma rozdělit na několik dílčích schémat pro větší přehlednost.

Byl naimportován zvolený mikropočítač, jehož schématická značka je složena z pěti bloků obsahující všechny jeho piny. Na obrázku 32 jsou vyobrazeny dva z nich, tedy bloky U1D a U1E, které se týkají napájecí části schématu. Blok U1D obsahuje reset mikropočítače společně se vstupem a výstupem oscilátoru. Zde je tedy připojen externí oscilátor s frekvencí kmitů 8 kHz. Blok U1E obsahuje pouze napájecí a zemnicí piny, na které je přivedeno napájecí napětí 3,3 V. Je zde také přivedena napěťová reference určená jako přesné napětí využito pro porovnávání účely v mikropočítači. V levé části schématu se vyskytuje propojení filtračních kondenzátorů připojených k jednotlivým napájecím pinům pro MCU.



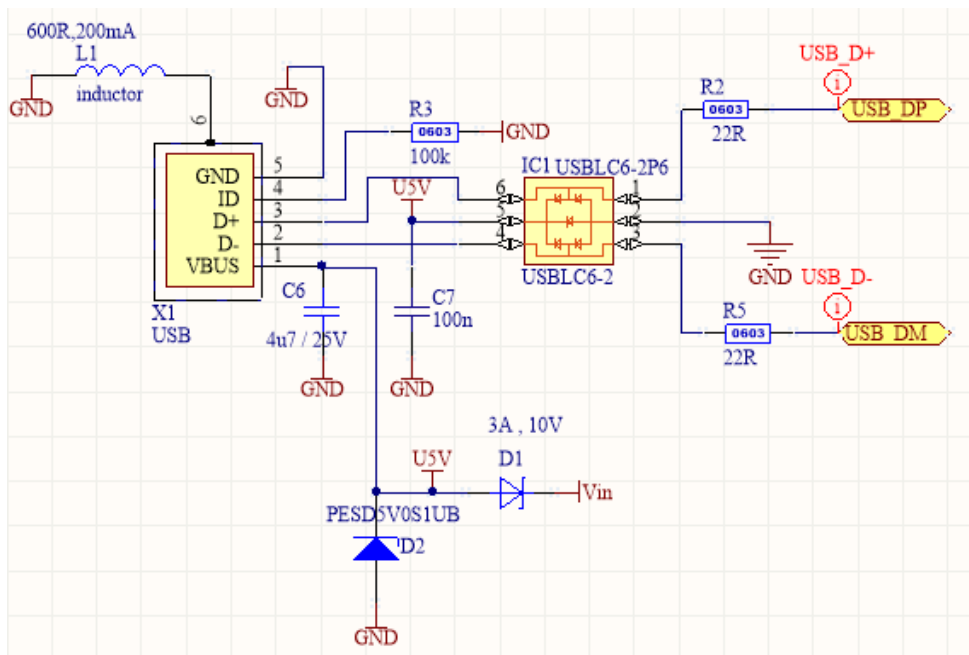
Obr. 32 Hlavní deska – schéma zapojení napájení MCU

Na obrázku 33 je vyobrazena část schématu, která vyobrazuje zapojení napěťové reference (vlevo dole) pro mikropočítač a regulátor regulující vstupní napětí na potřebné napětí 3,3 V. V pravém dolním rohu je vidět zapojení led diody signalizující uživateli, že je deska napájena.



Obr. 33 Hlavní deska – schéma zapojení reference a regulátoru

Poslední částí ve schématu týkajícího se napájení je zapojení mikro USB konektoru, který může být během programování využit jako zdroj napájení robota. Jeho druhou funkcí je možnost programování ve vývojovém prostředí Espruino.



Obr. 34 Hlavní deska – schéma zapojení mikro USB konektoru

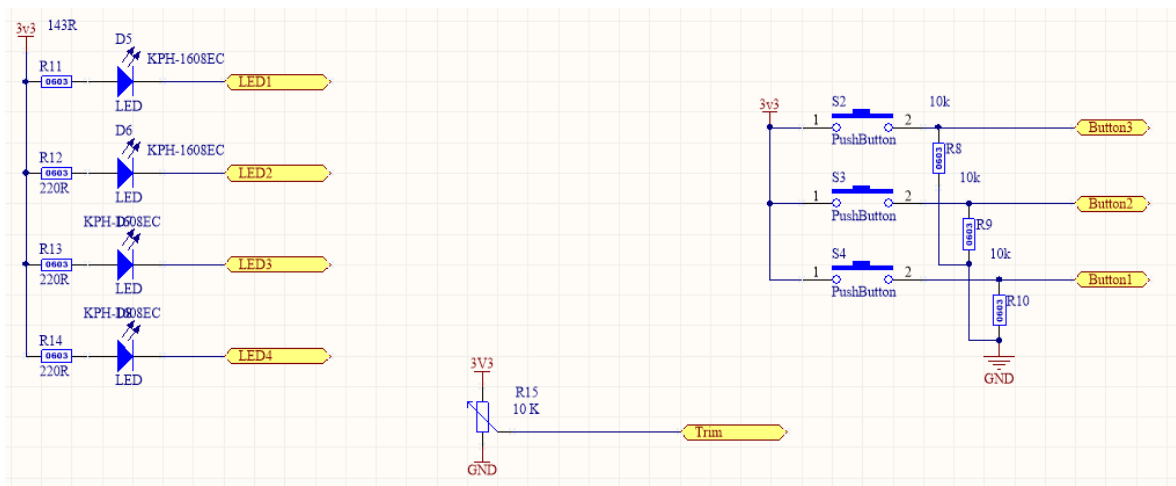
Schéma zapojení zbylých bloků procesoru, tedy U1A, U1B a U1C je vyobrazeno v příloze na konci dokumentu, a zde jsou z důvodu přehlednosti popsány připojené piny v následujících tabulkách.

V tabulce 4 jsou vypsané piny procesoru, které jsou propojeny s komponenty uživatelského rozhraní. Jde o tři tlačítka S2, S3 a S4 a o čtyři LED diody, které uživatel během programování může využít dle vlastního uvážení.

Tab. 4 Pinout procesoru – uživatelské rozhraní (LED, tlačítka)

Pin	Funkce	Poznámka
PE5	GPIO_Output	LED1 pro využití uživatelem
PE6	GPIO_Output	LED2 pro využití uživatelem
PD8	GPIO_Output	LED3 pro využití uživatelem
PD9	GPIO_Output	LED4 pro využití uživatelem
PE2	GPIO_Input	Tlačítko S2
PC6	GPIO_Input	Tlačítko S3
PC7	GPIO_Input	Tlačítko S4
PA6	ADC1_IN6	Trimmer

Na následujícím obrázku jsou vyobrazeny schémata zapojení komponent zmíněných v tabulce 3. V levé části jsou LED diody, které jsou připojeny na napětí a přes rezistory o hodnotě 220 ohm připojeny k mikropočítači. LED dioda bude svítit, jestliže na příslušném pinu bude logická 0, čímž se dioda přizemní. V pravé části je vidět zapojení tlačítek.



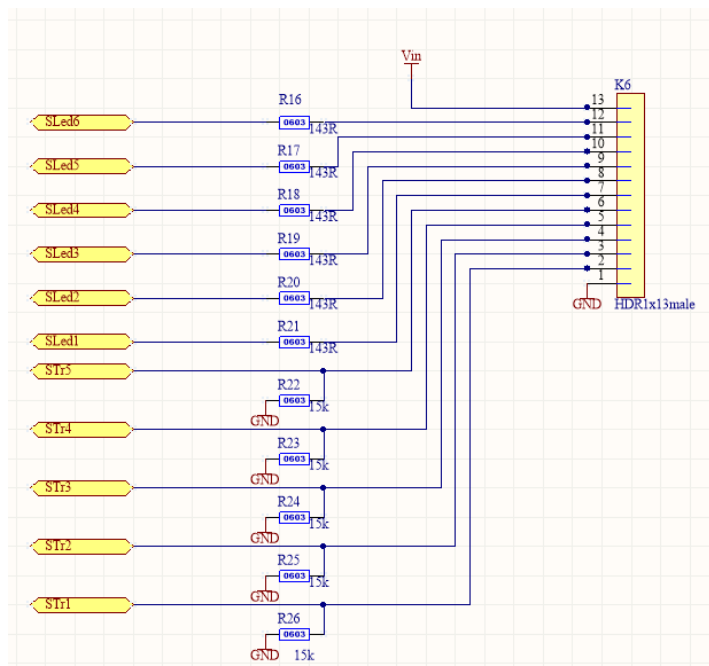
Obr. 35 Hlavní deska – schéma zapojení komponent uživatelského rozhraní

V následující tabulce jsou vypsané piny, které jsou vyvedeny na 13 pinový konektor, jenž je určen jako propojovací konektor mezi hlavní a sensorovou deskou. Micromouse bude využívat pouze čtyři diody a čtyři senzory. Propojeno je však pět sensorů a šest diod, což umožňuje připojení různých sensorových desek s více senzory.

Tab. 5 Pinout procesoru – sensorová deska

Pin	Funkce	Poznámka
PC0	ADC1_IN10	Analogová hodnota sensorů přivedena na kanály ADC převodníku MCU
PC1	ADC1_IN11	
PC2	ADC1_IN12	
PC3	ADC1_IN13	
PC4	ADC1_IN14	
PD0	GPIO_Output	Digitální výstupy z MCU ovládající jednotlivé Diody na sensorové desce
PD1	GPIO_Output	
PD2	GPIO_Output	
PD3	GPIO_Output	
PD4	GPIO_Output	
PD5	GPIO_Output	

Na obrázku 36 je vyobrazeno schéma zapojení konektoru. Led diody jsou připojeny přes 143 ohm rezistor napřímo, zatímco sensorové piny jsou připojeny přes zemnicí rezistory.



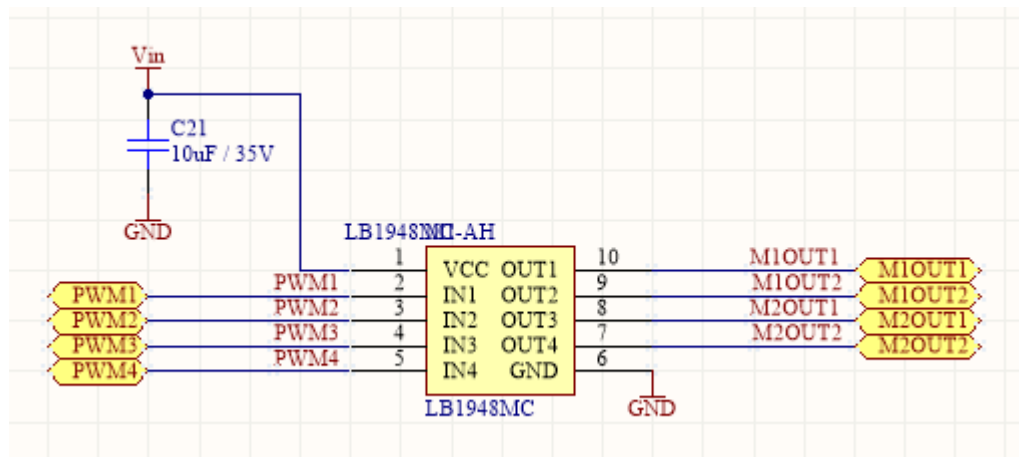
Obr. 36 Hlavní deska – schéma zapojení konektoru propojujícího hlavní a sensorovou desku

Obsahem následující tabulky je přehled pinů spojených s regulací motorů a zpětnou vazbou o pohybu. Všechny kanály časovače čtyři jsou využity pro regulaci motorů a časovače 2 a 3 jsou nastaveny jako kombinační časovače, čítající pulzy směrem nahoru. Tím je uložena přesná hodnota pohybu obou motorů zvlášť v počtu pulzů každého časovače.

Tab. 6 Pinout procesoru – ovládání motoru

Pin	Funkce	Poznámka
PB6	TIM4_CH1	Kanály timeru generující PWM, kde kanály 1 a 2 jsou přes driver řídicími signály levého motoru a kanály 3 a 4 motoru pravého.
PB7	TIM4_CH2	
PB8	TIM4_CH3	
PB9	TIM4_CH4	
PA0	TIM2_CH1	Dva kanály timeru spojeny do kombinace jako enkodér mód čítající pulzy z enkodéru levého motoru.
PA1	TIM2_CH2	
PB4	TIM3_CH1	Dva kanály timeru spojeny do kombinace jako enkodér mód čítající pulzy z enkodéru pravého motoru.
PB5	TIM3_CH2	

Na následujícím obrázku je znázorněno schéma zapojení driveru motorů. Na jeho vstup je společně s filtračním konektorem přivedeno zdrojové napětí. Na vstupy jsou připojeny generované signály PWM z mikropočítače a výstupy připojeny na konektory K1 a K2 odkud je signál přes modul enkodéru přiveden na komutátorové cívky motoru.



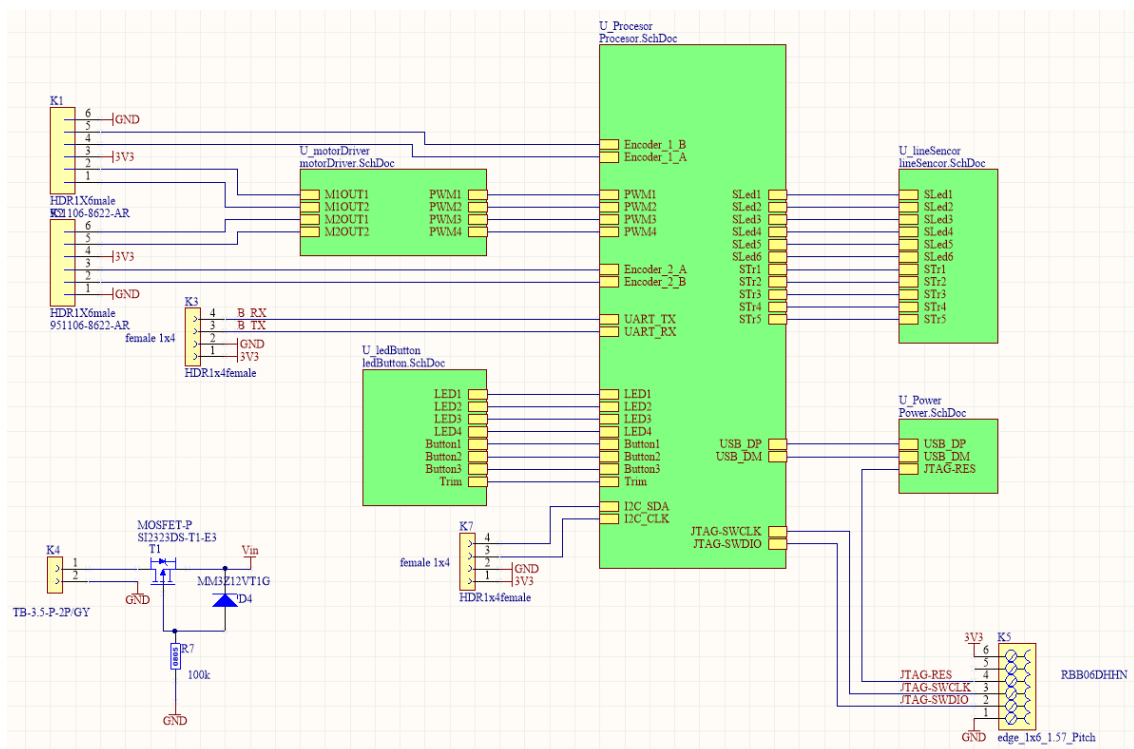
Obr. 37 Hlavní deska – schéma zapojení driveru motorů

V tabulce 7 jsou popsány piny, které slouží jako vstupně výstupní pro komunikaci s mikropočítačem. Je zde zapojena sériová komunikace USART, dále výše zmíněný mikro USB konektor, debug konektor, oscilátor zmíněný výše a nakonec I2C rozhraní pro komunikaci s gyroskopem.

Tab. 7 Pinout procesoru – vstupně výstupní komunikace

Pin	Funkce	Poznámka
PA9	USART1_TX	Komunikační piny při komunikaci přes sériové rozhraní na konektoru K3
PA10	USART1_RX	
PA11	USB_DM	Komunikační piny při programování přes mikro usb konektor X1
PA12	USB_DP	
PA13	SYS_SWDIO	Komunikační piny při programování přes debug konektor K5
PA14	SYS_SWCLK	
PB10	I2C2_SCL	I2C rozhraní připojeno ke konektoru K4, komunikace s gyroskopem
PB11	I2C2_SDA	
PH0	RCC_OSC_IN	Oscilátor in
PH1	RCC_OSC_OUT	Oscilátor out

Na následujícím obrázku lze shlédnout kompletní schéma zapojení tak, jak se skládají všechny části do sebe. Konektory K1 a K2 se starají o regulaci a zpětnou vazbu o motorech. Konektor K3 umožňuje komunikovat pomocí sériové linky. Konektor K4 který bude napájecím konektorem. Konektor K5 bude využit jako programovací konektor pro připojení přes JTAG nebo SWD. Konektor K6 bude propojovacím rozhraním se sensorovou deskou a konektor K7 bude obsahovat potřebné piny pro komunikaci I2C.

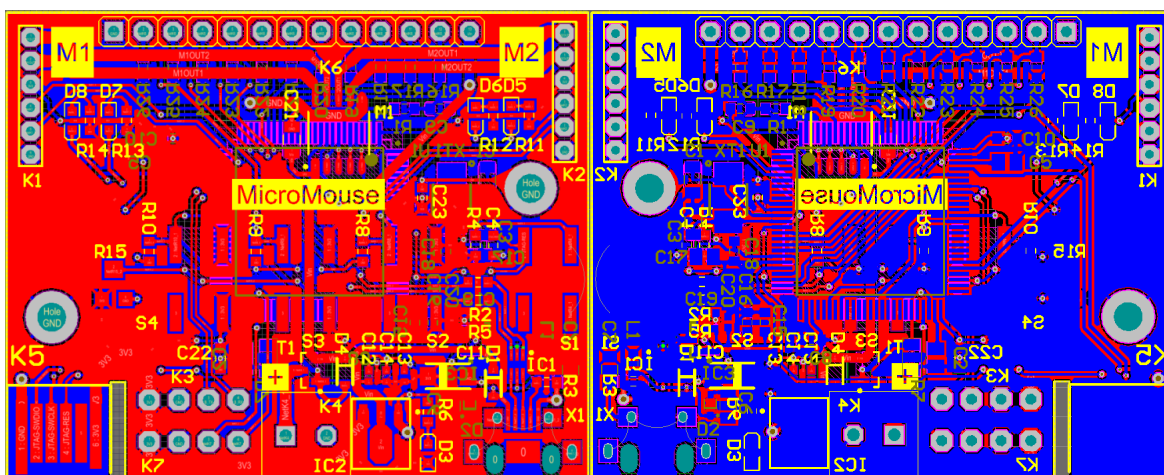


Obr. 38 Hlavní deska – kompletní schéma zapojení

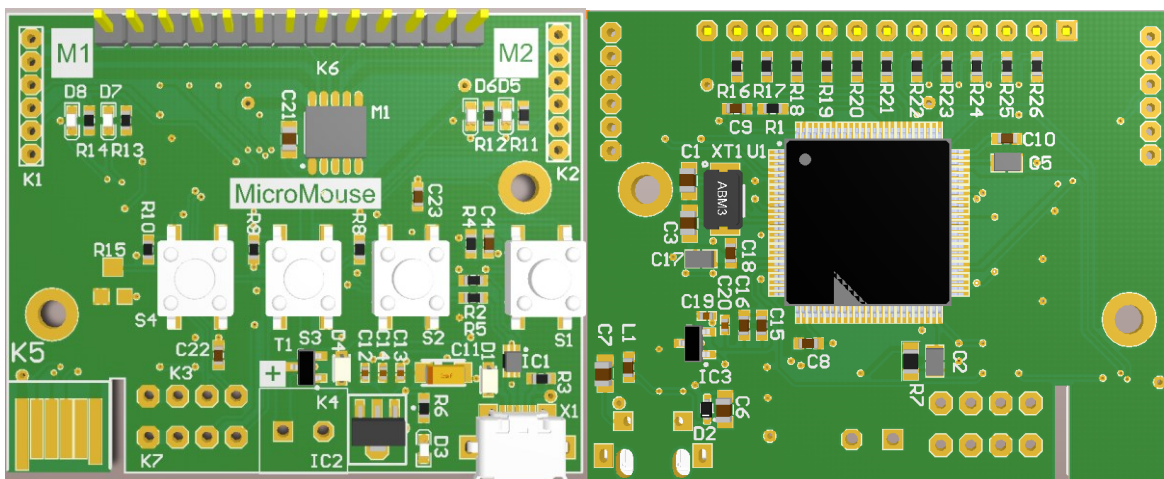
7.4.2 Hlavní deska – PCB

Z výše vytvořených schémat bylo potřeba navrhnout desku PCB s rozumnými rozměry. Deska byla navržena oboustranně o rozměrech 50 mm x 40 mm, a bude připevněna pomocí distančních sloupků nad podvozek tak, aby pod ní vznikl dostatečný prostor pro baterii. Mikropočítač byl umístěn na spodní stranu desky, zatímco LED diody a tlačítka byly umístěny tak, aby k nim měl uživatel přístup.

Na obrázcích 39 a 40 jsou vyobrazeny návrhy desky z vrchní a spodní strany. Dva největší otvory na desce byly rozmístěny pro uchycení. Přímá vzdálenost mezi nimi je poněkud ne-tradiční, tedy 42,45 mm. V osách x a y jsou však vzdálenosti 41 mm a 11 mm.



Obr. 39 Hlavní deska – návrh PCB, horní strana (vlevo), spodní strana (vpravo)

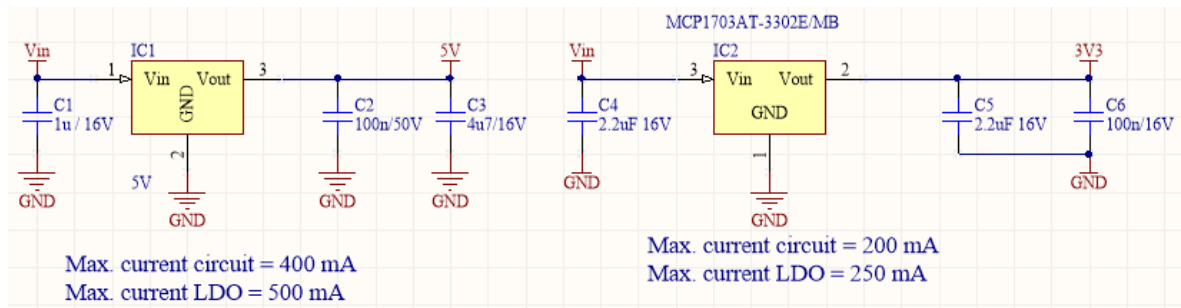


Obr. 40 Hlavní deska – návrh PCB, 3D pohled

7.4.3 Sensorová deska - schéma

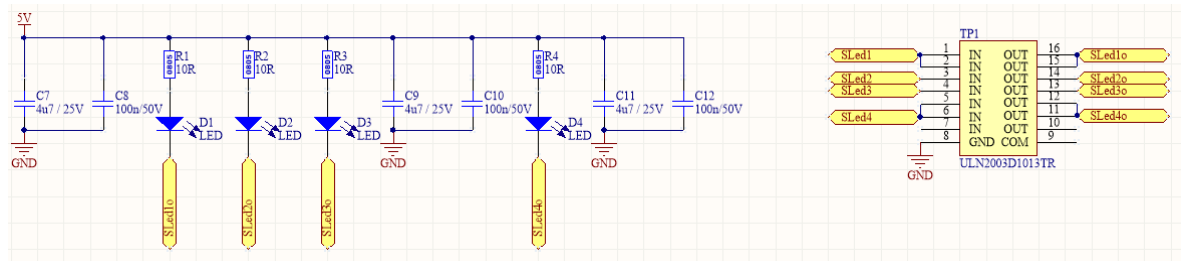
Schéma sensorové desky obsahuje konektor propojující desku s hlavní deskou s mikropočítačem. Dále jsou zde regulátory napětí 5 V a 3,3 V, IR fototranzistory, IR diody a pole bipolárních tranzistorů spínajících diody.

Na následujícím obrázku je vyobrazená část schématu, kde jsou připojeny regulátory napětí.



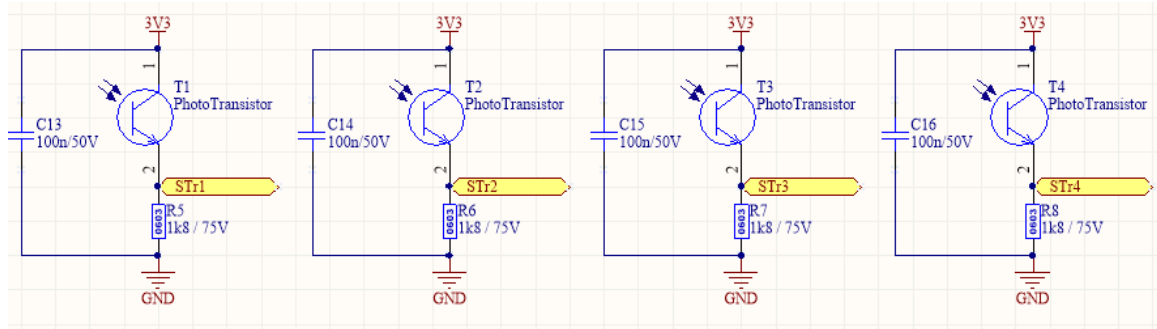
Obr. 41 Sensorová deska – schéma zapojení regulátorů

Obrázek 42 znázorňuje část schématu připojení diod a tranzistorového pole. Diody jsou připojeny na napětí 5 V a na výstup tranzistorového pole. Jestliže je přivedeno napětí z mikropočítače na vstup tranzistorového pole, dojde k sepnutí výstupu, čímž se uzemní příslušná větev s diodou a ta začne vyzařovat signál.



Obr. 42 Sensorová deska – schéma zapojení diod a tranzistorového pole

V další části schématu je vyobrazeno zapojení senzorů, tedy fototranzistorů. Jsou připojeny na napětí 3,3 V a přes rezistor k zemi. Paralelně k nim jsou připojeny filtrační kondenzátory. Po zachycení signálu se fototranzistor začne otevírat, kde hodnota napětí je vyvedena konektorem k mikropočítači, a zde je převedena pomocí převodníku na digitální hodnotu.



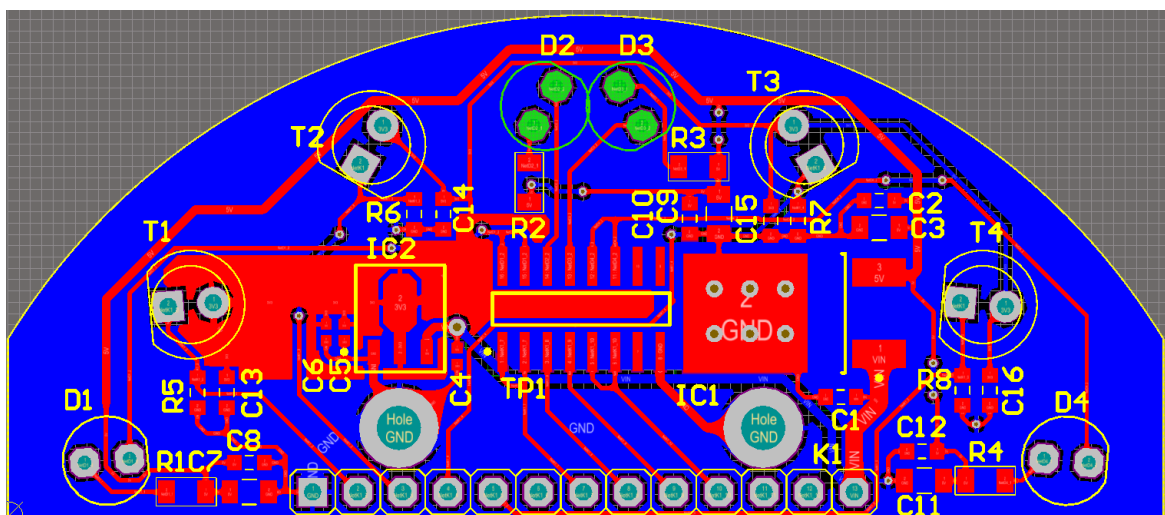
Obr. 43 Sensorová deska – schéma zapojení fototranzistorů

Zapojení konektoru je totožné se zapojením konektoru na hlavní desce, viz **obrázek**.

7.4.4 Sensorová deska – PCB

Na základě schémat byla vytvořena deska plošného spoje, která je stejně jako hlavní deska dvouvrstvá, v tomto případě byly všechny součástky umístěny pouze z horní strany.

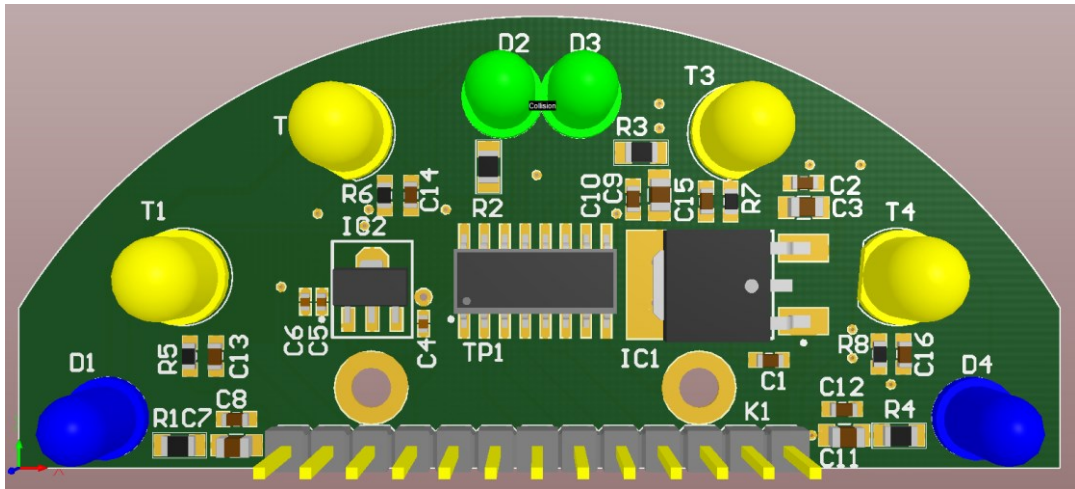
Návrh desky je vyobrazen na následujícím obrázku, kde jde vidět celkové rozložení součástek. Ve spodní části je umístěn 13 pinový konektor, určen pro propojení s hlavní deskou. Dvě díry nad ním s roztečí 20 mm jsou určeny pro uchycení desky k šasi Micromouse. Diody D1 a D4 jsou natočeny do krajů o 5° a k nim příslušné fototranzistory T1 a T4 také. Dvojice D2, T2 a D3, T3 jsou natočeny do stran o 60°. V prostřední části jsou umístěny regulátory, a mezi nimi tranzistorové pole.



Obr. 44 Sensorová deska – návrh PCB, pohled cest

Na následujícím obrázku je vyobrazena deska návrhu, jak by mohla vypadat po napájení součástek. Jediný rozdíl mezi návrhem a reálnou deskou bude v diodách a fototranzistorech,

jelikož budou vyhnuty o 90° tak, aby nemířily vzhůru, ale mimo desku. Tím nedojde ke kolizi, která je na obrázku zvýrazněna zeleně.



Obr. 45 Sensorová deska – návrh PCB, 3D pohled

7.5 Kompletace robota

Po dokončení návrhů desek a volby všech modulů bylo potřeba navrhnout podvozek, na který budou všechny tyto moduly uchyceny tak, aby si nepřekážely, byl k nim přístup a vše bylo pevně uchyceno.

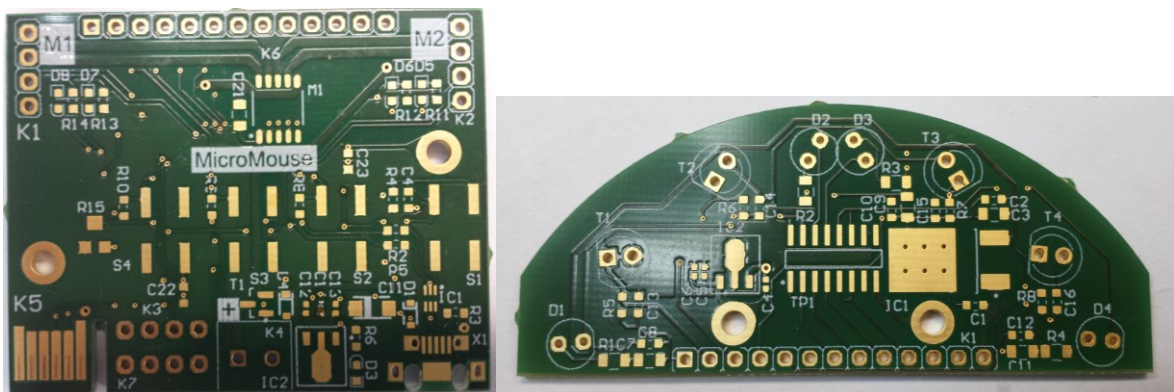
Vygenerovaný 3D objekt, který byl vytisknut na 3D tiskárně bude přiložen v přílohách práce. Na následujícím obrázku je ukázán podvozek po vytištění.



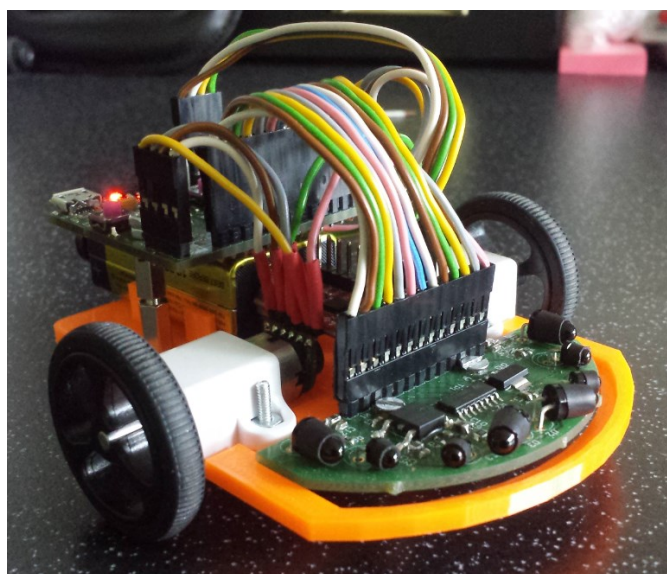
Obr. 46 Připravený podvozek micromouse

Jak je vidět, v přední části jsou dva otvory o průměru 2,5 mm, vzdáleny od sebe 21 mm, sloužící pro úchyt sensorové desky. Nalevo a napravo jsou připraveny úchyty pro přichycení motoru a tři otvory o průměru 3 mm jsou určeny pro uchycení modulu s gyroskopem. Tři jsou z důvodu zajištění kompatibility s více moduly, tedy modely s MPU9150, nebo s MPU6050. V zadní části jsou připraveny otvory pro uchycení všesměrového kolečka se zapuštěnými maticemi. Vyvýšené přepážky byly přidány z důvodu uchycení baterie a poslední dva otvory jsou umístěny se stejnými rozměry, jako otvory na hlavní desce.

Na následujícím obrázku jsou ukázány desky, tak jak byly vyrobeny firmou Gatema a.s., zabývající se výrobou desek plošných spojů. Obrázek pod deskami znázorňuje kompletní Micromouse se všemi moduly.



Obr. 47 Vyrobené desky PCB, hlavní deska (vlevo) a sensorová deska (vpravo)



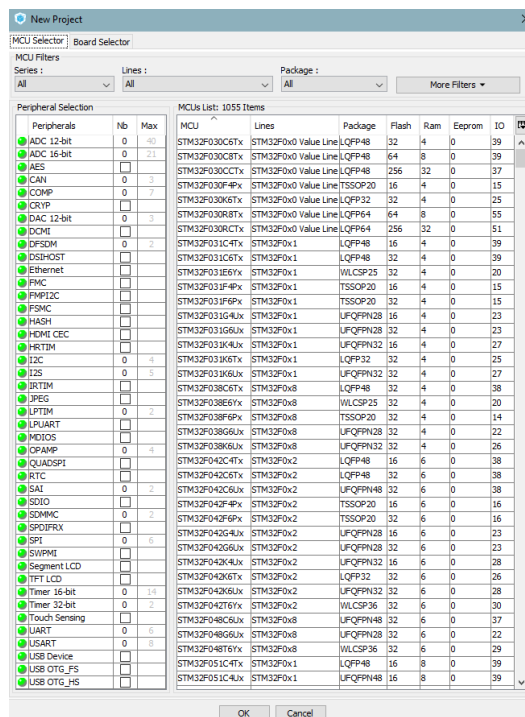
Obr. 48 Osazená micromouse

8 SOFTWAREVÁ ČÁST MICROMOUSE

Jako programovací jazyk robota byl zvolen jazyk C. Pro programování bylo potřeba získat několik programů dostupných na stránkách firmy STM volně ke stažení. Prvním z nich STM32CubeMX byl využit pro nastavení pinoutu mikropočítače a vygenerování struktury projektu. Projekt byl následně importován do vývojového prostředí IDE Systém Workbench for STM32, které je integrováno do Eclipse, obsahující kompilátor, linker a utility pro debug embedded aplikací. Poslední využitou aplikací bylo STM Studio, do kterého uživatel může nahrát vygenerovaný build programu, vybrat si z dostupných proměnných a nahrát je do čtecích a editovacích tabulek. Poté se uživatel připojí do zařízení, ve kterém je kód obsažený, a v reálném čase může sledovat hodnotu proměnných, popřípadě v editačních tabulkách jim měnit hodnoty a kontrolovat reakce programu. [24]

8.1 STM32 CubeMX

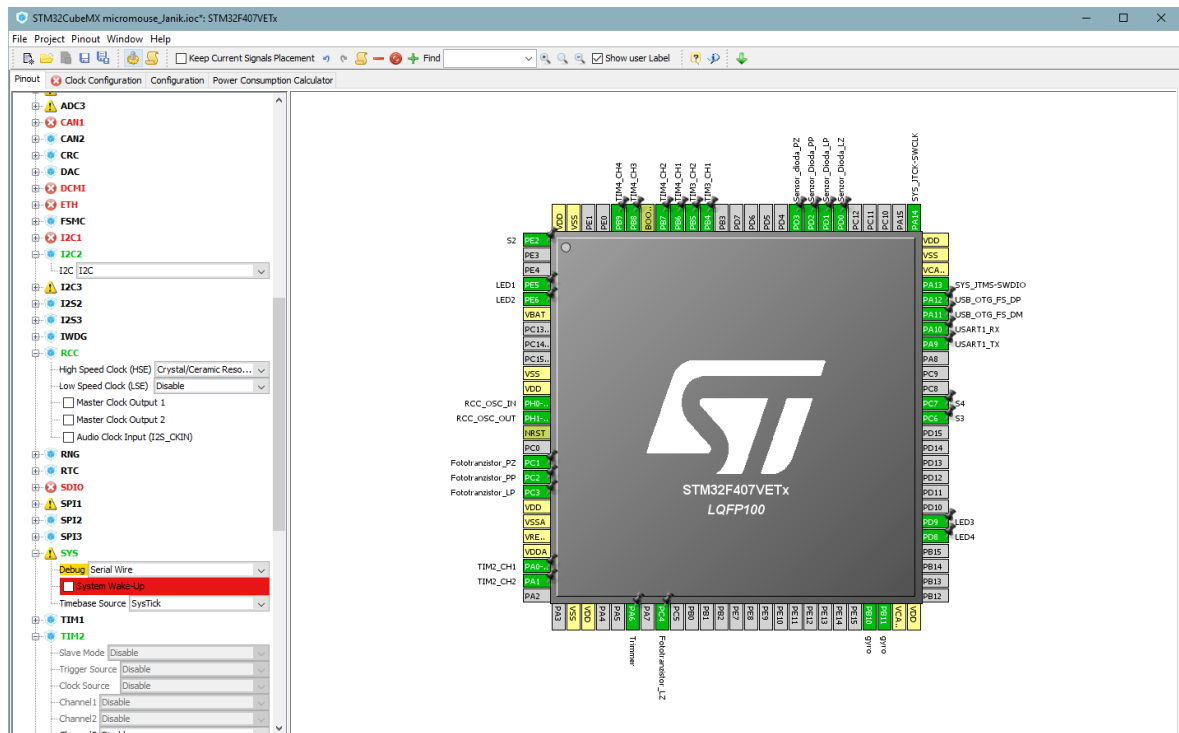
Prvním z využitých programů byl program zvaný STM32CubeMX. Jde o software, ve kterém si uživatel vytvoří nový projekt pomocí příkazu File – New Project nebo klávesové zkratky CTRL + N. V dialogovém okně, viz následující obrázek, si uživatel vybere mikro-
počítač, který bude chtít programovat.



Obr. 49 STM32CubeMX – dialogové okno pro výběr mikropočítače

V případě tohoto projektu byl zvolen mikro počítač ze série STM32F4 s pouzdrém LFPQ100, STM32F407VETx.

Po potvrzení volby se v hlavním okně programu zobrazí mikro počítač s jeho pinovým rozvržením a uživatel může začít s nastavováním pinoutu. Kliknutím na pin se zobrazí možnosti funkcí, které jsou možné k danému pinu přiřadit a jejich konfigurace se provádí v levé části programu, kde si uživatel rozklikne periférii a v ní nastaví potřebné parametry. Na následujícím obrázku je zobrazeno, jak vypadal projekt Micromouse po nadefinování všech potřebných pinů dle tabulek uvedených výše.



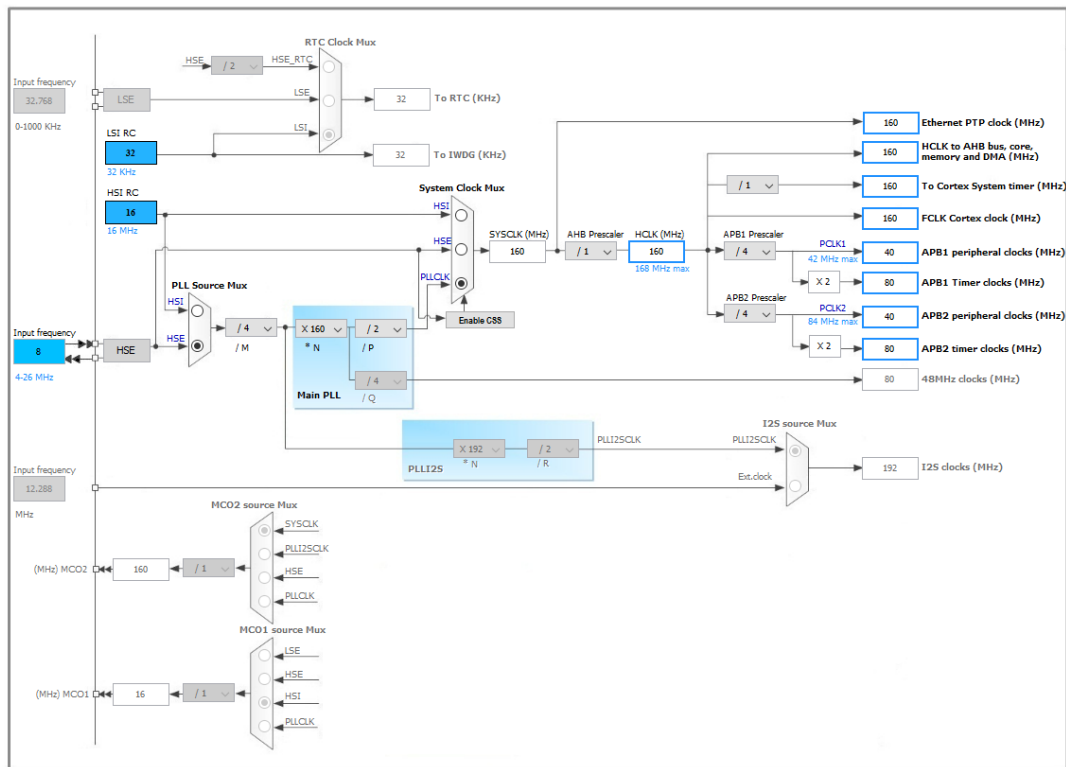
Obr. 50 STM32CubeMX – definice pinout MCU pro projekt Micromouse

Po nastavení pinů mikro počítače bylo potřeba v levé části programu nastavit potřebné parametry perifériím.

- ADC1 – zde bylo pouze pomocí checkboxů zaškrtnuto, které kanály převodníku budou využity
- I2C2 – bylo aktivováno rozhraní I2C volbou z popup menu.
- RCC – pro HSE (high speed clock) byla vybrána volba Krystal/keramický rezonátor
- SYS – byla vybrána možnost Serial wire
- TIM2, TIM3 – zde byly aktivovány kombinace kanálů jako Encoder mode

- TIM4 – časovači nastaven zdroj pulzů interní časovač a všechny kanály nastaveny jako generování signálu PWM kanály 1,2,3,4
- TIM7 – časovač byl aktivován

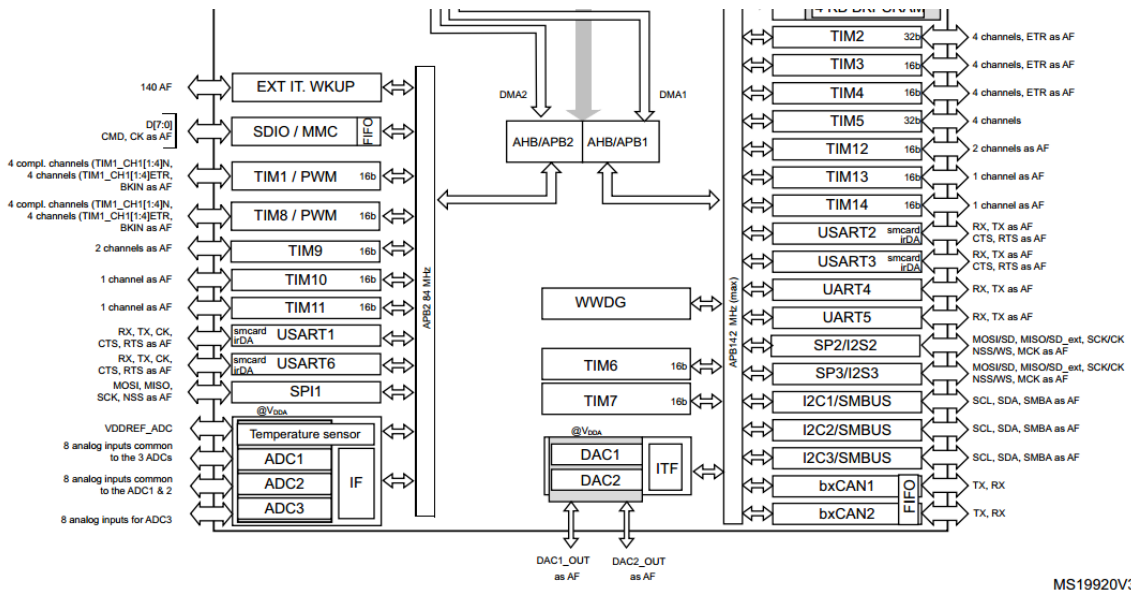
Následovalo nastavení časovačů, které je dostupné v druhém panelu s názvem Clock configuration. Vzhled nastavení je vyobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 51 STM32CubeMX – nastavení časovačů projektu Micromouse

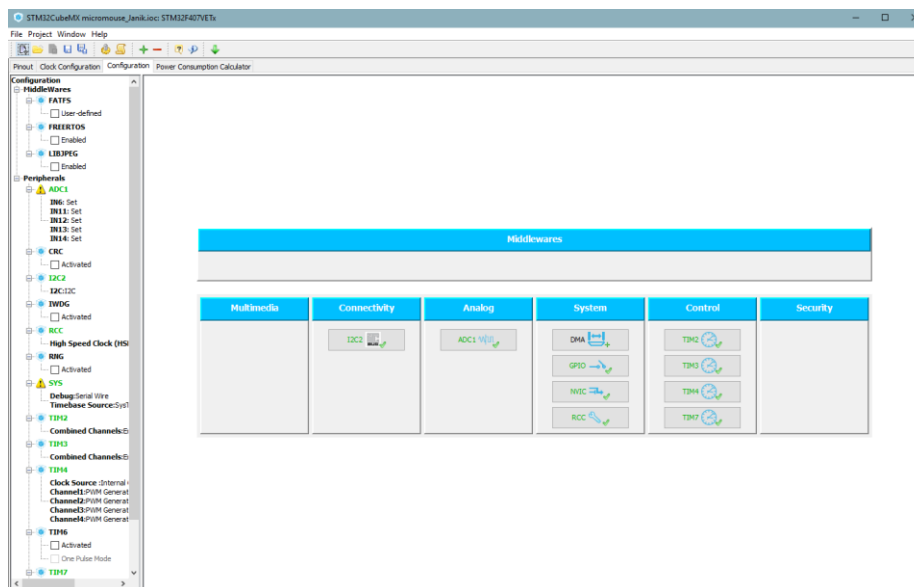
Jelikož v návrhu desky byl umístěn krystal o frekvenci 8 MHz, byl zde zvolen jako zdroj signálu. Signál je poté děliči a násobiči převeden na vyšší hodnoty. Frekvence systému byla nastavena na 160 MHz, frekvence periférií byla 40 MHz a frekvence časovačů 80 MHz.

Pokud budeme chtít nastavit časovače s požadovanou periodou, musíme znát signál jeho zdroje. V tomto případě byly frekvence bloků APB1 i APB2 nastaveny stejně. Bylo tedy zřejmé, z jaké frekvence se bude vycházet. Pro informaci je zde však uveden následující obrázek, na kterém je vyobrazena část blokového zapojení mikropočítače z datasheetu, kde jde vidět, že všechny časovače využity v projektu Micromouse, tedy TIM2, TIM3, TIM4 a TIM7 jsou připojeny na zdroj signálu APB1.



Obr. 52 Část blokového schématu MCU STM32F407 [22]

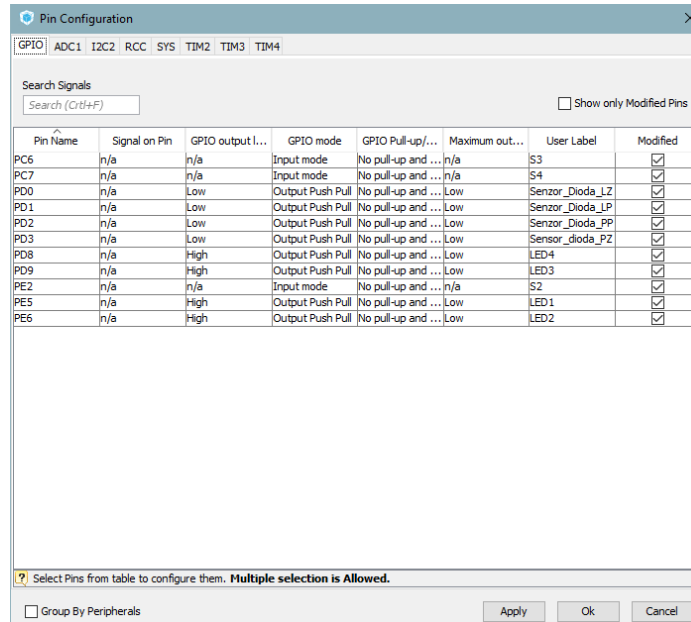
Po dokončení nastavení frekvencí signálů v mikropočítači bylo potřeba se přepnout do nabídky Configuration na horním panelu. V této nabídce je uživateli přehledně umožněno nastavit všechny potřebné náležitosti, jako nastavení komunikací, režimů jednotlivých periférií a dalších možností.



Obr. 53 STM32CubeMX – konfigurace periférií

V bloku s názvem I2C byla nastavena komunikace I2C, výchozí adresa zařízení a frekvence komunikace. Blokem ADC1 bylo nastaveno rozlišení AD převodníku. Blokem DMA (Direct memory access) má uživatel možnost nastavení přímého přístupu do paměti.

Blok GPIO (General purpose input output) otevře dialogové okno, ve kterém jsou přehledně vyobrazeny veškeré piny mikropočítače, a uživatel má možnost každému z nich nastavit režim, výchozí logickou úroveň a pull up nebo pull down rezistory.



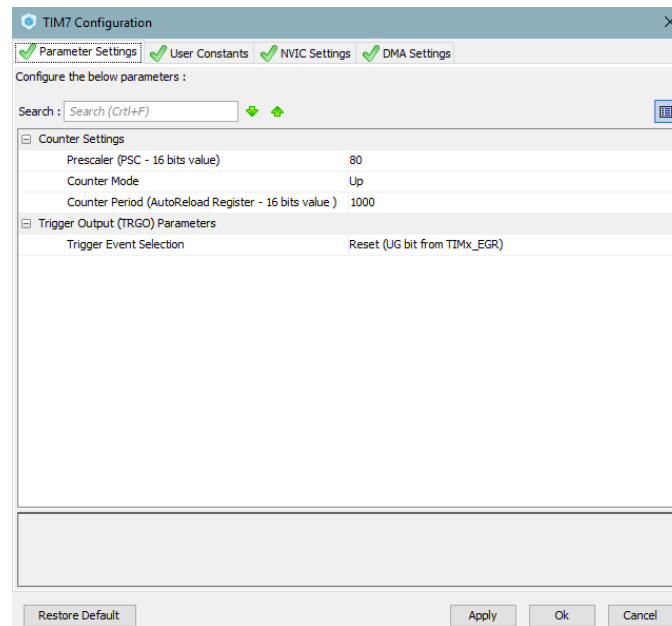
Obr. 54 STM32CubeMX – dialogové okno GPIO

Blok NVIC (Nested Vectored Interrupt Controller) je obdobný bloku GPIO. Zde si však uživatel může povolit požadované přerušení, které bude chtít v programu využívat.

RCC (Reset and Clock Control) je blokem pro nastavení resetu a časového signálu.

V záložce control má uživatel vypsány časovače, které jsou využity v programu. Každému z nich bylo potřeba nastavit parametry tak, aby jejich výsledný signál nebyl o frekvenci 80 MHz.

Příkladem je nastavení časovače 7 vyobrazeno na následujícím obrázku, kde bylo potřeba získat výslednou periodu signálu rovnou 1 ms, což je signál o frekvenci 1000 Hz.



Obr. 55 STM32CubeMX – Nastavení časovače na požadovanou periodu

V následující rovnici je znázorněn výpočet frekvence potřebného signálu. Hodnota APB1 je frekvenci zdrojového signálu, v tomto případě tedy 80 MHz. Hodnota prescaler je dělicí hodnotou zdrojového signálu, čímž získáme frekvenci, s jakou se bude přičítat hodnota počítadla časovače. Výsledná frekvence signálu je poté podělena hodnotou counter period.

V případě časovače 7 jde tedy o $80 \text{ M} / (80 * 1000)$ s výsledkem 1000 Hz.

$$F_{sig} = \frac{APB1}{Prescaler * Counter Period} \quad (2)$$

PWM signály pro regulace motorů byly zvoleny o hodnotě 500 Hz. Bylo potřeba, aby signálu PWM bylo možno nastavit dostatečný počet různých úrovní pracovního cyklu, jelikož signálem, kde můžeme poslat hodnotu 0, nebo 1 moc regulovat nejde. Z toho důvodu byla hodnota counter period zvolena 999. Časovač bude s periodou 500 Hz pravidelně čítat do hodnoty 999 a uživatel může v každém cyklu volit pracovní cyklus v době 0 – 2 milisekundy s rozlišením 2 mikrosekundy.

Časovače spojeny se signály enkodérů zůstali nepoděleny a counter period jim byla nastavena na hodnotu 65 536, při otáčení kol se tedy budou hodnoty pulzů časovače přičítat do této hodnoty, poté dojde k vynulování.

Nastavení časovače 7 je vyobrazeno na obrázku výše.

Po dokončení všech potřebných nastavení byl vygenerován kód. Ve struktuře projektu byly automaticky vytvořeny knihovny mikropočítače implementující funkce d ovladačů HAL vytvořených pro mikropočítače STM32.

8.2 Ukázkový program

Vygenerovaná struktura projektu byla importována do vývojového prostředí a bylo potřeba si rozvrhnout strukturu programu tak, jak bude Micromouse fungovat.

V následujících kapitolách budou popsány všechny knihovny, tedy hlavičkový soubor a soubor se zdrojovým kódem, kde část z nich byla vygenerována programem CubeMX a zůstala nezměněna, část z nich byla vygenerován a byly zde provedeny úpravy a přidány funkce a zbylé z nich, které byly vytvořeny uživatelem za účelem použití při tvorbě algoritmu Micromouse.

8.2.1 ADC

Dvojice souborů `adc.c` a `adc.h` obsahuje funkce týkající se AD převodníku. Část zdrojového kódu byla vygenerována programem CubeMX, byly zde však dopsány funkce a makra určené uživateli.

readADC

- **Použití:** `readADC(uint32_t channel)`

Tato funkce přebírá vstupní parametr jako číslo kanálu, jehož hodnotu chce uživatel získat. Jelikož všechny analogové piny mikropočítače jsou připojeny k AD převodníku 1, je tento parametr vynechán a vždy je automaticky volen převodník ADC1.

V následující tabulce jsou popsány makra pro přečtení kanálu AD převodníku příslušného senzoru.

Tab. 8 Makra pro čtení hodnot AD převodníku

makro	funkce
<code>read_rearRSensor</code>	zadní pravý senzor
<code>read_rearLSensor</code>	zadní levý senzor
<code>read_frontLSensor</code>	přední levý senzor
<code>read_frontRSensor</code>	přední pravý senzor
<code>read_Trimer</code>	potenciometr

8.2.2 CalibrateMode

Knihovna CalibrateMode byla navržena uživatelem a obsahuje funkce nastavující regulátory a kalibrační funkci pro ověření funkčnosti regulátorů a senzorů.

GetEncoderStatus

- **Použití:** getEncoderStatus()

Funkce bez návratové hodnoty. Přečte aktuální hodnoty pulzů z časovačů připojených k enkodérům a hodnoty nahraje do globálních proměnných **leftEncoder** a **rightEncoder**.

ResetSpeedProfile

- **Použití:** resetSpeedProfile()

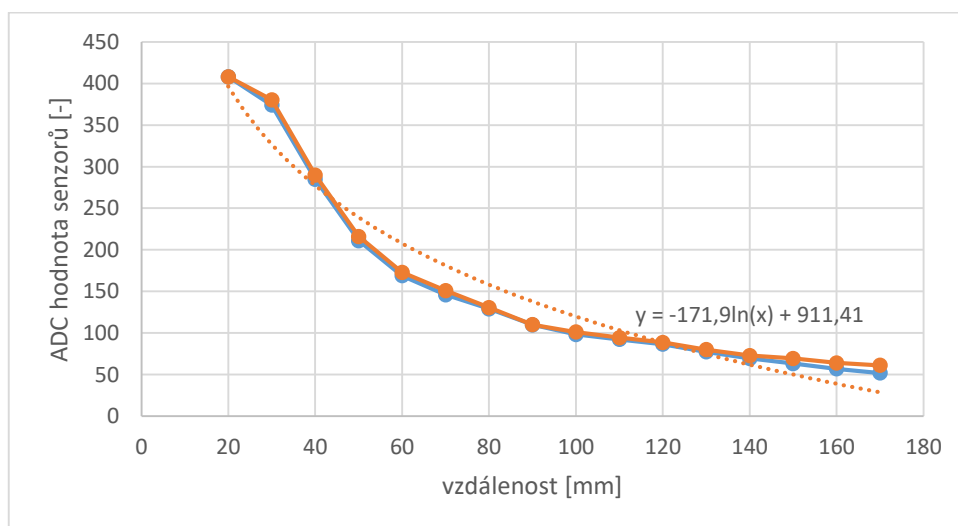
Funkce zajišťující resetování hodnot časovačů, vzdáleností pro ujetí a vypnutí motorů.

FollowFrontWall

- **Použití:** followFontWall()

Tato funkce byla navržena jako jeden z režimů pohybu Micromouse. Jejím úkolem je kalibrovat se a vyrovnávat se se stěnou před robotem.

Jelikož funkce čerpá data ze senzorů, byl vytvořen graf závislosti hodnoty AD převodníku senzorů na vzdálenosti od překážky.



Obr. 56 Graf závislosti hodnot AD převodníku v závislosti na vzdálenosti

Z grafu je patrné, že růst hodnoty převodníku v závislosti na vzdálenosti není lineární. Závislost byla tedy proložena funkcí, která se na úkor co největší jednoduchosti reprezentace přímky nejvíce shodovala s charakteristikou senzorů. Ve funkci

je poté použita rovnice přímky pro zpětné získání hodnoty x , která je vložena do funkce `dist_to_counts`, která má hodnotu senzoru jako vstupní parametr a vzdálenost v pulzech enkodéru jako návratovou hodnotu.

Z takto získaného převodu byl poté vytvořen PD regulátor regulující oba motory zvlášť, nezávisle na sobě.

SearchRunRegulate

- **Použití:** `searchRunRegulate(int dir)`

Funkce přebírající vstupní parametr `dir`, který určuje, jaký pohyb robot provádí, a podle toho volí příslušný regulátor s příslušnými parametry. Funkce je volána každou milisekundu v přerušení časovače z důvodu pravidelného odečítání předchozích stavů. Parametr `dir` o hodnotě roven 1 znamená pohyb vpřed, 3 pro zatočení vlevo, 4 vpravo a 5 pro otočení o 180° .

8.2.3 Delay

V souborech `delay` byly vytvořeny funkce, kterými si uživatel může vytvořit zpoždění v programu dle funkce a hodnoty parametru, dále jsou zde dvě funkce, **micros** a **millis**, které mají návratovou hodnotu unsigned integer, ve kterém bude aktuální stav časové proměnné v mikrosekundách nebo milisekundách.

delay_ms

- **Použití:** `delay_ms(uint32_t nTime)`

Zavoláním této funkce je vytvořena blokace v kódu po dobu `nTime` milisekund.

delay_us

- **Použití:** `delay_us(uint32_t nTime)`

Obdoba předchozí funkce, zde je odezva po dobu `nTime` mikrosekund.

elapsedMicros

- **Použití:** `elapsedMicros(uint32_t targetTime, uint32_t oldt)`

Tato funkce vytvoří blokaci v kódu od počátku do požadované doby. Proměnná `oldt` obsahuje počáteční hodnotu času a `targetTime` je hodnota, kolik mikrosekund má od počátku uběhnout. Tato funkce je vhodná tam, kde uživatel potřebuje, aby část kódu trvala dobu, jakou potřebuje, bez ohledu na to kolik času do požadované doby zbývá.

elapsedMillis

- **Použití:** `elapsedMillis(uint32_t targetTime, uint32_t oldt)`
Obdoba předchozí funkce s rozdílem měření v milisekundách.

8.2.4 Encoder

V souborech `encoder.c` a `encoder.h` byly vytvořeny funkce, určeny pro práci s enkodéry. Přehledný seznam volání funkcí je vidět v následující tabulce. Funkce `getRightEncCount` a `getLeftEncCount` po zavolání vrátí hodnotu daného enkodéru. Funkcemi `reset` jsou hodnoty enkodérů resetovány na hodnotu, kterou uživatel může nastavit ve zdrojovém souboru `encoder.c`. V případě ukázkového programu je zde hodnota 35000, což je hodnota přibližně uprostřed rozsahu. Hodnota byla nastavena proto, že při ponechání hodnoty 0 se při malém pohybu vzad hodnota změní na maximální rozsah, tedy 65 536, což by mohlo při dostatečném neošetření všech funkcí způsobit problémy při regulaci.

Tab. 9 Přehled funkcí pro práci s enkodéry

funkce	vstupní parametr	návratová hodnota
<code>getRightEncCount()</code>	-	<code>uint32_t</code>
<code>getLeftEncCount()</code>	-	<code>uint32_t</code>
<code>resetRightEncCount()</code>	-	-
<code>resetLeftEncCount()</code>	-	-

8.2.5 Gpio

Tato knihovna byla vygenerována programem `CubeMX`, jsou zde nastaveny a inicializovány piny mikropočítače. Při potřebných změnách a může uživatel přepsat parametry přímo zde, bez nutnosti změny parametrů v projektu `CubeMX` a novému generování kódu.

8.2.6 Gyro

V těchto souborech byly nachystány funkce pro práci s gyroskopem. Makro `setSleepOff` bude využíváno pro vypnutí modulu ze spánku.

getDataZ

- **Použití:** `getDataZ()`
Funkce bez návratové hodnoty, která přečte data z registru zařízení, a vrátí hodnotu natočení v jednotce $^{\circ}/\text{sec}$ podle osy Z.

8.2.7 I2C

Knihovny komunikace I2C, které byly vygenerovány pomocí programu CubeMX. Ve zdrojovém kódu nalezneme nastavení komunikace, jako primární adresa připojeného zařízení, nastavení frekvence komunikace, vlastní adresy a režimů komunikace.

8.2.8 Led

Knihovna led byla vytvořena pro jednodušší práci s diodami. Seznam maker jsou popsány v následujících tabulkách, zvláště pro uživatelské diody na hlavní desce a pro IR diody na senzorové desce

Tab. 10 Přehled maker pro ovládání uživatelských diod

makro	funkce
LED1_ON	makra pro zapínání diod s příslušným číselným označením
LED2_ON	
LED3_ON	
LED4_ON	
LED1_OFF	makra pro vypínání diod s příslušným číselným označením
LED2_OFF	
LED3_OFF	
LED4_OFF	
ALL_LED_ON	makro pro zapnutí všech uživatelských diod
ALL_LED_OFF	makro pro vypnutí všech uživatelských diod

Tab. 11 Přehled maker pro ovládání senzorových IR diod

makro	funkce
FR_ON	zapnutí a vypnutí levé přední IR diody
FR_OFF	
FL_ON	zapnutí a vypnutí pravé přední IR diody
FL_OFF	
STRAIGHT_ON	zapnutí a vypnutí obou zadních IR diod směřujících vpřed
STRAIGHT_OFF	

Zadní IR diody směřující vpřed byly spojeny do jednoho makra, jelikož nedochází k velkému vzájemnému ovlivňování signálu na IR fototranzistorech při odražení signálu v bludišti.

8.2.9 Move

Knihovna move obsahuje funkce spojeny s pohybem při vykonávání hledání a průjezdu s pomocí algoritmu floodfill. Dílčí funkce jako **moveHalfCell**, **moveOneCell**, **turn** jsou nastaveny tak, že jejich zavoláním je nastavena vzdálenost a regulátor pro její dosažení.

V hlavním programu **main** jsou kontrolovány tlačítka 3 a 2, kde každé z nich spouští jednu funkci.

- **searchRun**

využívá dílčích funkcí pro dodržení přesného pohybu po buňkách a ukládání informací do dvou polí o rozměru velikosti bludiště. Jedno pole obsahuje informace o vzdálenosti a druhé pole obsahuje hodnotu reprezentující umístění stěn v buňce. Pomocí masek je poté zjišťováno, kterým směrem se má robot vydat.

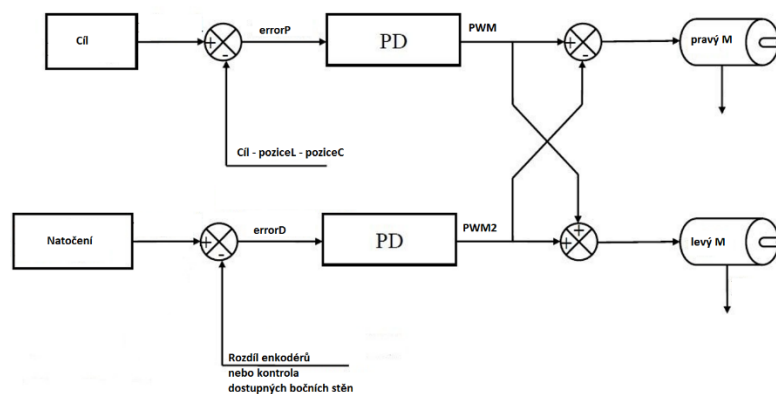
- **speedRun**

Ve funkci speedRun je využito zjištěných informací a algoritmus kontroluje sousední buňky, kterým směrem se vydat. Pohyb je obdobný jako u hledání, zde je však využita vyšší maximální povolená rychlost, než v režimu hledání.

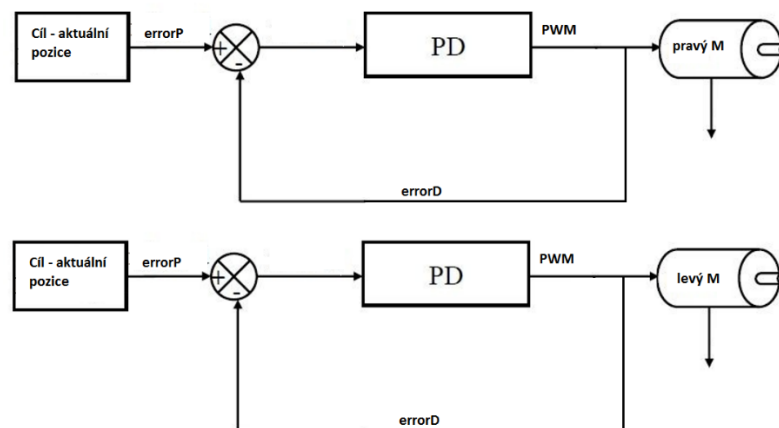
Tělo obou pohybových funkcí je vloženo do nekonečného cyklu while, je tedy potřeba vytvořit ukončovací podmínku. V případě těchto funkcí byla zvolena ukončovací podmínka nalezením cíle.

8.2.10 PID

V této knihovně byly vytvořeny PD regulátory. Zvlášť byl navržen regulátor pro vyrovnávání s přední stěnou, pohyb vpřed, a rotační pohyb.



Obr. 57 Regulátor vyrovnávající pohyb vpřed



Obr. 58 Regulátory ovládající motory nezávisle na sobě

Na obrázcích jsou vidět vytvořené regulátory, kde jeden využívá zpětnou vazbu mezi sebou a ovlivňuje oba motory s cílem dodržet přímočarý pohyb. Druhý z regulátorů je použit při otáčení, kde je potřeba koly urazit jiné vzdálenosti.

8.2.11 PWM

V knihovně PWM uživatel nalezne funkce ovládající motory. Byly nadefinovány makra, viz tabulka níže, kterým jsou přiřazeny jednotlivé kanály časovače tak, aby uživatel nemusel mít neustále přehled o tom, jaký kanál ovládá jaký motor a směr. Další výhodou maker je jednoduchá změna kanálů při případném přepojení hardwaru.

Tab. 12 Makra reprezentující registry časovačů pro nastavení pohybu robota

makro	funkce
L_PWM_F	TIM4->CCR2
L_PWM_R	TIM4->CCR1
R_PWM_F	TIM4->CCR3
R_PWM_R	TIM4->CCR4

Zavoláním makra `turnMotorOff` se vypnou oba motory. Ostatní makra byly využity v následujících funkcích.

setLeftPwm

- **Použití:** `setLeftPwm(int32_t speed)`

Funkce přebírá vstupní parametr rychlost, kde kladná rychlost znamená směr pohybu vpřed a záporná vzad a ovládá levý DC motor. Rozsah rychlosti je definován šířkou signálu PWM, tedy -999 až 999. Jsou zavedeny podmínky pro dodržení pravidla.

setRightPwm

- **Použití:** `setRightPwm(int32_t speed)`

Obdoba funkce `setLeftPwm`, v tomto případě regulace pravého DC motoru.

8.2.12 SensorFunction

Knihovna `sensorFunction` obsahuje globální proměnné nesoucí hodnotu jednotlivých senzorů, a funkci, která tyto hodnoty načítá.

readSensors

- **Použití:** `readsensors()`

Funkce byla nastavena bez návratové hodnoty a vstupních parametrů. Její zavolání aktualizuje hodnoty senzorů v globálních proměnných **rearRSensor**, **rearLSensor**, **frontRSensor** a **frontLSensor**. Zapínání diod a čtení je nastaveno tak, aby diody vždy byla zapnuta po dobu 60 mikrosekund, poté přečtena hodnota ze senzoru a nakonec počkáno 80 mikrosekund před zapnutím další diody. Kompletní čtení zabere 340 mikrosekund, to je minimální čas, jaký lze využít, aby nedocházelo k ovlivňování hodnot sousedních senzorů.

8.2.13 Tim

Knihovna **tim** byla vygenerována programem CubeMx, Jsou zde nastaveny a inicializovány časovače. Pokud by uživatel potřeboval měnit nastavení časovačů, může tak provést zde.

8.3 STM Studio

STM studio je aplikace umožňující uživateli kontrolu proměnných a jejich hodnot v reálném čase běhu programu v zařízení. Po vytvoření buildu aplikace a nahrání ji do zařízení si uživatel ten samý build pomocí volby `import variables` nahraje do programu STM studio a dále si z nabídky proměnných `nimportuje` jím zvolené. Při importu má uživatel dvě možnosti, a to `import proměnných pro zobrazení`, nebo `zápis`. Uživatel poté může po propojení proměnné také přepisovat a kontrolovat chování. Zobrazení proměnných je volitelné jako graf, nebo tabulka.

9 CENOVÉ OHODNOCENÍ

Jedním z hlavních aspektů práce bylo, aby návrhy byly cenově perspektivní. Bylo tedy potřeba najít konkurenční výrobce a prodejce a informovat se o cenách soutěžní plochy a robota Micromouse.

9.1 Dostupné ceny na trhu

- **Bludiště**

RT ROBOT SHOP - nabídka z japonského internetového obchodu ze zdroje [26].

Tab. 13 Cenová nabídka bludiště, RT ROBOT SHOP

Díl	Cena [JPY][CZK]
Podstava (16x16)	54000 JPY
Sloupky	289 * 432 = 124 848 JPY
Stěny	400 * 540 = 189 000 JPY
Celkem	367 848 JPY = 85 000 CZK

ROBOT STORE – nabídka z amerického internetového obchodu ze zdroje [27].

Tab. 14 Cenová nabídka bludiště, ROBOT STORE

Díl	Cena [USD][CZK]
Bluditě + sloupky + stěny	4999 USD
Celkem	4999 USD = 121 444 CZK

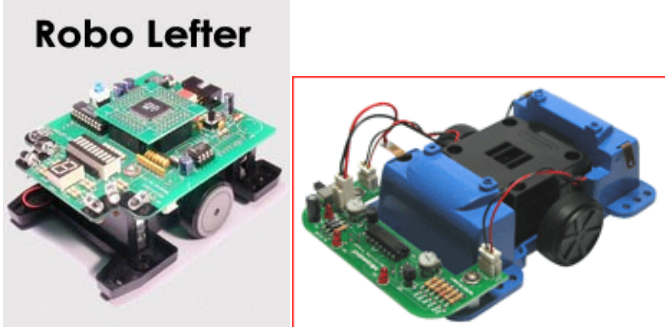
Podstava bludiště z obou nabídek je černé barvy vyrobena ze dřeva. Skládá se z 9 kusů, z toho 3 různých typů.

Stěny jsou z plastu a sloupky jsou z polystyrénu. Zatímco americký obchod má v ceně bludiště 300 kusů sloupků a stěn, v japonském obchodu je potřeba si vše objednat po kusech. Z výsledku můžeme vyhodnotit, že cena japonského obchodu je skoro o 40% lepší, než nabízí americký obchod. Do cen však nebyly zahrnuty ostatní poplatky jako balné, přepravné, clo a další. Výsledná cena by mohla vzrůst o dalších 10 000 Kč a více.

- **Micromouse**

Samotnou Micromouse k prodeji bylo obtížné vyhledat. Většina lidí věnující se této soutěži má své návrhy, o kterých prozradí málo informací. Internetový obchod ROBOT STORE má v nabídce dva modely Micromouse a RS-ROBOT-LEFTER.

Tab. 15 Nabídky robota micromouse

	RS-ROBOT-LEFTER	RS-CRUISER
Procesor	Atmega8 8-Bit	Atmega8 8-Bit
Baterie	4 x AA	4 x AA
Max. rychlost	50 cm/s	50 cm/s
Senzory	6 x IR	Modul s 6 x IR
Rozměry	119 x 87 x 55 mm	82 x 28 x 60 mm
		
Cena	189,95 USD = 4614 CZK	119 USD = 2890 CZK

Obě nabídky z robot store jsou velmi drahé na svůj výkon.

Byla nalezena ještě jedna micromouse s výkonným HW. Nebyla však brána v potaz, jelikož za cenu 150 \$, tedy 3600 Kč jde pouze o půjčení kitu na jeden rok. Kit je určen pro naučení a následné tvorby vlastní Micromouse.

9.2 Cena zvoleného řešení

Cena kompletního návrhu je vypsána v následujících tabulkách.

Tab. 16 Cena návrhu bludiště

	ks	cena/ks [kč]	celk [Kč]
Bludiště včetně stěn	1	17000	17000
Sloupky (materiál)	1	700	700
Celkem			17700 Kč

Ceny komponentů napsány v následující tabulce se mohou markantně měnit. Například PCB desky vyrobené firmou Gatema a.s. vyšly na 1114 Kč. V případě objednání většího množství kusů by se cena desek mohla snížit i na méně než desetinu ceny. Podobně je možno ovlivnit ceny součástek, jejichž cena se snižuje při objednání většího počtu kusů.

Další možností, jak by mohlo jít snížit cenu jednoho robota, by mohla být tvorba vlastních enkodérů umístěných na straně u kol. Cena motorů by v tom případě byla přibližně třetinová na úkor trochu vyšší ceny za enkodéry, které by musely být navrženy a vyrobeny.

Tab. 17 Cena návrhu micromouse

	ks	cena/ks [kč]	celk [Kč]
Šasi	1	10	10
Motory	2	500	1000
Set kol	1	160	160
Set úchytů	1	160	160
Baterie	1	54	54
Gyroskop	1	134	134
Set Enkodérů	1	286	286
PCB desky	1	1114	1114
Součástky hlavní deska	1		612
Součástky sensorová deska	1		206
Celkem			3736 Kč

ZÁVĚR

Cílem práce bylo prostudovat různá řešení robotů pro soutěž Micromouse, navrhnout a realizovat cenově perspektivní řešení návrhu bludiště včetně robota. Dále bylo úkolem realizovat mechanickou konstrukci a elektroniku robota, na kterou bylo za úkol vytvořit SW zvládající samovolný pohyb v bludišti.

Nejdříve bylo zapotřebí navrhnout bludiště a zadat výrobu stolárně dle nejlepší cenové nabídky. Byly tedy navrženy jednotlivé části podstavy v programu AutoCAD tak, aby byla dosažena co nejlepší skladovatelnost a převozitelnost. Požadavek na výrobu 350 kusů stěn byl poslán stolárně společně s požadavkem výroby podstavy. Model sloupku byl navrhnout v programu AutoCAD a vyexportován jako 3D objekt, který byl použit pro tisk 300 kusů pomocí 3D tiskárny.

Dále byly vybrány moduly a pohony, které budou na finálním robotu zajišťovat pohyb a zpětnou vazbu pohybu, rotace a polohy. Podle modulů bylo navrženo šasi, které bylo vytištěno pomocí 3D tiskárny. Následně byly v programu AltiumDesigner vytvořeny schémata zapojení hlavní a sensorové desky. Schémata byly následně využity pro návrh desek plošných spojů. Po dokončení návrhu byly vytvořeny exporty a zaslány firmě Gatema a. s. pro výrobu. Po obdržení desek, veškerých součástek a modulů byly PCB desky osazeny součástkami a následovalo připevnění všech komponent na šasi a kompletace robota.

Dalším úkolem bylo otestování vyrobeného hardwaru, tedy funkce jednotlivých modulů, funkčnost komunikací, enkodérů, senzorů a regulace motorů. Při testování nastalo několik problémů, které byly následně opraveny. Na základě úprav byla vytvořena nová verze hardwaru, která je uvedena v dokumentaci.

Posledním úkolem práce bylo navrhnout algoritmus, který bude využívat všech prvků Micromouse a bude schopen pohybu v bludišti bez zásahu uživatele. Byl tedy vytvořen projekt pomocí výše zmíněného SW, v něm vytvořeny funkce využívající periferie a moduly pro pravidelný zisk informací potřebných pro pohyb. Dále bylo potřeba navrhnout PD regulátor využívající zpětné vazby o předchozí poloze a vychýlení z osy do stran. Po úspěšném nastavení parametrů regulátoru a jeho úspěšné regulaci pohybu byl navrhnout algoritmus floodfill dle kapitoly v teoretické části práce. Robot dokázal bezproblémově opakovat pohyb o půl, o jednu celou buňku vpřed zároveň se zatačením vlevo, vpravo a o 180°. Závěrem můžeme říci, že Micromouse byla úspěšně navržena, je plně funkční a připravena pro návrh

algoritmu schopného využít parametry na plno. Byla ověřena i funkčnost programování ve vývojovém prostředí Espruino, která fungovala také bez problému.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 1977-79 – “Moonlight Special” Battelle Inst. (American) [online]. 2010, 6 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://cyberneticzoo.com/mazesolvers/1977-79-moonlight-special-battelle-inst-american/>
- [2] *History* [online]. 2010, 2010(1), 2 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.micromouseonline.com/micromouse-book/history/>
- [3] Maze Solving / Micromouse Rules. *ROBOGAMES The worlds largest robot competition* [online]. Robotics Society of America, 2015 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://robogames.net/rules/maze.php>
- [4] CHRISTIANSEN, Donald. The Amazing MicroMouse Contest. In: *IEEE Spectrum* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/the-amazing-micromouse-contest>
- [5] Micromouse Maze. In: *Micromouseusa* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://micromouseusa.com/?p=701>
- [6] YE, Green. Micromouse Maze. In: *Greenye* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: greenye.net/
- [7] HARRISON, Peter. Minos 2014 report. In: *Micromouse Online* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.micromouseonline.com/>
- [8] Integrované MEMS GYROSKOPY. In: *Automatizace.hw.cz* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/>
- [9] Micromouse(mobile Robot) IR Distance Sensor Board +tips. In: *Instructables* [online]. 2014, 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.instructables.com>
- [10] Electric Drives - Brushless DC / AC and Reluctance Motors. In: *Electropedia* [online]. 2005: Woodbank Communications, 2005 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/motorsbrushless.htm>
- [11] Elektromotor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>

- [12] Krokový motor - Hybridní krokový motor. *Servo-drive* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.servo-drive.cz/specialni_krokov_e_motory_krokov_e_motory_na_miru.php
- [13] Princip stejnosměrného (DC) motoru, princip servomotoru. *Pohonnatechnika* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory>
- [14] Servo Anatomy. *The ultimate guide to RC Model Aviation* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://2bfly.com/knowledgebase/radio-systems/servos/servo-anatomy/>
- [15] Rotary encoder. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder
- [16] *Emerging sensor technology* [online]. In: . 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.maxonmotor.com.au/maxon/view/content/Encoders-on-Mars>
- [17] *Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors* [online]. In: . 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2598/pictures>
- [18] *PWM basics on the STM32 general purpose timers* [online]. 2016, 2010 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.micromouseonline.com/2016/02/06/pwm-basics-on-the-stm32-general-purpose-timers/>
- [19] Sběrnice I2C, o co jde a jak pracuje. *DH Servis* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/iic.htm>
- [20] *PIC Analog to Digital Converter tutorial* [online]. <http://www.microcontrollerboard.com/analog-to-digi>, 2008-2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.microcontrollerboard.com/analog-to-digital-converter.html>
- [21] Micromouse - mapping. *DLD Robotics* [online]. 2010 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://dldrobotics.blogspot.cz/>
- [22] *Datasheet STM32F405xx STM32F407xx* [online]. In: . STMicroelectronics, 2016 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/ef/92/76/6d/bb/c2/4f/f7/DM00037051.pdf/files/DM00037051.pdf/jcr:content/translations/en.DM00037051.pdf>

- [23] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [24] BARR, Michael a Anthony J MASSA. *Programming embedded systems: with C and GNU development tools*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2006, xxi, 301 s. ISBN 978-0-596-00983-0.
- [25] *Datasheet LB1948MC* [online]. In: Farnell, 2015 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1758697.pdf?_ga=2.258252482.913560559.1494878581-1348764759.1487074711
- [26] *RT ROBOT SHOP* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.rt-shop.jp/index.php?main_page=index&cPath=1299_1311&language=en
- [27] *ROBOT STORE* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.robotstorehk.com/micromouse/micromouse.html>
- [28] 9 DEGREES OF FREEDOM BREAKOUT. In: *Sparkfun* [online]. 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/retired/11486>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AD	Analogově digitální převodník
PCB	Printed circuit board
HW	Hardware
SW	Software
PWM	Pulzně šířková modulace
MCU	Microcontroller unit
IR	Infračervené
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PD	Proporcionálně derivační
LED	Led emitting diode
SDA	Serial data
SCL	Serial clock

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Moonlight Flash – vítězná micromouse první soutěže na světě [1]	11
Obr. 2 Bludiště 16 x 16 [5]	13
Obr. 3 Micromouse bez logiky [4].....	14
Obr. 4 První Micromouse úspěšně nalézající cíl uprostřed bludiště.....	15
Obr. 5 Micromouse s IR senzory [6]	15
Obr. 6 Micromouse s kamerovým systémem [7].....	16
Obr. 7 Znázornění os, ve kterých gyroskop zaznamenává změnu natočení [8]	17
Obr. 8 Princip detekce překážky kombinací IR led a IR fototranzistoru [9].....	18
Obr. 9 Konstrukce stejnosměrného bezkartáčového motoru [10]	19
Obr. 10 Princip kartáčkového stejnosměrného motoru [11].....	20
Obr. 11 Konstrukce krokového motoru [12]	20
Obr. 12 Struktura servo motoru [14]	21
Obr. 13 Ukázka optického enkodéru [16].....	21
Obr. 14 Ukázka magnetického enkodéru [17]	22
Obr. 15 Ukázka výstupního signálu z enkodéru [17]	22
Obr. 16 Princip PWM modulace signálu [18]	23
Obr. 17 Princip převodu signálu z analogového na digitální [20]	24
Obr. 18 Princip I2C komunikace [19]	26
Obr. 19 Princip vyhledávání cesty pomocí algoritmu floodfill [21].....	27
Obr. 20 Schéma spojení dílů podstavy bludiště.....	29
Obr. 21 AutoCAD – 3D model bludiště	30
Obr. 22 AutoCAD – 3D modely stěny (vlevo) a sloupek (vpravo).....	30
Obr. 23 Tisk sloupků na 3D tiskárně	31
Obr. 24 Návrh konstrukce Micromouse	32
Obr. 25 DC motor s připojeným magnetickým enkodérem [17].....	33
Obr. 26 Schéma zapojení enkodéru [17]	34
Obr. 27 Driver motorů LB1948MC – schéma zapojení [25].....	35
Obr. 28 Gyroskop MPU 9150 [28]	36
Obr. 29 IR Led Dioda SFH4545 (vlevo) a IR Fototranzistor TEFT4300 (vpravo)....	36
Obr. 30 Blokové schéma Micromouse	37
Obr. 31 Napětové blokové schéma Micromouse.....	37
Obr. 32 Hlavní deska – schéma zapojení napájení MCU	38

Obr. 33 Hlavní deska – schéma zapojení reference a regulátoru.....	39
Obr. 34 Hlavní deska – schéma zapojení mikro USB konektoru	39
Obr. 35 Hlavní deska – schéma zapojení komponent uživatelského rozhraní	40
Obr. 36 Hlavní deska – schéma zapojení konektoru propojujícího hlavní a sensorovou desku.....	41
Obr. 37 Hlavní deska – schéma zapojení driveru motorů.....	42
Obr. 38 Hlavní deska – kompletní schéma zapojení	43
Obr. 39 Hlavní deska – návrh PCB, horní strana (vlevo), spodní strana (vpravo)	44
Obr. 40 Hlavní deska – návrh PCB, 3D pohled.....	44
Obr. 41 Sensorová deska – schéma zapojení regulátorů	45
Obr. 42 Sensorová deska – schéma zapojení diod a tranzistorového pole	45
Obr. 43 Sensorová deska – schéma zapojení fototranzistorů	46
Obr. 44 Sensorová deska – návrh PCB, pohled cest	46
Obr. 45 Sensorová deska – návrh PCB, 3D pohled.....	47
Obr. 46 Připravený podvozek micromouse	47
Obr. 47 Vyrobené desky PCB, hlavní deska (vlevo) a sensorová deska (vpravo)	48
Obr. 48 Osazená micromouse	48
Obr. 49 STM32CubeMX – dialogové okno pro výběr mikropočítače	49
Obr. 50 STM32CubeMX – definice pinout MCU pro projekt Micromouse	50
Obr. 51 STM32CubeMX – nastavení časovačů projektu Micromouse.....	51
Obr. 52 Část blokového schématu MCU STM32F407 [22].....	52
Obr. 53 STM32CubeMX – konfigurace periférií	52
Obr. 54 STM32CubeMX – dialogové okno GPIO	53
Obr. 55 STMCubeMX – Nastavení časovače na požadovanou periodu	54
Obr. 56 Graf závislosti hodnot AD převodníku v závislosti na vzdálenosti.....	56
Obr. 57 Regulátor vyrovnávající pohyb vpřed	60
Obr. 58 Regulátory ovládající motory nezávisle na sobě	61

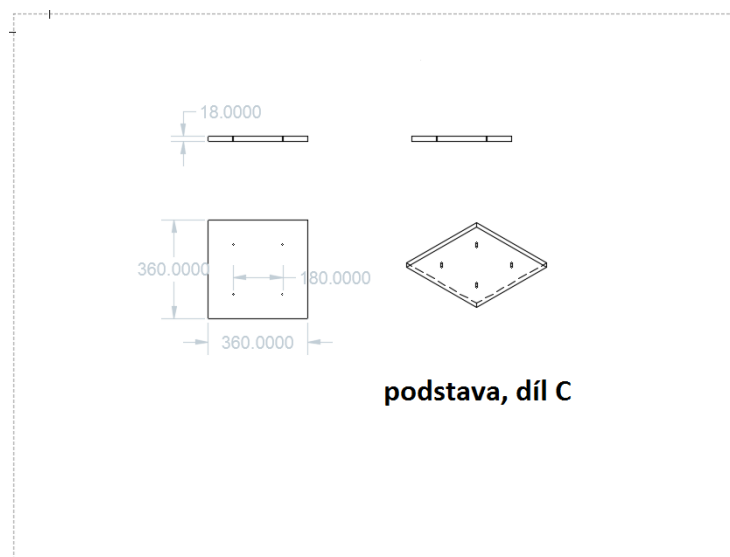
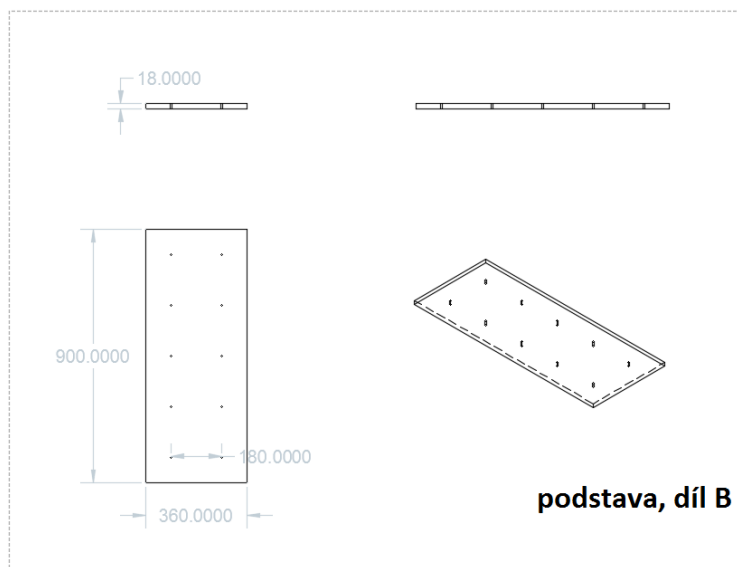
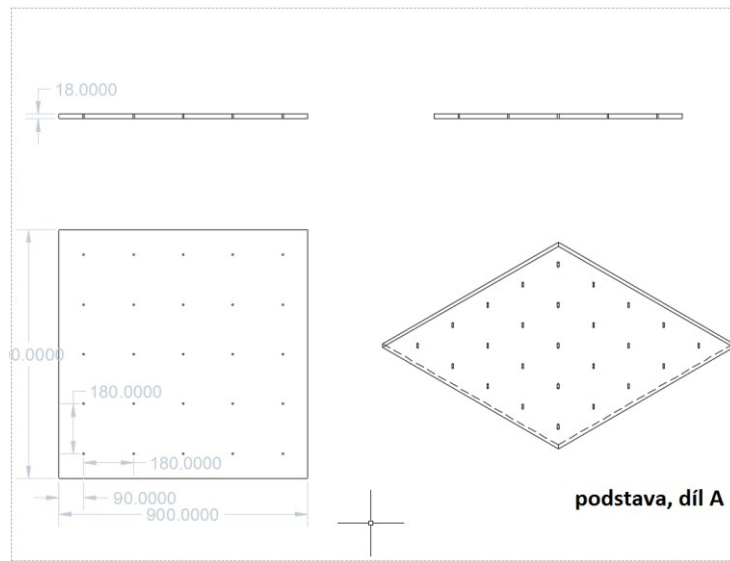
SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Počet digitálních hodnot AD převodníku v závislosti na rozlišení	25
Tab. 2 Volba mikropočítače.....	33
Tab. 3 Driver motorů LB1948MC – pravdivostní tabulka vstupů a výstupů [25]	35
Tab. 4 Pinout procesoru – uživatelské rozhraní (LED, tlačítka)	40
Tab. 5 Pinout procesoru – sensorová deska.....	41
Tab. 6 Pinout procesoru – ovládání motoru.....	42
Tab. 7 Pinout procesoru – vstupně výstupní komunikace	43
Tab. 8 Makra pro čtení hodnot AD převodníku.....	55
Tab. 9 Přehled funkcí pro práci s enkodéry	58
Tab. 10 Přehled maker pro ovládání uživatelských diod.....	59
Tab. 11 Přehled maker pro ovládání sensorových IR diod.....	59
Tab. 12 Makra reprezentující registry časovačů pro nastavení pohybu robota	61
Tab. 13 Cenová nabídka bludiště, RT ROBOT SHOP	63
Tab. 14 Cenová nabídka bludiště, ROBOT STORE	63
Tab. 15 Nabídky robota micromouse	64
Tab. 16 Cena návrhu bludiště	64
Tab. 17 Cena návrhu micromouse	65

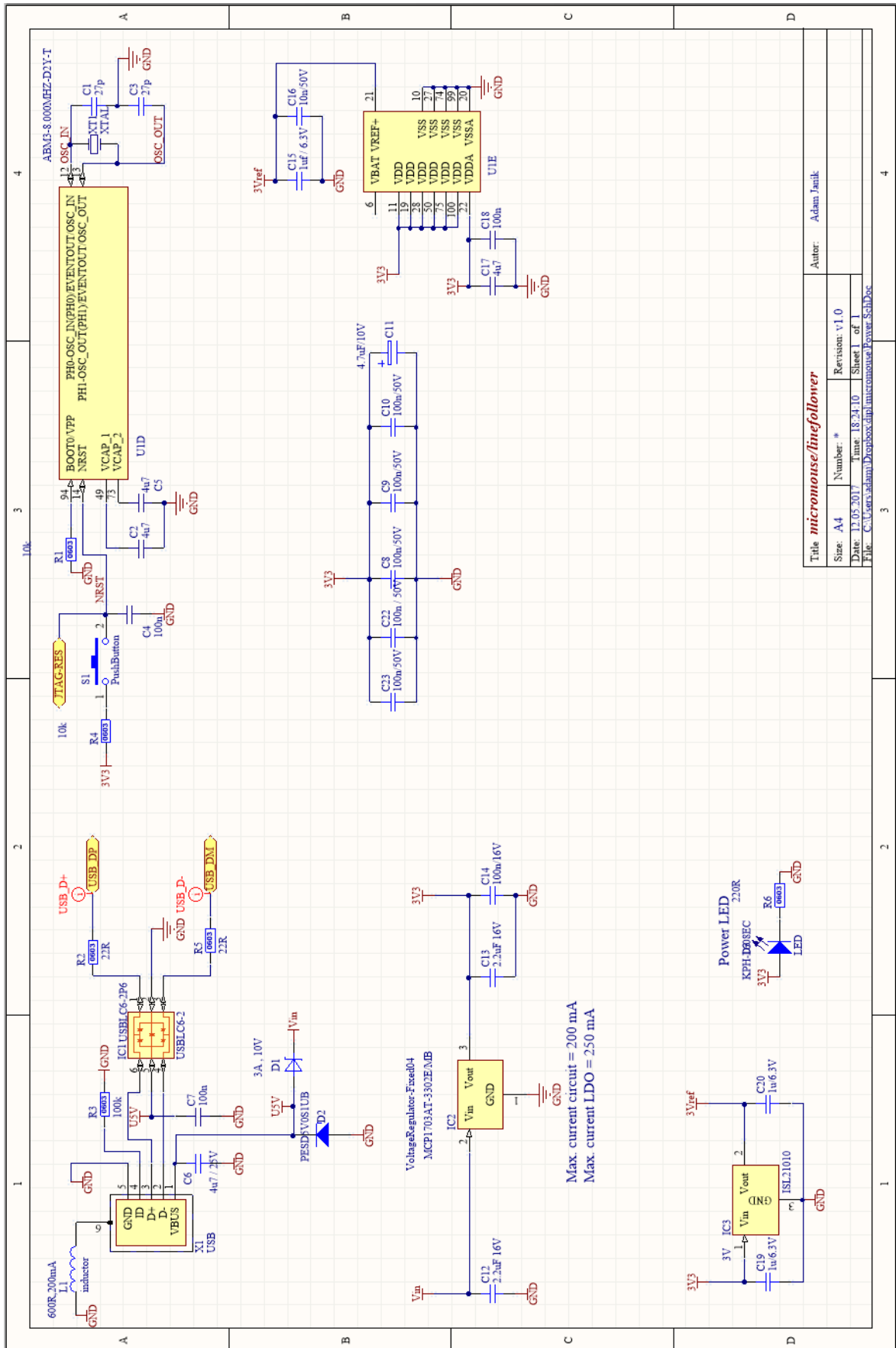
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Výkresy pro výrobu, Podstava A, B, C
- P II Schéma zapojení hlavní desky – napájení
- P III Schéma zapojení hlavní desky – procesor
- P IV Schéma zapojení hlavní desky – motor driver, senzory, ledky a tlačítka
- P V Schéma zapojení sensorové desky
- P VI Návrhy PCB, hlavní deska přední strana, zadní strana a sensorová deska
- P VII Seznam součástek
- P VIII Fotografie bludiště a micromouse
- P IX Projekt se zdrojovými kódy aplikace
- P X Altium projekty se schémata a PCB
- P XI AutoCAD, kresby a 3D modely

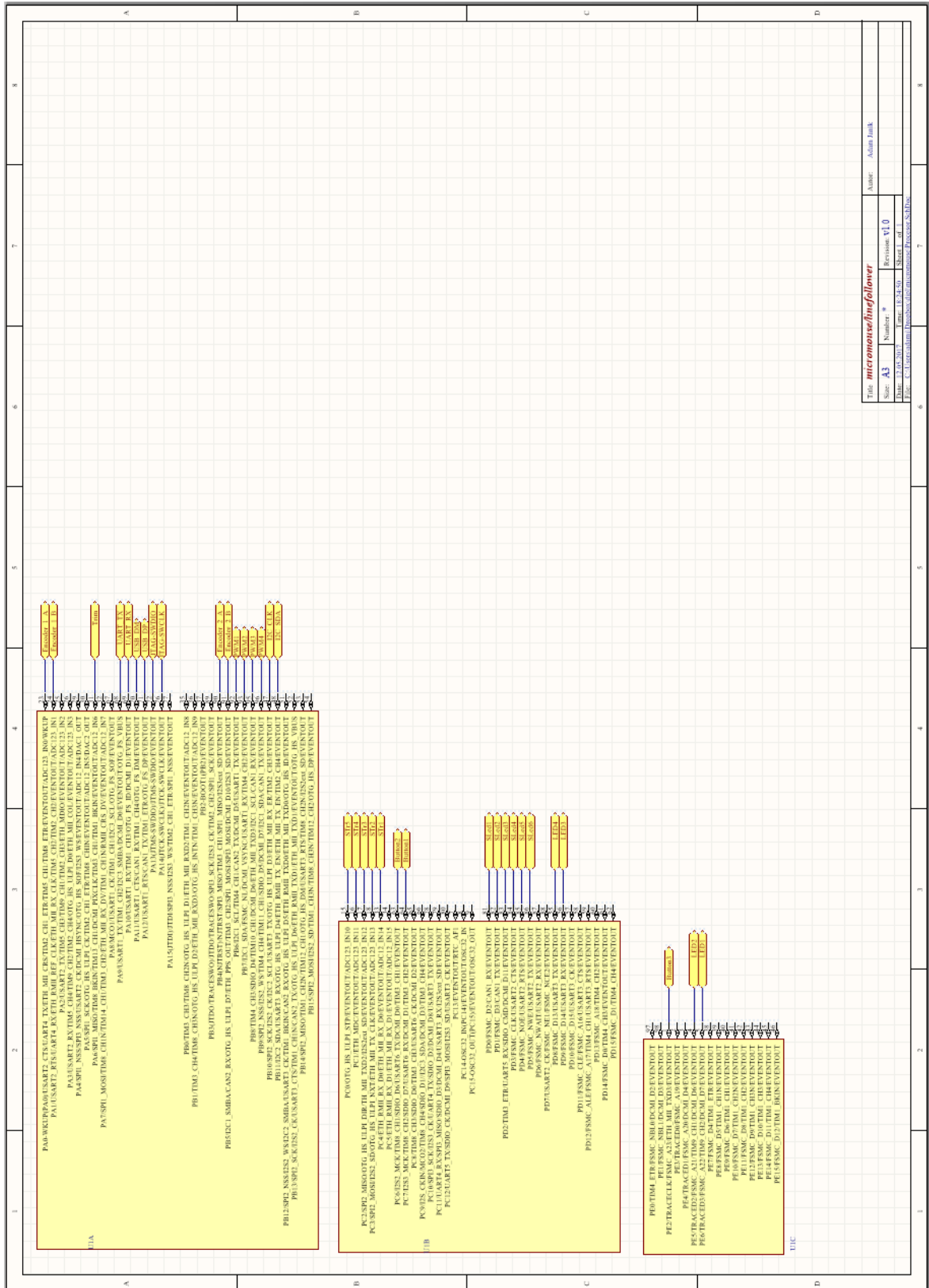
PŘÍLOHA P I: VÝKRESY PRO VÝROBU, PODSTAVA A, B, C



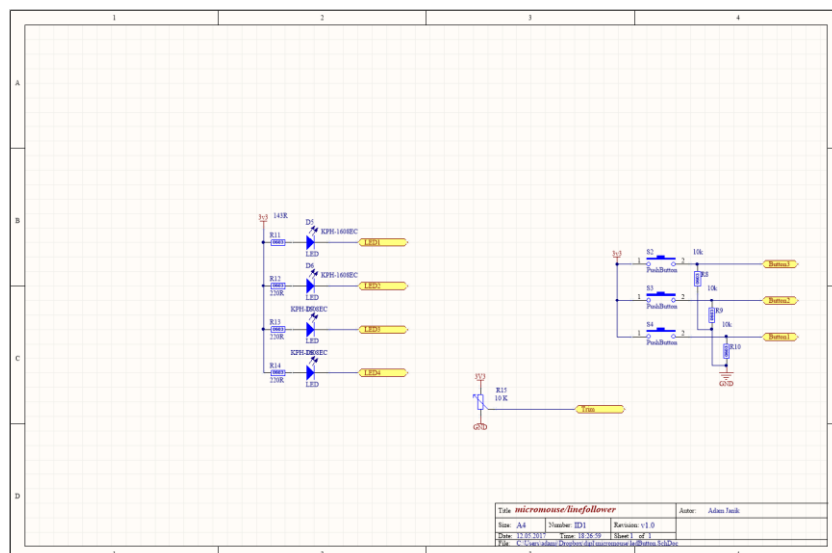
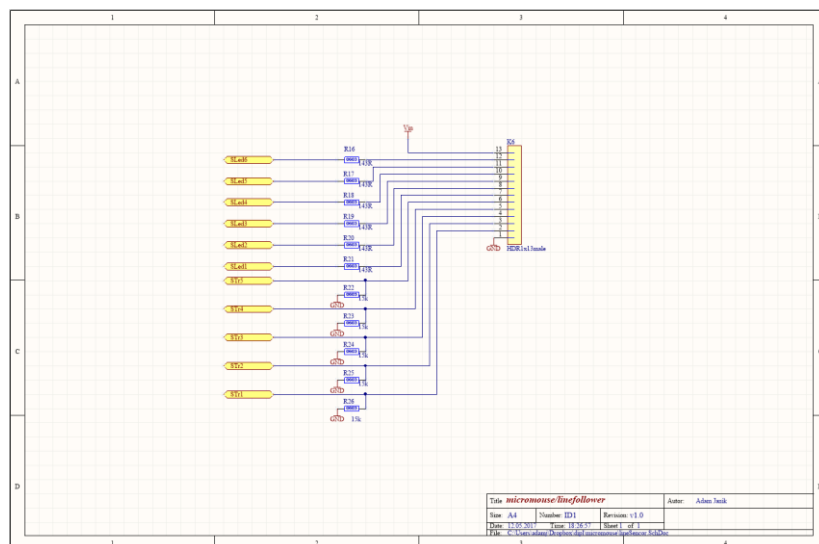
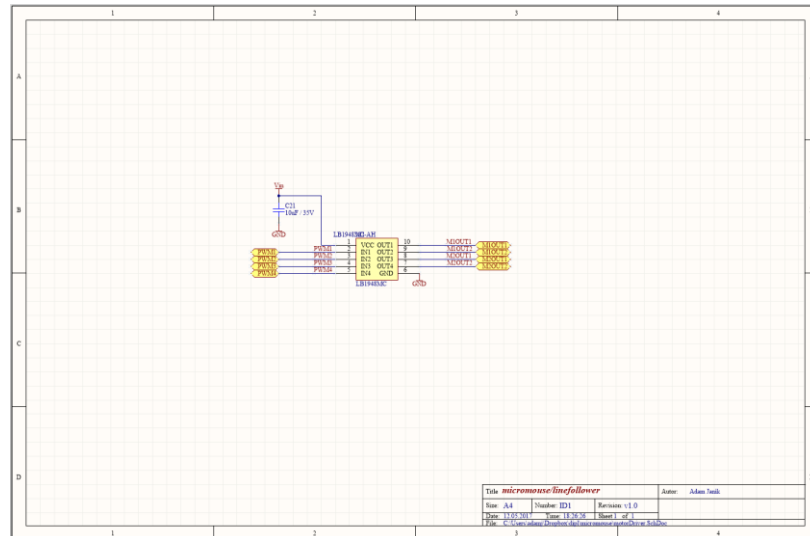
PŘÍLOHA P II: SCHÉMA ZAPOJENÍ HLAVNÍ DESKY – NAPÁJENÍ



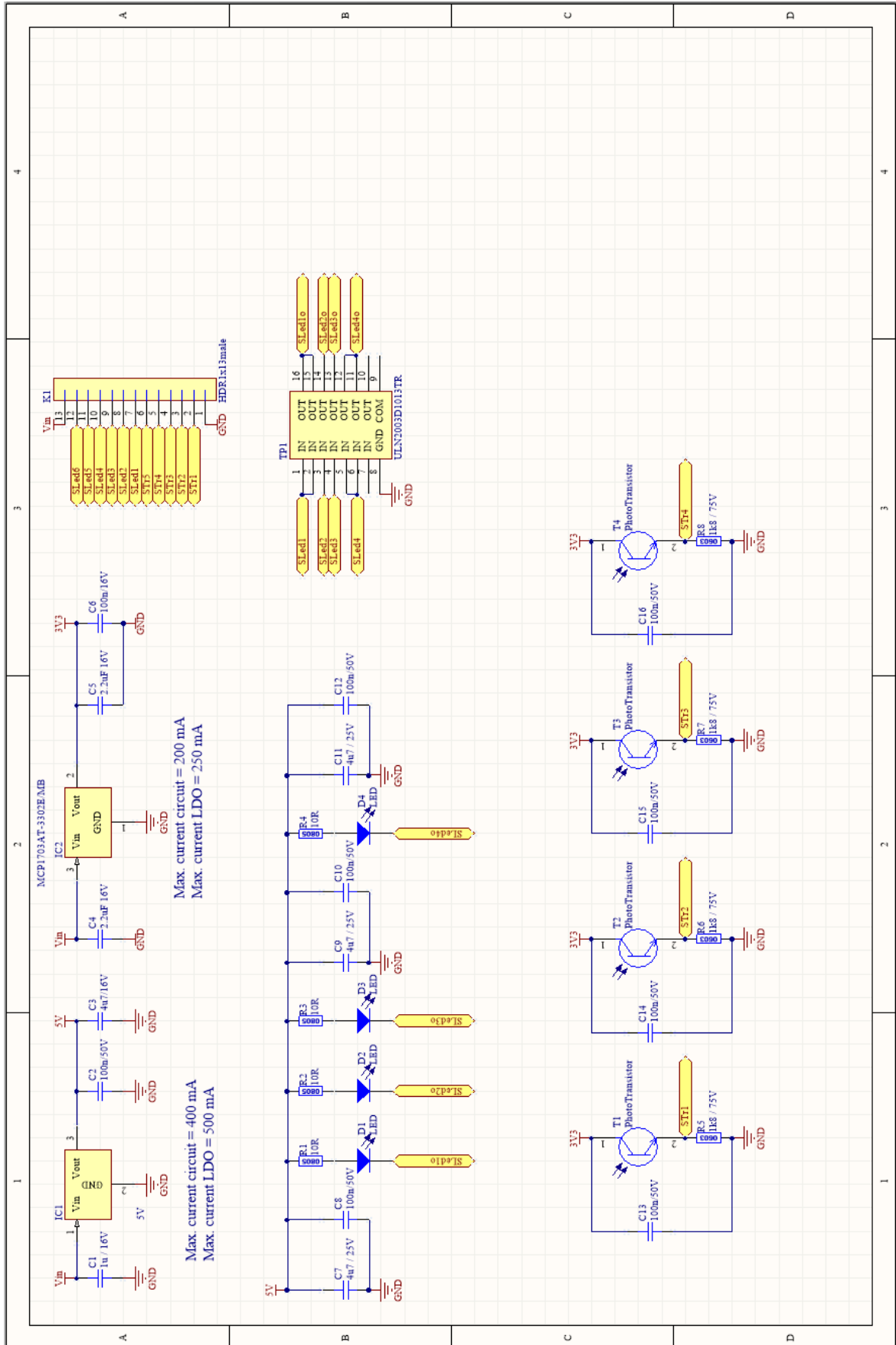
PŘÍLOHA P III: SCHÉMA ZAPOJENÍ HLAVNÍ DESKY - PROCESOR



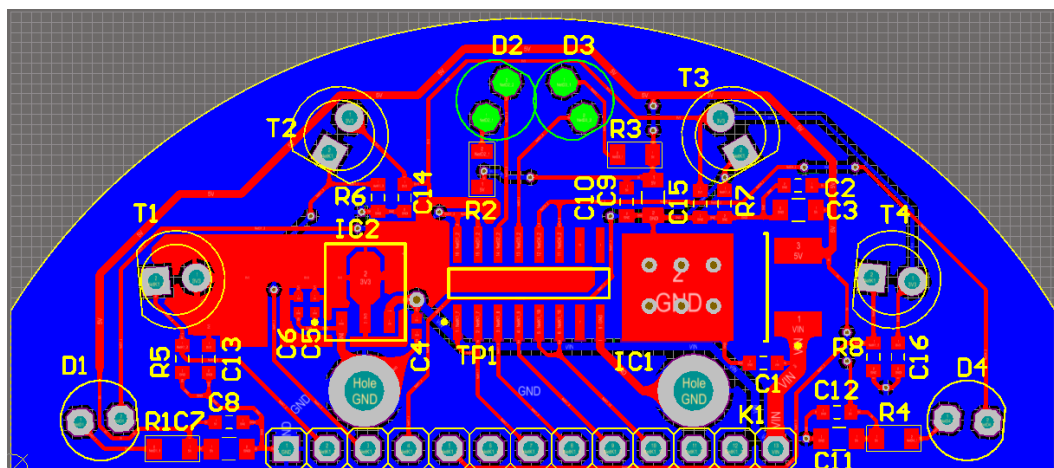
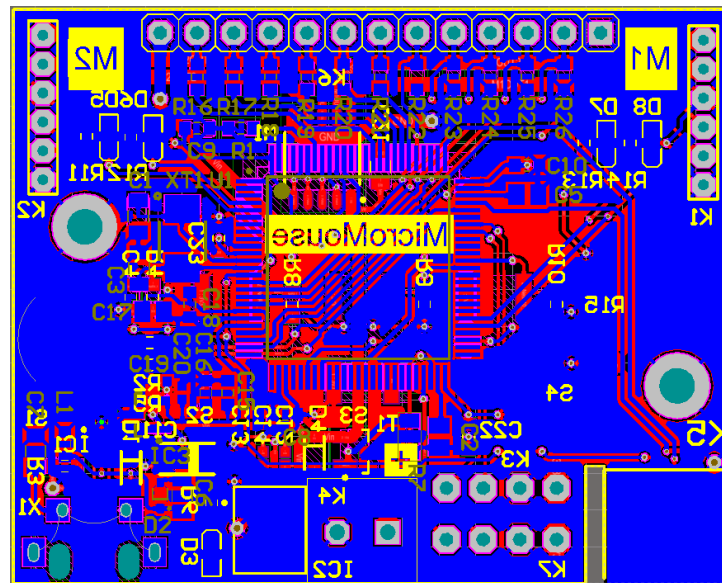
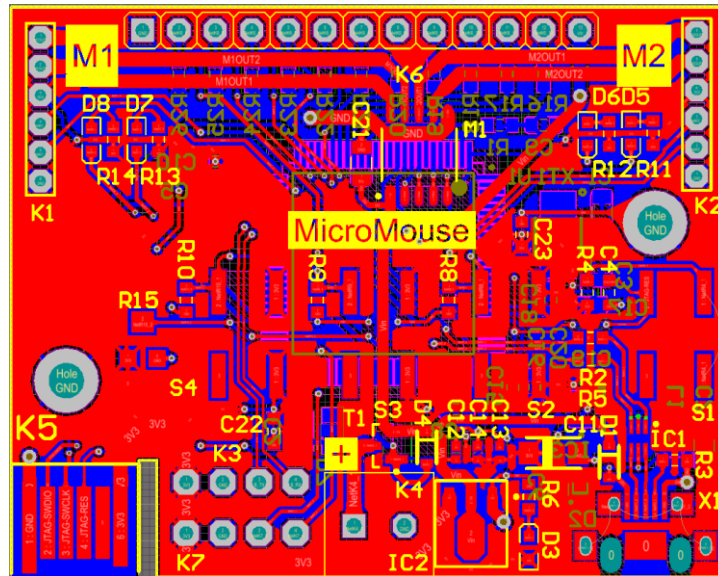
PŘÍLOHA P IV: SCHÉMA ZAPOJENÍ HLAVNÍ DESKY - MOTOR DRIVER, SENZORY, LEDKY A TLAČÍTKA



PŘÍLOHA P V: SCHÉMA ZAPOJENÍ SENZOROVÉ DESKY



PŘÍLOHA VI: NÁVRHY PCB, HLAVNÍ DESKA PŘEDNÍ STRANA, ZADNÍ STRANA A SENZOROVÁ DESKA



PŘÍLOHA VII: SEZNAM SOUČÁSTEK

ref	název	pouzdro	hodnota	cena/ks	ks	cena [Kč]
C1, C3	SMD MLCC Kondenzátor	C0805	27 pF	1,69	2	3,38
C2, C5, C6, C17	SMD MLCC Kondenzátor	C0805	4,7 uF / 25V	1,62	4	6,48
C21	SMD MLCC Kondenzátor	C0805	10 uF / 35V	7,30	1	7,30
C4, C7, C8, C9, C10, C18, C22, C23	SMD MLCC Kondenzátor	C0603	100 nF / 50V	0,29	8	2,32
C11	SMD Tantalový Kondenzátor	C1206	4,7 uF / 10V	11,09	1	11,09
C15	SMD MLCC Kondenzátor	C0603	1 uF / 6,3V	3,10	1	3,10
C16	SMD MLCC Kondenzátor	C0603	10 nF / 50V	0,50	1	0,50
C12, C13	SMD MLCC Kondenzátor	C0402	2,2 uF / 16V	3,10	2	6,20
C14	SMD MLCC Kondenzátor	C0402	100 nF / 16V	0,13	1	0,13
C19, C20	SMD MLCC Kondenzátor	C0402	1 uF	0,23	2	0,46
D1	BAT60FILM, Shottkyho Dioda	SOD-323	-	7,90	1	7,90
D2	PESD5V0S1UB, ESD Ochrana	SOD-523	-	6,51	1	6,51
D3, C5, D6, D7, D8	KPH-1608SECK, Diody červená	D1608	-	2,78	5	13,90
D4	MM3Z12VT1G, Zenerova Diody	SOD-323	-	1,26	1	1,26
IC1	USBLC6-2P6, ESD Ochrana	-	-	9,16	1	9,16
IC2	MCP1703AT-3302E, 3,3 LDO Regulátor	-	-	18,70	1	18,70
IC3	ISL21010CFH330Z-TK, Napěťová ref.	-	-	29,80	1	29,80
K1, K2	konektor 4x1 2,54 samec	-	-	8,45	2	16,90
K3, K7	konektor 4x1 2,54 samec	-	-	8,45	2	16,90
K4	Napájecí svorkovnice, 3,5 mm	-	-	15,48	1	15,48
K6	konektor 13x1 2,54 samec	-	-	9,50	1	9,50
L1	BLM21AG601SN1D, Feritový korálek	L0805	-	2,06	1	2,06
M1	LV8548MC-AH, Driver motorů	-	-	49,32	1	49,32
R2,R5,	SMD Rezistor	R0603	22 Ω	0,47	2	0,94
R16,R17,R18,R19,R20,R21	SMD Rezistor	R0603	143 Ω	0,60	6	3,60
R6,R11,R12,R13,R14	SMD Rezistor	R0603	220 Ω	0,25	5	1,25
R1,R4,R8,R9,R10	SMD Rezistor	R0603	10 kΩ	0,27	5	1,35
R22,R23,R24,R25,R26	SMD Rezistor	R0603	15 kΩ	0,27	5	1,36
R3	SMD Rezistor	R0603	100 kΩ	0,88	1	0,88
R7	SMD Rezistor	R0805	100 kΩ	1,40	1	1,40
R15	SMD Trimmer	-	10 kΩ	9,64	1	9,64
S1,S2,S3,S4	KSEKK43J LFS, Tlačítko	-	-	7,42	4	29,68
T1	SI2323DS-T1-E3, Mosfet tranzistor	-	-	14,77	1	14,77
U1	STM32F407VET	-	-	280,00	1	280,00
X1	Molex 47590-0001, mikro USB	-	-	9,44	1	9,44
XT1	ABM3-8.00MHz-D2Y-T, Krystal	-	-	19,30	1	19,30
ref	název	pouzdro	hodnota	cena/ks	ks	cena
T1,T2,T3,T4	TEFT4300	-	-	16,34	4	65,36
D1,D2,D3,D4	SFH4545	-	-	11,37	4	45,48
C1	SMD MLCC Kondenzátor	C0603	1 uF / 16V	0,90	4	3,60
C2,C8,C10,C12,C13,C14,C15,C16	SMD MLCC Kondenzátor	C0603	0,1 uF / 50V	0,42	8	3,36
C3,C7,C9,C11	SMD MLCC Kondenzátor	C0805	4,7 uF / 25V	5,70	5	28,50
C4,C5	SMD MLCC Kondenzátor	C0402	2,2 uF / 16V	3,10	2	6,20
C6	SMD MLCC Kondenzátor	C0402	100 nF	0,14	1	0,14
R1,R2,R3,R4	SMD Rezisor	R0805	10 Ω	0,01	4	0,04
R5,R6,R7,R8	SMD Rezisor	R0603	1,8 kΩ	0,40	4	1,60
IC1	LF50ABDT-TR, 5 V LDO regulátor	TO-252	-	14,24	1	14,24
IC2	MCP1703AT-3302E, 3,3 LDO regulátor	SOT-89	-	18,70	1	18,70
TP1	ULN2003D1013TR, Tranzistorové pole	-	-	8,47	1	8,47
K1	konektor 13x1 2,54 samec	-	-	9,50	1	9,50

PŘÍLOHA VIII: FOTOGRAFIE BLUDIŠTĚ A MICROMOUSE

