

SPŠ ŽĎÁR NAD SÁZAVOU

OBOR INFORMAČNÍ TECHNOLOGIE

Zhotovení volantu, spoileru, řídicí
jednotky a doprovodné aplikace pro
elektroformuli AF-23

Development of a steering wheel,
spoiler, control unit and a mobile app
for the AF-23 electric vehicle

2024/2025

Patrik Švoma



Zadání maturitní práce

profilová část – praktická maturitní zkouška

Jméno, příjmení a e-mail žáka: Patrik Švoma, patriksvoma@gmail.com

Číslo a název oboru studia: 18-20-M/01 Informační technologie

Třída: 4. E

Vedoucí práce
(jméno, pracoviště, e-mail): Ing. Jaroslav Příbramský, SPŠ Žďár nad Sázavou, pribramsky@spszr.cz

Ředitelství školy Vám zadává maturitní práci na téma:

Zhotovení volantu, spoileru, řídicí jednotky a doprovodné aplikace pro elektroformuli AF-23

Obsah práce:

Teoretická část

- a) Základní teorie návrhu plošných spojů
- b) Princip propojení komponent
- c) Protokoly pro předávání dat
- d) Návrh vzhledu obrazovky volantu
- e) Historie používaných volantů ve Formuli 1
- f) Vývoj mobilních aplikací, vývoj RTOS (volitelně alespoň jednu z uvedených oblastí)

Praktická část

- g) Vytvoření schématu a rozložení plošných spojů
- h) Navržení CAD modelů volantu, spoileru a řídicí jednotky
- i) Programování řídicí jednotky a volantu
- j) Vytvoření doprovodné aplikace
- k) Výroba a sestavení navržených komponent
- l) Vypracování technické příručky pro provoz a budoucí vývoj elektroformule AF-23

1. autor: Patrik Švoma – a, b, d, g, h, k

2. autor: Jakub Aldorf – c, e, f, i, j, l

Datum zadání maturitní práce: 16.12.2024

Datum odevzdání maturitní práce: 16.04.2025



Ing. Jiří Straka
Ředitel školy

Anotace

Tato práce se zabývá výrobou volantu, řídicí jednotky a spoileru pro elektroformuli AF-23. Volant slouží jako hlavní ovládací zařízení používané při jízdě. Díky řídicí jednotce je možné v reálném čase sbírat data z veškerých systémů formule a zároveň je ovládat. Také umožňuje spojení řídicí jednotky s doprovodnou aplikací pomocí Bluetooth. Pro výrobu komponent byly využity principy 3D tisku, návrhu a výroby plošných spojů a programování mikrokontrolerů.

Klíčová slova

Elektrické vozidlo; volant; řídicí jednotka; spoiler; plošné spoje; 3D tisk

Annotation

The aim of this project is to create a steering wheel, a control unit and a spoiler for the AF-23 electric vehicle. The steering wheel acts as the main device for controlling the vehicle's functions during driving. Thanks to the control unit, it is possible to collect data from various components and control them in real time. It also connects to the companion mobile app using Bluetooth. The principles of 3D printing, design and production of printed circuit boards and microcontroller programming were used to produce these components.

Keywords

Electric vehicle; steering wheel; control unit; spoiler; printed circuit boards; 3D printing

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto maturitní práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Příbramského.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že obě verze (tištěná a elektronická) práce jsou shodné.

.....
Patrik Švoma

16.4.2025

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat učitelům Jaroslavovi Příbramskému, Petrovi Šuhajovi a Alešovi Gregorovi za pomoc a dohled při práci ve školních dílnách.

Dále bych chtěl poděkovat Tomášovi Jeřábkoví, Tomášovi Smolíkovi, Ondřejovi Pancnerovi a Janovi Topinkovi za vytvoření elektroformule AF-23.

Obsah

Seznam rovnic.....	11
Seznam tabulek.....	11
Seznam symbolů, zkratk a značek.....	11
1 Úvod	13
2 Základní teorie návrhu plošných spojů.....	14
2.1 Schéma zapojení plošného spoje.....	14
2.1.1 Uspořádání listu a popisové pole.....	14
2.1.2 Tvorba a umístění součástek	16
2.1.3 Propojení komponent.....	17
2.1.4 DRC kontrola.....	19
2.2 Návrh rozložení plošného spoje	20
2.2.1 Tvar DPS.....	20
2.2.2 Propojení komponent.....	22
2.2.3 Vizuální úprava.....	25
2.2.4 DRC kontrola.....	26
2.2.5 Vizualizace	27
2.2.6 Profesionální výroba DPS	29
2.2.7 Domácí výroba DPS	31
3 Komunikační rozhraní.....	33
3.1 UART	33
3.2 I ² C	33
3.3 SPI.....	34
3.4 1-Wire.....	35
4 Volant.....	36
4.1 Elektronika.....	36
4.1.1 Raspberry Pi Pico W.....	37
4.1.2 Displej	38
4.1.3 Tlačítka.....	39
4.1.4 Rotační enkodér	40
4.1.5 LED	41
4.1.6 Posuvné registry	42
4.1.7 Napájení a komunikace s řídící jednotkou	44
4.1.8 Plošné spoje	45
4.2 Konstrukce	47
4.2.1 Plošné spoje	48
4.2.2 Záda volantu	49
4.2.3 Výztuha.....	50
4.2.4 Přední kryt.....	51
4.2.5 Držadla	52
4.2.6 Příruba pro rychloupínací náboj.....	53
4.2.7 Rychloupínací konektor	54
4.3 Vzhled obrazovek.....	55
4.3.1 Hlavní obrazovka	55
4.3.2 Menu	56
4.3.3 Stopky	56
4.3.4 Akumulátor.....	57

	4.3.5	Teploty.....	57
	4.3.6	Jízdní statistiky	58
	4.3.7	Nastavení.....	58
5		Řídící jednotka	59
	5.1	Elektronika.....	59
	5.1.1	Napájení.....	60
	5.1.2	Raspberry Pi Pico W.....	62
	5.1.3	Komunikace s volantem	62
	5.1.4	Komunikace s jednotkou motoru.....	63
	5.1.5	Senzor tlaku brzd	67
	5.1.6	Komunikace s BMS.....	68
	5.1.7	Teplotní senzory	69
	5.1.8	Flash paměť.....	70
	5.1.9	Hodiny reálného času	71
	5.1.10	Gyroskop a akcelerometr	72
	5.1.11	LED pásek na spoileru	72
	5.1.12	Ventilátor, rezervní vstupy a výstupy	73
	5.1.13	Plošný spoj.....	75
	5.2	Pouzdro.....	76
6		Spoiler	78
7		Výroba a osazení plošných spojů	80
	7.1	Návrh a testování zapojení	80
	7.2	Testovací software.....	81
	8.3	Výroba finálních plošných spojů.....	83
8		Výroba a sestavení tištěných součástí.....	85
	8.1	Volant.....	85
	8.2	Řídící jednotka	87
	8.3	Spoiler	88
9		Závěr	89
		Literatura.....	90
		Příloha A – Schéma základní desky volantu	92
		Příloha B – Schéma displeje volantu	93
		Příloha C – Schéma řídící jednotky	94

Seznam ilustrací

Obrázek 1 - Prázdné schéma PCB s popisovým polem.....	15
Obrázek 2 - Příklad symbolu.....	16
Obrázek 3 - Příklad rozložení.....	16
Obrázek 4 - Příklad 3D modelu.....	16
Obrázek 5 – Vlajky (Net flags) v softwaru EasyEDA.....	17
Obrázek 6 – Porty (Net ports) v softwaru EasyEDA.....	18
Obrázek 7 - Příklad připojení senzoru k mikrokontroleru.....	18
Obrázek 8 - Výstup DRC kontroly schématu.....	19
Obrázek 9 - Rozložení DPS s dírami pro šrouby (včetně zakázané zóny) a se slotem.....	21
Obrázek 10 - 3D náhled DPS s dírami pro šrouby (včetně zakázané zóny) a se slotem	21
Obrázek 11 - SMD a THT rezistor	22
Obrázek 12 - Šířky cest velikostí 10, 20, 30, 40, 50 a 60 mil.....	22
Obrázek 13 - Běžné druhy via otvorů	23
Obrázek 14 - Plošný spoj bez rozlití mědi	23
Obrázek 15 - Plošný spoj s rozlitím mědi	23
Obrázek 16 - Možnosti vedení cest	24
Obrázek 17 - Ukázka možností popisků na DPS	25
Obrázek 18 - Okno pro nastavení designových pravidel	26
Obrázek 19 - 2D náhled plošného spoje.....	27
Obrázek 20 - 3D náhled plošného spoje.....	28
Obrázek 21 - Flexibilní plošný spoj. Flex PCB Now Available at JLCPCB From Special Offer of \$2. Online. In: JLCPCB. 2024. Dostupné z: https://jlcpcb.com/blog/flex-pcb-available-at-jlcpcb-from-special-offer . [cit. 2025-03-31].	29
Obrázek 22 - DPS v různých barevných provedeních. Are other color circuit boards more high-end than green ones? Online. In: LinkedIn. 2023. Dostupné z: https://www.linkedin.com/pulse/other-color-circuit-boards-more-high-end-than-green-ones-chelsea-yang-uwupc/ . [cit. 2025-04-04].....	29
Obrázek 23 - Část objednávkového formuláře u společnosti JCLPCB. Standard PCB/PCBA. Online. JLCPCB. C2025. Dostupné z: https://cart.jlcpcb.com/quote . [cit. 2025-04-04]...	30
Obrázek 24 - Jednoduchý plošný spoj vyrobený metodou přenosu toneru	31
Obrázek 25 - Desky cuprexitu s nažehlenými pozitivy.....	32

Obrázek 26 - Příklad připojení tří slave zařízení pomocí rozhraní SPI	34
Obrázek 27 - Blokové schéma elektroniky volantu.....	36
Obrázek 28 - Mikrokontroler Raspberry Pi Pico W. Raspberry Pi Pico W. Online. In: RPishop.cz. C2025. Dostupné z: https://rpishop.cz/raspberry-pi-pico/5073-raspberry-pi-pico-w.html . [cit. 2025-03-21].	37
Obrázek 29 - Displej pro Raspberry Pi Pico. WAVESHARE. 2.8inch Touch Display Module for Raspberry Pi Pico, 262K Colors, 320×240, SPI. Online. Waveshare. C2025. Dostupné z: https://www.waveshare.com/pico-restouch-lcd-2.8.htm . [cit. 2025-03-14].	38
Obrázek 30 - Displej pro Raspberry Pi Pico. WAVESHARE. 2.8inch Touch Display Module for Raspberry Pi Pico, 262K Colors, 320×240, SPI. Online. Waveshare. C2025. Dostupné z: https://www.waveshare.com/pico-restouch-lcd-2.8.htm . [cit. 2025-03-21].	38
Obrázek 31 - Mikrospínač TC-1212T. DRÁTEK.CZ. Mikrospínač TC-1212T - 12 x 12 x 7,3 mm SMD PCB DPS. Online. Drátek.cz. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1180-mikrospinač-tc-1212t-12x12x7.3mm-smd-pcb-dps.html . [cit. 2025-03-21].	39
Obrázek 32 - Zapojení mikrospínače	39
Obrázek 33 - Schéma funkce inkrementálního enkodéru. NEMATIC!. How Rotary Encoder Works With Arduino!. Online. Instructables. Dostupné z: https://www.instructables.com/How-to-Use-an-Rotary-Encoder-With-Arduino/ . [cit. 2025-03-23].	40
Obrázek 34 - Rotační enkodér EC11. EC11E15204A3. Online. In: Alps Alpine. C2025. Dostupné z: https://tech.alpsalpine.com/e/products/detail/EC11E15204A3/ . [cit. 2025-03-23].	40
Obrázek 35 - Zapojení rotačního enkodéru	40
Obrázek 36 - Schéma operace SIPO posuvného registru	42
Obrázek 37 - Schéma operace PISO posuvného registru	43
Obrázek 38 - Zapojení ochrany proti přepólování a zkratu na volantu.....	44
Obrázek 39 - Schéma připojení volantu k řídící jednotce	44
Obrázek 40 - 3D náhled přední strany základní desky volantu	45
Obrázek 41 - 3D náhled zadní strany základní desky volantu.....	45
Obrázek 42 - 3D náhled plošného spoje pro displej volantu	46
Obrázek 43 - Přední pohled na volant.....	47
Obrázek 44 - Zadní pohled na volant.....	47
Obrázek 45 - CAD model základní desky volantu	48

Obrázek 46 - Záda volantu	49
Obrázek 47 - CAD model volantu s výztuhou.....	50
Obrázek 48 - Pohled na zadní stranu výztuhy volantu.....	50
Obrázek 49 - CAD model volantu s předním krytem.....	51
Obrázek 50 - Přední strana držadla volantu.....	52
Obrázek 51 - Zadní strana držadla volantu.....	52
Obrázek 52 - Příruba pro rychloupínací náboj.....	53
Obrázek 53 - Rychloupínací náboj.....	54
Obrázek 54 - Konektor do rychloupínacího náboje	54
Obrázek 55 - Hlavní obrazovka volantu	55
Obrázek 56 - Obrazovka menu.....	56
Obrázek 57 - Obrazovka stopek.....	56
Obrázek 58 - Obrazovka akumulátoru	57
Obrázek 59 - Obrazovka teplot	57
Obrázek 60 - Obrazovka jízdních statistik.....	58
Obrázek 61 - Obrazovka nastavení	58
Obrázek 62 - Blokové schéma elektroniky řídicí jednotky.....	59
Obrázek 63 - Zapojení ochrany proti přepólování a LED indikátoru napájení	60
Obrázek 64 - Použitý step-down měnič. Mikro step-down měnič, nastavitelný. Online. In: LáskaKit. C2025. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/mikro-step-down-menic--nastavitelny/ . [cit. 2025-03-23].....	61
Obrázek 65 - Zapojení mikrokontroleru v řídicí jednotce	62
Obrázek 66 - Zapojení SIPO posuvného registru pro ovládání digitálních vstupů jednotky motoru	64
Obrázek 67 - Zapojení jednoho z digitálních vstupů jednotky motoru pomocí optočlenu	64
Obrázek 68 - Zapojení relé pro zapnutí jednotky motoru	65
Obrázek 69 - Jednotka motoru Kelly KLS7230S. Kelly KLS7230S,24V-72V,300A, Sine Wave Brushless Motor Controller. Online. In: EV Components Store. C2025. Dostupné z: https://www.evcomponents.com/kls7230s-300a-72v-sine-wave-brushless-controller.html . [cit. 2025-03-23].....	65
Obrázek 70 - Čtení napětí pedálu plynu pomocí děliče napětí.....	66
Obrázek 71 - Zapojení pro ovládání analogového vstupu brzdy	66

Obrázek 72 - Zapojení pro čtení stavu hallových senzorů	66
Obrázek 73 - Zapojení tlakového senzoru	67
Obrázek 74 - Tlakový senzor s rozsahem 0-1,2 MPa. Tlakový senzor 0-1,2MPa, závit G1/4. Online. In: Hadex. C2011-2025. Dostupné z: https://www.hadex.cz/m553a-tlakovy-senzor-0-12mpa-zavit-g14/ . [cit. 2025-03-23].	67
Obrázek 75 - Zapojení galvanicky odděleného převodníku napětí pro komunikaci s BMS	68
Obrázek 76 - Teplotní senzor DS18B20. Digitální teplotní senzor DALLAS - DS18B20. Online. In: Drátek.cz. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1187-teplotni-senzor-digitalni-dallas-ds18b20.html . [cit. 2025-03-23].	69
Obrázek 77 - Zapojení flash paměti	70
Obrázek 78 - Modul flash paměti. Winbond W25Q32 Flash 32Mb SPI Modul. Online. In: LáskaKit. C2025. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/winbond-w25q32-flash-32mb-spi-modul/ . [cit. 2025-03-23].	70
Obrázek 79 - RTC modul. Mini RTC Hodiny reálného času DS1307. Online. In: LáskaKit. C2025. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/arduino-mini-rtc-hodiny-realneho-casu-ds1307/ . [cit. 2025-03-23].	71
Obrázek 80 - Zapojení RTC modulu	71
Obrázek 81 - Zapojení akcelerometru a gyroskopu	72
Obrázek 82 - Zapojení výstupu pro ventilátor jednotky motoru	73
Obrázek 83 - Zapojení jednoho z rezervních výstupů	74
Obrázek 84 - Zapojení rezervních vstupů	74
Obrázek 85 - Vrchní strana plošného spoje řídicí jednotky	75
Obrázek 86 - Spodní část pouzdra řídicí jednotky	76
Obrázek 87 - Pouzdro řídicí jednotky s plošným spojem	76
Obrázek 88 - Víko pouzdra řídicí jednotky	77
Obrázek 89 - Zapouzdrěná řídicí jednotka	77
Obrázek 90 - Rozbitý spoiler	78
Obrázek 91 - CAD model nového spoileru	79
Obrázek 92 - Prototyp řídicí jednotky	80
Obrázek 93 - Prototyp volantu s testovacím firmwarem	81
Obrázek 94 - Testovací nástroj řídicí jednotky	82
Obrázek 95 - Vyrobené plošné spoje	83

Obrázek 96 - Osazený plošný spoj řídicí jednotky.....	84
Obrázek 97 - Výztuha volantu při tisku	85
Obrázek 98 - Složený prototyp volantu	86
Obrázek 99 - Řídicí jednotka bez víka	87
Obrázek 100 - Vytisknuté díly pro spoiler.....	88

Seznam rovnic

Rovnice 1 - Výpočet hodnoty rezistoru.....	41
Rovnice 2 - Výpočet celkové hodnoty dvou paralelně zapojených rezistorů	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Hodnoty rezistorů pro LED na volantu	41
--	----

Seznam symbolů, zkratk a značek

AGND – Analog ground
BMS – Battery management system
CAD – Computer aided design
DIN – Data in
DPS – Deska plošných spojů
DRC – Design rule checking
FeCl₃ – Chlorid železitý
GND – Ground
GPIO – General-purpose input/output
I²C – Inter-Integrated Circuit
IPS – In-plane switching
LED – Light-emitting diode
OTA – Over-the-air
PDF – Portable Document Format
PGND – Power ground
PIO – Programmable Input Output
PISO – Parallel-in, serial-out
PWM – Pulse-width modulation

SCL – Serial clock line

SDA – Serial data line

SIPO – Serial-in, parallel-out

SMD – Surface mount device

SMT – Surface mount technology

SPI – Serial Peripheral Interface

SRAM – Static random-access memory

SWD – Serial Wire Debug

UART – Universal asynchronous receiver-transmitter

USB – Universal Serial Bus

VCC – Voltage at the common collector

1 Úvod

Práce se zaměřuje na vylepšení elektroformule AF-23. Jedná se o elektrické vozidlo poháněné elektromotorem o výkonu 5 kW, kterému dodává energii šestnácti článkový akumulátor založený na technologii LiFePo4 s celkovou kapacitou 164 Ah. Akumulátor je zapojen v sériovém zapojení a jeho stav hlídá systém BMS (battery management system). Rám vozidla je vytvořen ze svařených ocelových profilů obdélníkového průřezu. Kapotáž je vyrobena ze sklolaminátu a je vyztužena ocelí. Pro převod síly z motoru do zadních kol slouží diferenciál a řemenice, které jsou zároveň připojeny k hydraulickému brzdovému systému. Vozidlo vzniklo jako maturitní projekt čtyř bývalých studentů školy SPŠ Žďár nad Sázavou.

V minulosti byla formule ovládána pomocí dvou přepínačů, které ovlivňovaly směr jízdy dopředu/dozadu a nízkou/vysokou rychlost. Dále bylo k dispozici startovací tlačítko. Neexistovala žádná možnost čtení dat o jízdě jako například rychlosti, teplot komponent nebo otáček motoru, s výjimkou stavu baterií, jelikož BMS podporuje čtení stavu pomocí zařízení připojeného přes Bluetooth.

Hlavním cílem práce bylo zlepšení možností ovládání formule a zajištění většího počtu dat o jízdě. Primárním prostředkem k ovládání a zobrazení dat je volant. Pro připojení k elektronice slouží řídicí jednotka, jejíž provoz je řízen mikrokontrolerem Raspberry Pi Pico W a která zároveň disponuje možností připojení přes Bluetooth. Pro využití tohoto připojení byla vyvinuta doprovodná mobilní aplikace, ve které lze taktéž zobrazovat údaje.

V poslední řadě byl přepracován design spoileru a přidána možnost zobrazení světelných efektů signalizujících například brždění nebo couvání.

2 Základní teorie návrhu plošných spojů

Ačkoliv je pro návrh DPS (plošných spojů) k dispozici mnoho různých softwarových nástrojů, mezi nimiž mohou být velké rozdíly, obecně lze proces návrhu DPS rozdělit na dvě části, návrh schématu a návrh rozložení samotné DPS.

Mezi nejpoužívanější softwary, které jsou pro návrh DPS používány, patří například

- EasyEDA Standard Edition
- EasyEDA Professional Edition
- Altium Designer
- KiCad EDA
- Autodesk Fusion 360 Electronics

V této práci byl použit software EasyEDA Professional Edition (dále jen EasyEDA). Mezi velké výhody tohoto softwaru patří například veliká knihovna předpřipravených součástek, propojení s výrobcem plošných spojů JLCPCB, a relativní jednoduchost použití.

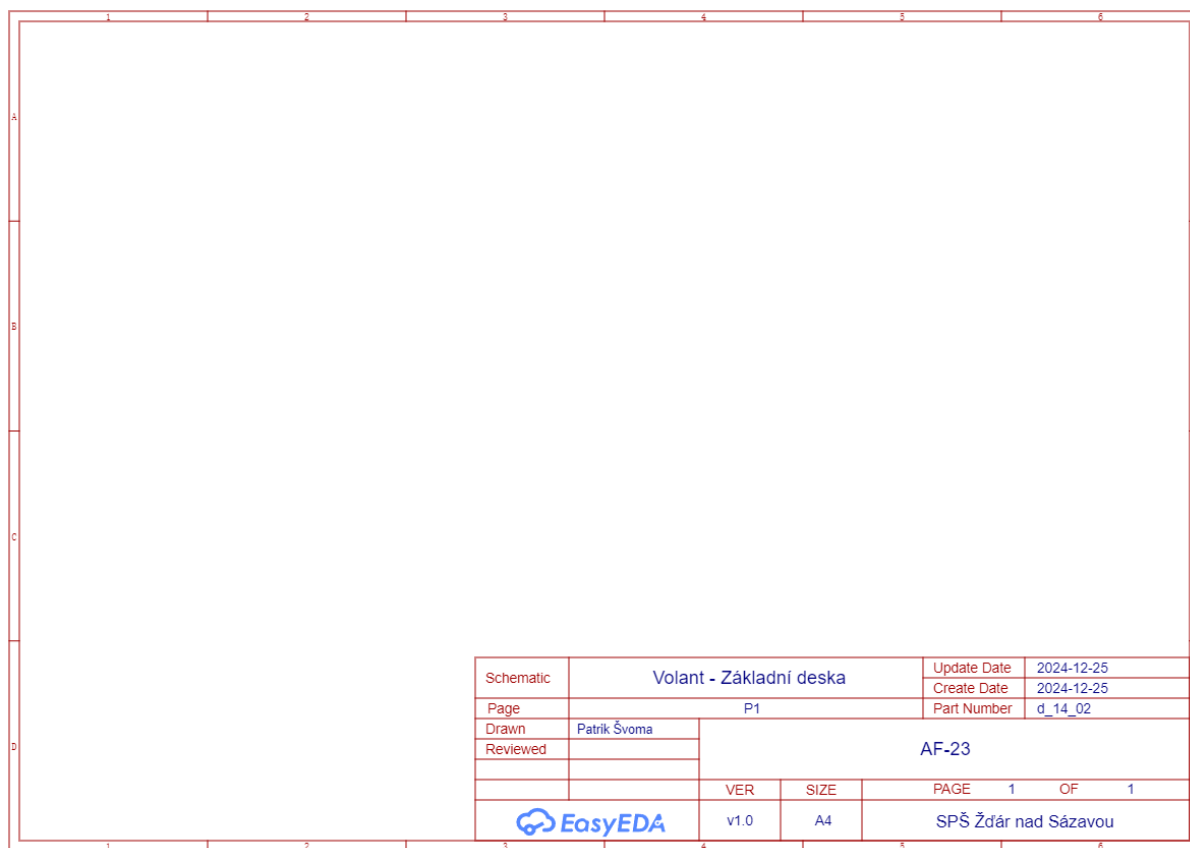
2.1 Schéma zapojení plošného spoje

2.1.1 Uspořádání listu a popisové pole

Prvním krokem návrhu plošného spoje je vytvoření schématu jeho zapojení. Po vytvoření nového schématu je k dispozici prázdný list s popisovým polem, do kterého se zapisují základní informace o plošném spoji, v tomto případě:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| • Název schématu | • Autor |
| • Název projektu | • Společnost |
| • Číslo dílu | • Datum vytvoření |
| • Velikost stránky | • Datum upravení |
| • Počet stran | • Verze |

Pro lepší čitelnost se schémata plošných spojů mohou rozdělovat i na více stránek. Jednotlivé listy se zároveň dělí na označené horizontální (1, 2, 3, ...) a vertikální (A, B, C, ...) sekce. Také je možné určit velikost listu (A4, A3, ...).



Obrázek 1 - Prázdné schéma PCB s popisovým polem

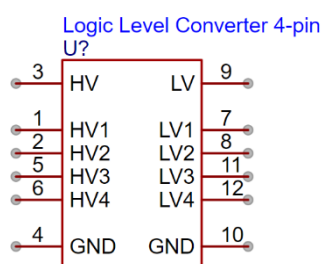
2.1.2 Tvorba a umístění součástek

Do vytvořeného schématu se vkládají jednotlivé součástky, které budou následně propojeny. V EasyEDA se jednotlivé součástky nazývají komponenty (součástky) a skládají se ze tří částí:

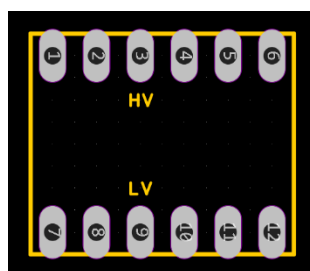
- **Symbol (Device)** – Zobrazení součástky ve schématu. Symbol nemusí přesně reprezentovat reálný vzhled součástky. Důležité je, aby v něm byly přehledně umístěny a pojmenovány jednotlivé piny, které se dají připojit.
- **Rozložení (Footprint)** – Fyzické rozložení součástky na PCB. Určuje pozice děr, plošek, potisk a další aspekty rozložení.
- **3D model** – Importovaný model ve formátu STEP nebo OBJ, používaný pro 3D náhled osazeného plošného spoje, případně jeho export pro použití v jiných 3D softwarech.

Kombinace těchto částí přináší velké usnadnění návrhu DPS. Pokud je do schématu vložena komponenta, její rozložení se automaticky přidá do fyzického rozložení spoje, kde je s ním možné pohybovat, rotovat ho, nebo ho přesunout na druhou stranu spoje, aniž by bylo potřeba neustále hlídat její správné rozložení. Software zároveň nedovolí propojit ve fyzickém rozložení komponenty jinak, než je určeno ve schématu.

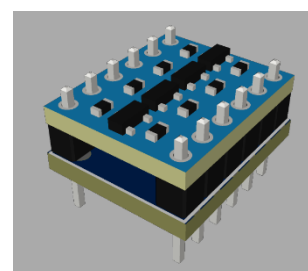
Je možné použít komponenty z knihovny nebo vytvořit vlastní. Každá komponenta má svůj název a svoje označení (Designator), které je ve schématu unikátní. Některé komponenty, například rezistory, mají určenou také hodnotu (Value).



Obrázek 2 - Příklad symbolu



Obrázek 3 - Příklad rozložení



Obrázek 4 - Příklad 3D modelu

2.1.3 Propojení komponent

Komponenty se ve schématu propojují pomocí pinů. Za pin se považuje jakékoliv připojení (například součástka rezistoru má 2 piny). Každý pin má **název** a **unikátní číslo**, které ho spojuje s ploškou nebo dírou v rozložení.

K propojení pinů se používají tzv. **sítě**. Ke každé síti lze připojit neomezené množství pinů, při fyzickém návrhu DPS software poté automaticky nabídne propojení příslušných plošek cestami. Vizuálně lze ve schématu propojení pinů zobrazit několika způsoby. Kromě přímého propojení drátem lze využít i tzv. **vlajky** (Net flag) nebo **porty** (Net port).

Vlajky jsou předem připravené značky, používané ke zlepšení čitelnosti schématu. Jejich používání ovšem není nutné. Připojením pinu k této značce proběhne připojení k síti s příslušným názvem. Síť používané těmito značkami se nazývají tzv. **globální síť**, jejich název lze změnit (například místo „+5V“ může značka být připojena k síti „+48V“). K dispozici je 5 značek:

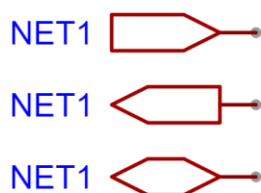
- **VCC** – Napájecí napětí, používá se zpravidla pro hlavní napětí používané v obvodu.
- **+5V** – Napětí 5 V. Je možné značku používat i pro jiné napětí.
- **GND** – Zem
- **PGND** – Výkonová zem, používaná pro oddělení uzemnění výkonových obvodů a omezení rušení signálů.
- **AGND** – Analogová zem, podobně jako PGND slouží k oddělení země pro analogové signály.



Obrázek 5 – Vlajky (Net flags) v softwaru EasyEDA

Porty fungují velice podobně, narozdíl od vlajek se ale ručně určuje název sítě, se kterou se má port spojit. K dispozici jsou tři druhy portů, které se ovšem liší pouze vizuálně, a značí směr signálu. Jsou to:

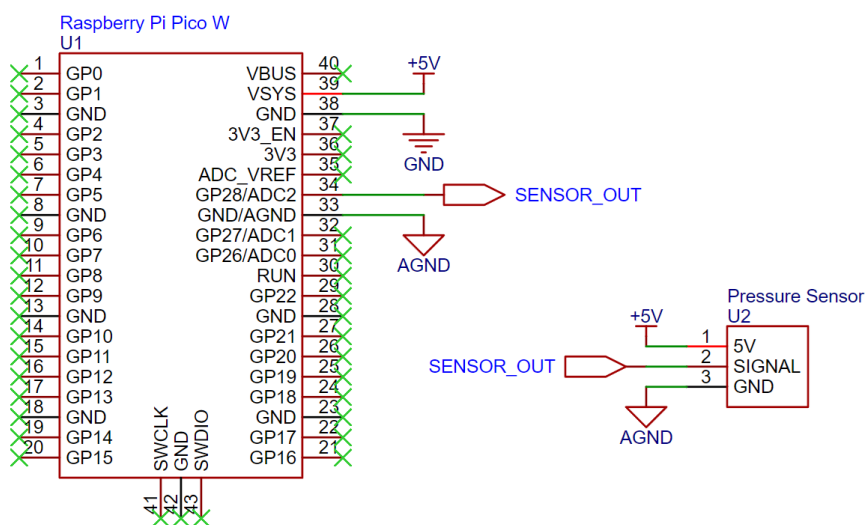
- **IN** – směr dovnitř
- **OUT** – směr ven
- **BI** – směr dovnitř/ven



Obrázek 6 – Porty (Net ports) v softwaru EasyEDA

K dispozici jsou další tři nástroje používané pro značení spojení:

- **No Connect Flag** – Používá se pro označení pinu, který nemá být k ničemu připojen.
- **Short Flag** – Slouží k propojení dvou sítí s různým názvem. Bez použití této značky to software nedovolí.
- **Net Label** – Používá se pro pojmenování a přiřazení drátu k síti bez použití značky nebo portu.



Obrázek 7 - Příklad připojení senzoru k mikrokontroleru

2.1.4 DRC kontrola

Některé chyby ve schématu dokáže software automaticky rozpoznat a upozornit na ně. K tomu slouží DRC kontrola. Jednotlivé části kontroly lze vypnout/zapnout, případně nastavit jejich důležitost na úroveň **informace**, **varování**, **chyba** a **fatální chyba**.

Z oblasti součástek jsou kontrolovány například tyto chyby:

- Chybějící rozložení součástky
- Chybějící číslo pinu
- Čísla pinů nesouhlasí mezi symbolem a rozložením
- Součástka má nepřipojený pin, který není označen značkou „No Connect Flag“
- Součástka nemá uvedenou hodnotu (např. u rezistoru)
- Nesprávné nebo opakující se označení součástky

Mezi sítěmi potom software dokáže rozpoznat některé základní chyby, například:

- Drát připojený k žádnému nebo pouze jednomu pinu
- Do sítě je připojen pouze jeden pin
- Globální sítě jsou spojeny značkou „Short Flag“
- Vlajka nebo port není připojen k žádnému drátu nebo pinu
- Port není pojmenován

The screenshot displays the DRC control interface. On the left, there is a sidebar with a 'Check DRC' button and a settings icon. Below these are 'Export' and 'Clear' buttons. A list of error categories is shown with checkboxes and counts: 'All' (12), 'Fatal Error' (1), 'Error' (0), 'Warn' (1), and 'Info' (10). The main panel on the right shows a log of messages with timestamps (2024-12-27 15:13:31) and severity levels. The messages include: '[Info] : Start Design Rule Checking.', '[Warn] : Global net +5V,GND is shorted, please check : \$1N977,\$1N993', '[Fatal Error] : Component \$1I220 lacks of property "Footprint".', and several '[Info] : NetFlag \$1140', '\$1168', '\$1194', '\$11116', and '\$11138 is not connected to wire or bus.'

Obrázek 8 - Výstup DRC kontroly schématu

2.2 Návrh rozložení plošného spoje

Pro návrh fyzického rozložení a vzhledu plošného spoje je k dispozici prostředí, do kterého software automaticky přenesou komponenty a sítě ze schématu. Po změně schématu lze rozložení automaticky aktualizovat.

Při návrhu DPS se běžně pracuje s jednotkami mm a mil (tisícina palce).

2.2.1 Tvar DPS

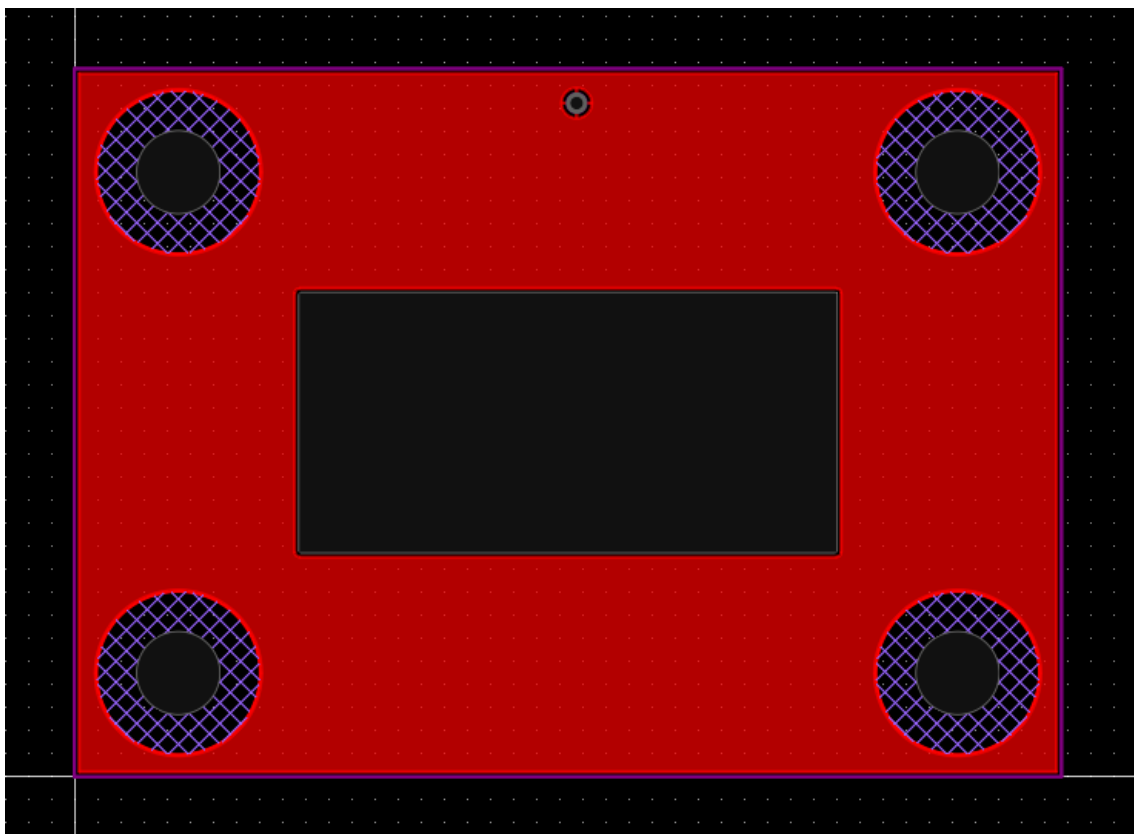
Nejdůležitějším aspektem DPS je tvar, rozměry a možnosti upevnění. Vnější tvar a rozměry plošného spoje jsou určeny **obrysem desky**, ten se v EasyEda nazývá „Board outline“ a je označen růžovou barvou. Požadavky na tvar a rozměry DPS určuje způsob výroby.

K vytvoření otvorů uvnitř plošného spoje se využívají **sloty** (Slot region). Sloty mohou mít tvar obdélníku, kružnice nebo mnohoúhelníku. Nejčastějším využitím slotů jsou otvory pro šrouby. V EasyEda sloty se sloty vyznačují tmavě šedou barvou.

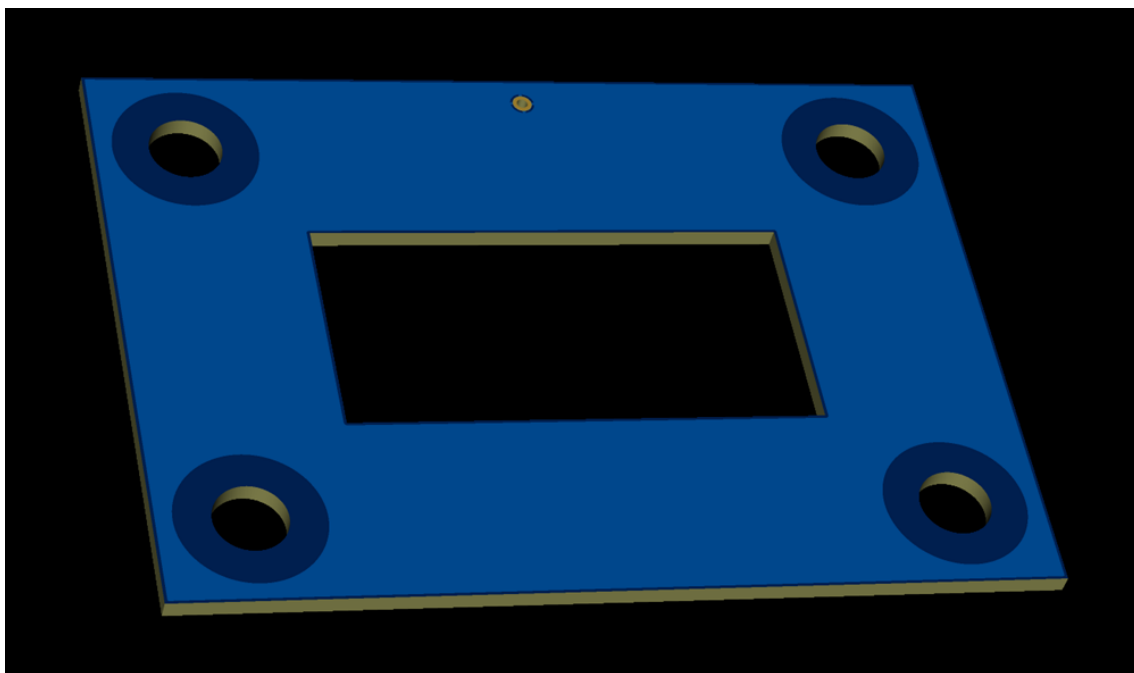
Dalším důležitým nástrojem je tzv. **zakázaná zóna** (Prohibited region), určená k vymezení prostoru, který by měl být prázdný. Lze nastavit, jaké části spoje by se v zóně neměly vyskytovat, možnosti jsou:

- Komponenty
- Vyplněné oblasti
- Cesty
- Rozlití mědi

Zakázaná zóna se často používá například v okolí děr pro šrouby, kde by hlava šroubu mohla spojit cesty, nebo v oblastech, kde z různých důvodů nesmí být umístěny komponenty nebo cesty.



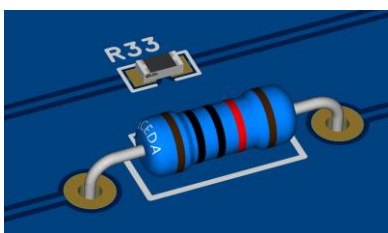
Obrázek 9 - Rozložení DPS s dírami pro šrouby (včetně zakázané zóny) a se slotem



Obrázek 10 - 3D náhled DPS s dírami pro šrouby (včetně zakázané zóny) a se slotem

2.2.2 Propojení komponent

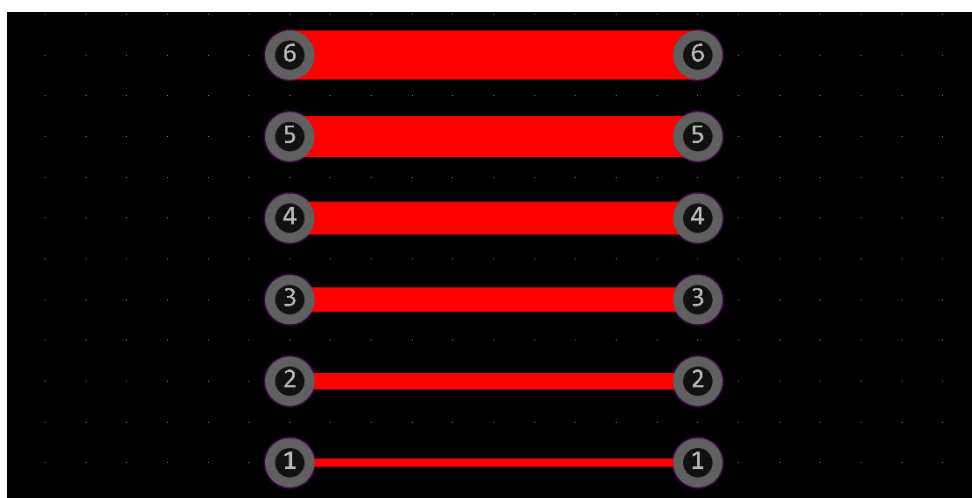
Pro připojení součástek k plošnému spoji s v EasyEda používají tzv. **plošky** (pad). Může se jednat o **pájecí plošku** (pro povrchovou neboli SMT montáž) nebo **prokovený** či **neprokověný otvor** (pro osazování součástek s drátovými vývody neboli THT montáž). Tyto plošky nebudou při výrobě zakryty nepájivým ochranným lakem, tudíž na ně bude možné pájet. Plošky mají několik důležitých parametrů, jako například velikost plošky, velikost díry nebo tvar.



Obrázek 11 - SMD a THT rezistor

Pro propojení plošek se využívají **cesty**. Jejich nejdůležitější vlastností je **šířka**, která ovlivňuje odpor vodivé cesty, a tudíž jejich zahřívání při protékání větších proudů. Pro výpočet bezpečných šířek cest se běžně využívají nástroje dostupné na internetu.

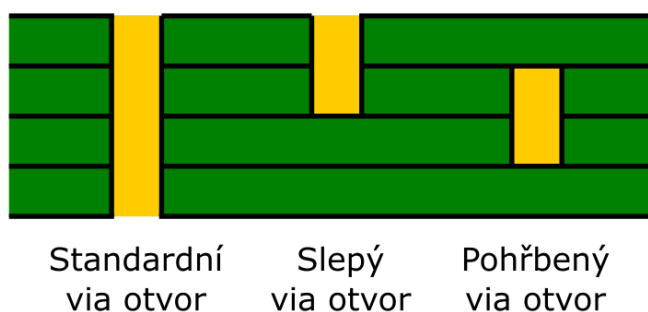
Plošné spoje mohou být jednostranné, ale často se skládají z více vrstev mědi, ve kterých je možné vést cesty. Profesionálně vyrobené plošné spoje jsou k dispozici i s více než deseti vrstvami.



Obrázek 12 - Šířky cest velikostí 10, 20, 30, 40, 50 a 60 mil

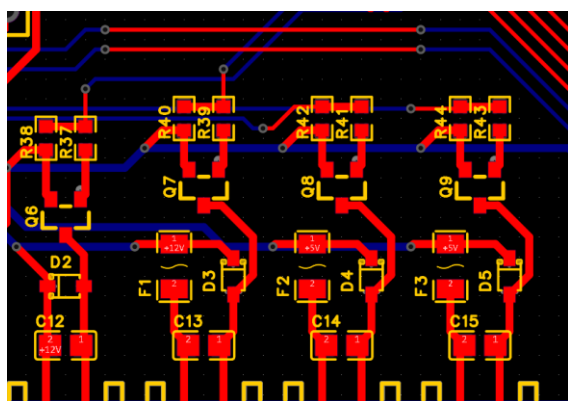
Jelikož cesty vždy propojují pouze plošky v jedné vrstvě a nemohou se křížit, je často třeba propojit více vrstev DPS. K tomuto účelu slouží tzv. **via otvory**. Via otvory jsou menší prokovené otvory, které neslouží k montáži součástek. Základními typy via otvorů jsou:

- Standardní via otvory
- Slepé via otvory
- Pohřbené via otvory [2]

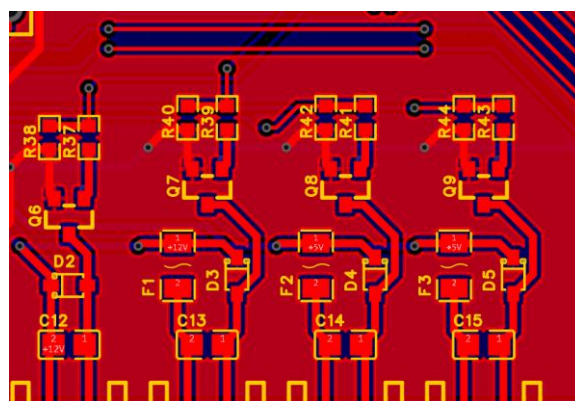


Obrázek 13 - Běžné druhy via otvorů

Užitečnou praktikou při návrhu rozložení DPS je tzv. rozlití mědi. Rozlitím mědi se vyplní všechna prázdná místa na desce mědi spojenou se zvolenou sítí. V naprosté většině případů se rozlitá měď spojuje se sítí GND. Díky rozlití plošný spoj výrazně lépe odvádí teplo. Menší nevýhodou velkých měděných ploch je obtížnější pájení, při kterém je kvůli dobrému odvádění tepla náročné správně prohřát spoj.



Obrázek 14 - Plošný spoj bez rozlití mědi

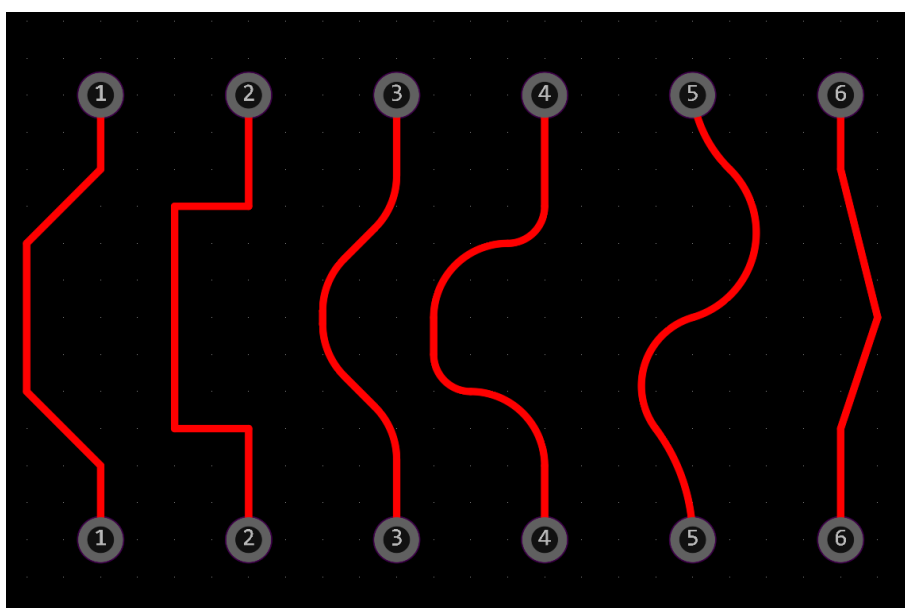


Obrázek 15 - Plošný spoj s rozlitím mědi

Pro vedení cest je k dispozici 6 různých módů:

- **Line 45°** – Rovné cesty, změny směru vždy dodržují úhel 45°
- **Line 90°** – Rovné cesty, změny směru vždy dodržují pravý úhel
- **Arc 45°** – Změny směru vždy dodržují úhel 45°, jsou ovšem zaoblené
- **Arc 90°** – Stejně jako u předchozího módu jsou rohy zaoblené, dodržují úhel 90°
- **Arc Free Angle** – Zaoblené rohy cest, nedodržují žádný pevný úhel
- **Line Free Angle** – Rovné cesty s libovolným úhlem

Nejběžněji používaným módem je **Line 45°**.



Obrázek 16 - Možnosti vedení cest

2.2.3 Vizuální úprava

Zásadní vlastností kvalitních plošných spojů jsou **správné popisky**. Ty slouží nejen k usnadnění osazování a rozpoznání komponent, ale také pro následnou orientaci, např. pomocí popisků pinů konektorů.

Popisky se běžně umísťují na vrstvy popisků (tzv. **silkscreen**), je možné je ovšem umístit i do vrstev mědi. Toto řešení se používá například při domácí výrobě DPS, při které výroba vrstvy popisků není možná. V editoru rozložení je tato vrstva vyznačena žlutou barvou.

Důležitým nástrojem pro popisky je **text**. V EasyEda je možné u každého textu nastavit font, výšku textu a tloušťku čáry.



Obrázek 17 - Ukázka možností popisků na DPS

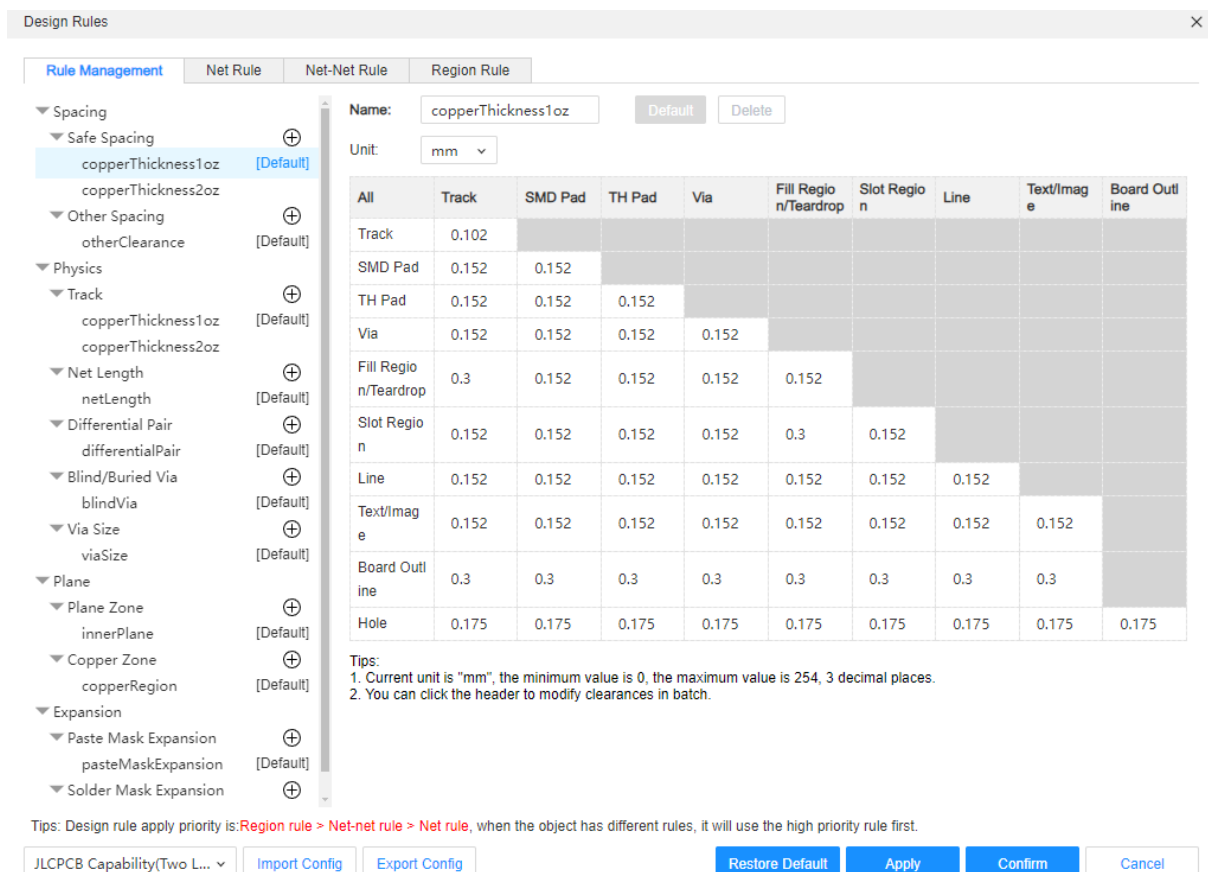
Dalšími dostupnými nástroji jsou:

- Čára
- Oblouk
- Obdélník
- Kružnice
- Polygon
- Importovaný obrázek

Obdélník, kružnice a polygon mohou být vyplněné, v tom případě se vytváří pomocí nástroje fill region, s nastavenou cílovou vrstvou popisků.

2.2.4 DRC kontrola

V režimu návrhu rozložení software EasyEda poskytuje mnohem více možností DRC pravidel než v režimu schématu. Designová pravidla se vztahují k parametrům jako minimální mezery mezi cestami, součástkami či ploškami.



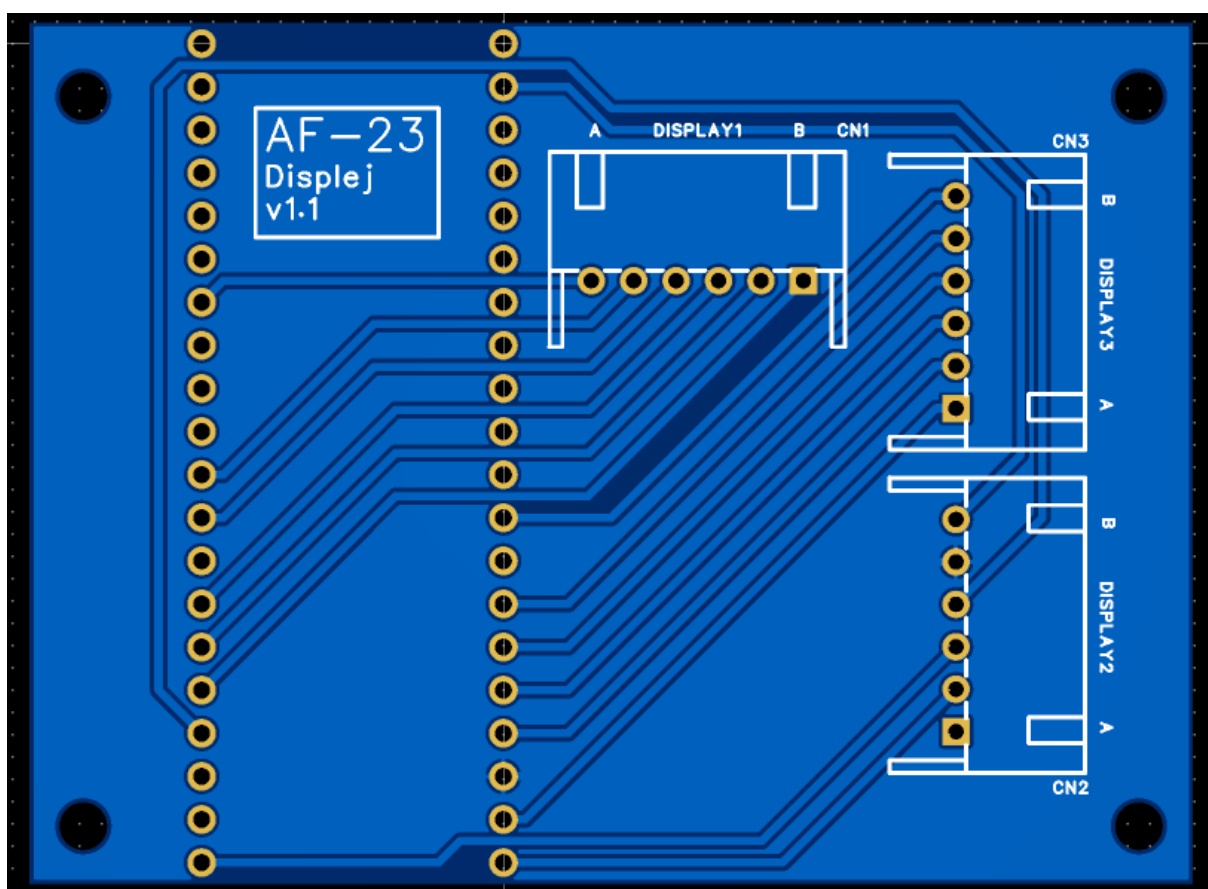
Obrázek 18 - Okno pro nastavení designových pravidel

Protože je software EasyEda spojen s výrobcem plošných spoje JLPCB, k dispozici je několik předpřipravených konfiguračních profilů, které splňují požadavky na výrobu u tohoto výrobce.

2.2.5 Vizualizace

Plošné spoje je možné v EasyEda vizualizovat pomocí dvou nástrojů, **2D pohled** a **3D pohled**.

2D pohled slouží k inspekci samotného plošného spoje a jeho popisků. V náhledu je možné zvolit **materiál** ze kterého má být plošný spoj vyroben (FR-4, FPC, hliník, měď, keramika, teflon), **barvu nepájitvého laku** (zelená, modrá, červená, bílá, žlutá, černá, fialová a měděná) a také **barvu plošek** pro pájení (zlatá, stříbrná). Je možné zobrazit samostatně obě strany plošného spoje.



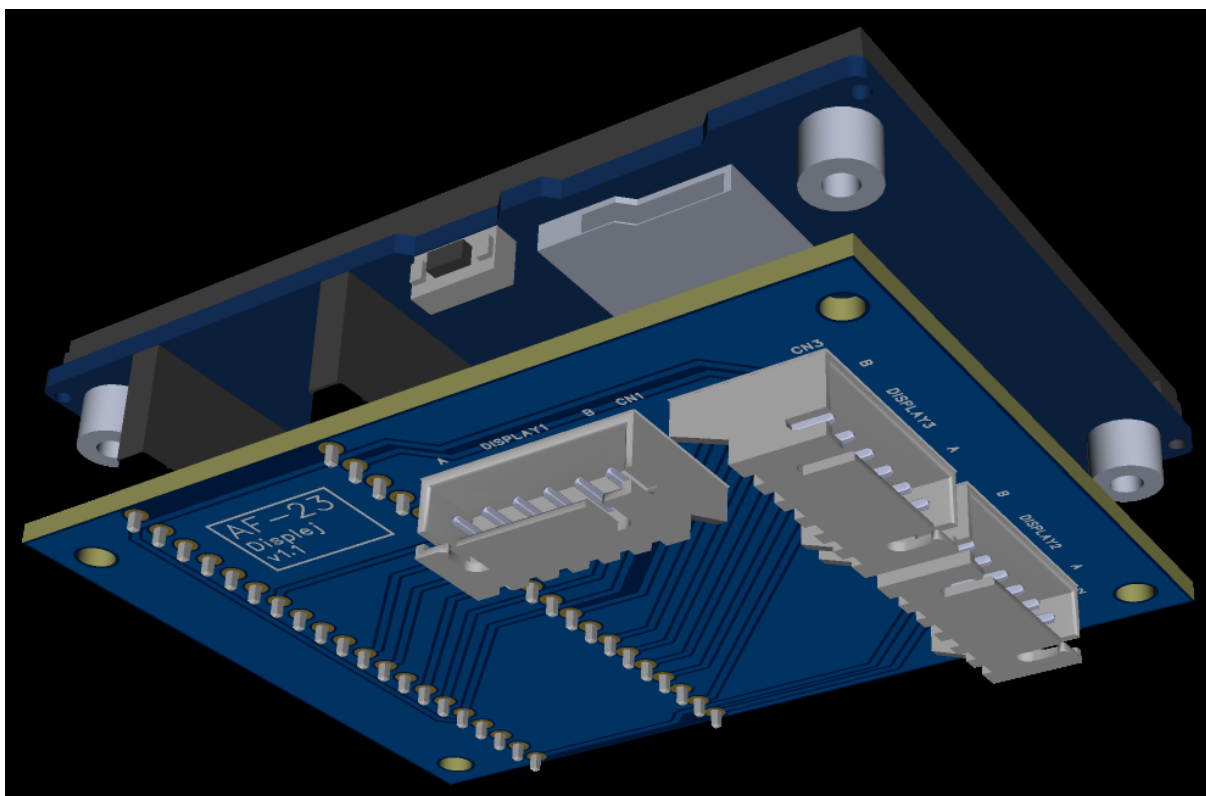
Obrázek 19 - 2D náhled plošného spoje

Ve 3D náhledu je možné zobrazit všechny komponenty osazené na plošném spoji. K tomu je samozřejmě třeba, aby všem komponentám byl přiřazen 3D model

Stejně jako u 2D náhledu je možné vybrat materiál a barvy plošného spoje či skrýt nebo zobrazit jednotlivé vrstvy.

3D model je možné exportovat ve formátu OBJ nebo STEP pro použití v CAD softwaru. Při exportu je také možné zvolit, které části náhledu se mají exportovat.

- Plošný spoj (povinně)
- Komponenty
- Via otvory
- Vrstva popisků
- Vrstva cest

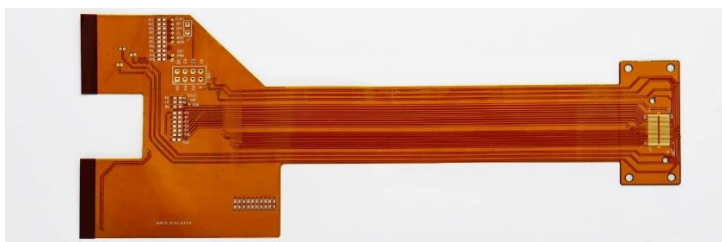


Obrázek 20 - 3D náhled plošného spoje

2.2.6 Profesionální výroba DPS

Dalším krokem po návrhu rozložení je výroba samotného plošného spoje. Pro profesionální výrobu je třeba zvolit správné parametry plošného spoje.

Prvním krokem je výběr správného materiálu. Nejčastěji používaným materiálem je FR-4, který je cenově dostupný a zároveň kvalitní. Jedná se o sklolaminátovou desku doplněnou vrstvou mědi. [3] Pro naprostou většinu užití je tento materiál ideální volbou, existují ale například i ohebné materiály či materiály s jinými tepelnými vlastnostmi.



Obrázek 21 - Flexibilní plošný spoj. Flex PCB Now Available at JLCPCB From Special Offer of \$2. Online. In: JLCPCB. 2024. Dostupné z: <https://jlcpcb.com/blog/flex-pcb-available-at-jlcpcb-from-special-offer>. [cit. 2025-03-31].

Dalšími důležitými parametry bývá počet vrstev a tloušťka DPS. Vícevrstvé spoje dovolují jednodušší tvorbu cest a zároveň mohou mít lepší vlastnosti. Je možné vyrobit plošné spoje s desítkami vrstev, cena těchto spojů je ovšem několikanásobně dražší.

Nepájivý lak, který je na DPS při výrobě aplikován, bývá k dispozici ve více barvách. Běžně dostupnými barvami jsou například zelená, modrá, červená, fialová, žlutá, černá nebo bílá.



Obrázek 22 - DPS v různých barevných provedeních. Are other color circuit boards more high-end than green ones? Online. In: LinkedIn. 2023. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/other-color-circuit-boards-more-high-end-than-green-ones-chelsea-yang-uwupcj/>. [cit. 2025-04-04].

V závislosti na zvoleném výrobcí mohou být k dispozici další parametry DPS, případně nabídka kontroly kvality nebo automatizovaného osazení plošných spojů.

Pro profesionální výrobu se používají data ve formátu **gerber**, která jsou exportována ze softwaru pro návrh rozložení. Pro každou vrstvu plošného spoje je určen samostatný vektorový gerber soubor. Tyto soubory zkomprimované do ZIP souboru se následně nahrávají do objednávacího formuláře. [4]

The image shows the JLCPCB online quote form. The left sidebar contains the following sections:

- Base Material:** FR-4, Flex, Aluminum, Copper Core, Rogers, PTFE Teflon.
- Layers:** 1, 2, 4, High Precision PCB, 6, 8, 10, 12, 14, 16, More.
- Dimensions:** 100 x 100 mm.
- PCB Qty:** 5.
- Product Type:** Industrial/Consumer electronics, Aerospace, Medical.
- PCB Specifications:**
 - Different Design:** 1, 2, 3, 4.
 - Delivery Format:** Single PCB, Panel by Customer, Panel by JLCPCB.
 - PCB Thickness:** 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.2mm, 1.6mm, 2.0mm.
 - PCB Color:** Green, Purple, Red, Yellow, Blue, White, Black.
 - Silkscreen:** White.
 - Surface Finish:** HASL(with lead), LeadFree HASL, ENIG.
- High-spec Options:**
 - Outer Copper Weight:** 1 oz, 2 oz.
 - Via Covering:** Tented, Untented, Plugged, Epoxy Filled & Capped, Copper paste Filled & Capped.
 - Min via hole size/diameter:** 0.3mm(0.4/0.45mm), 0.25mm(0.35/0.4mm), 0.2mm(0.3/0.35mm), 0.15mm(0.25/0.3mm).
 - Board Outline Tolerance:** ±0.2mm(Regular), ±0.1mm(Precision).

The right sidebar shows the price breakdown:

- Special Offer:** €1.81
- Via Covering:** €0.00
- Surface Finish:** €0.00
- Build Time:** €0.00
- PCB:** 2 days (€6.50), 24 hours (€6.50), 24 hours (PCBA Only) (€0.00).
- Calculated Price:** €3.64 - €1.81
- Shipping Estimate:** €19.41
- Weight:** 0.29kg
- Coupons:** Save €27.08, Save €13.54

Obrázek 23 - Část objednávkového formuláře u společnosti JLCPCB. Standard PCB/PCBA. Online. JLCPCB. C2025. Dostupné z: <https://cart.jlcpb.com/quote>. [cit. 2025-04-04].

2.2.7 Domácí výroba DPS

V domácích podmínkách je možné vytvořit dostatečně přesné DPS, oproti profesionální výrobě jsou ale výrazně omezeny možnosti parametrů. Existuje více metod výroby DPS, jako například přenosem toneru, fotocestou nebo frézováním. V této práci byla využita metoda **přenosu toneru** (tzv. toner transfer). Výhodou domácí výroby je rychlost a nízká cena.

Pro výrobu DPS přenosem toneru se používá polotovar desky s měděným povrchem (tzv. **cuprextit**). Prvním krokem výroby je uříznutí správné velikosti materiálu a jeho očištění. Čištění probíhá ručně pomocí jemného brusného papíru, poté je spoj očištěn acetonem.



Obrázek 24 - Jednoduchý plošný spoj vyrobený metodou přenosu toneru

Aby bylo možné na spoj nanést motiv, je třeba nejprve připravit data. Po návrhu rozložení je ze softwaru exportována měděná vrstva ve formátu PDF. Soubor je následně vytištěn na lesklou stranu speciální žluté fólie určené přímo pro výrobu DPS. Motiv musí být vytištěn na **laserové** tiskárně kvůli vlastnostem toneru.

Po vytištění motivu na fólii je motiv přezhelen na plošný spoj. Fólii je nejprve třeba přilepit napevno lepicí páskou, ideálně z druhé strany desky, než je nanášen motiv. Při přilepení ke stejné straně dochází k nerovnoměrnému přenosu tepla.

Motiv se z fólie přenáší žehlením pomocí běžné žehličky bez páry. Při žehlení je třeba na spoj tlačit a žehlit ho několik minut, přesná doba se liší podle velikosti spoje, toneru a dalších faktorů. Aplikací tepla a tlaku se toner uvolní z fólie a přenesení se na desku cuprexitu.



Obrázek 25 - Desky cuprexitu s nažehlenými pozitivy

Deska s motivem je připravena na leptání. K tomu běžně slouží roztok chloridu železitého (FeCl_3) [5]. Při práci s roztokem je třeba nosit rukavice a dbát všech dalších bezpečnostních pokynů. Leptání lze provádět více způsoby:

- Lázeň – Deska cuprexitu se položí do lázně s chloridem železitým, který je poté míchán. Lázeň je znovu použitelná, při každém leptání se ale znečišťuje, poté leptá pomaleji. Rychlejšího leptání lze dosáhnout vertikálním uložením desky.
- Houbička – Do houbičky se nasákne chlorid železitý, poté se tře po desce cuprexitu. Tato metoda je zpravidla rychlejší a šetrnější na spotřebu roztoku, nevýhodou ale může být rozetření motivu při horším přenosu toneru.

3 Komunikační rozhraní

Pro komunikaci mezi různými komponenty je využito několik komunikačních rozhraní běžně používaných pro komunikaci mezi mikrokontrolery a periferiemi.

3.1 UART

UART nebo sériová linka je jedním z nejpoužívanějších komunikačních rozhraní. Pro obousměrnou komunikaci jsou na každém zařízení potřeba piny **RX** (přijímání), **TX** (odesílání) a propojené země. Pin TX jednoho zařízení se vždy připojí k pinu RX druhého zařízení. Zařízení využívající sériovou linku mohou pracovat s jakýmkoliv napětím, v této práci jsou ovšem vždy využita napětí 3,3 V nebo 5 V.

U sériové linky není zapotřebí hodinového signálu, přenos probíhá na určené rychlosti (tzv. **baudrate**), která musí být shodně nastavena na obou zařízeních. Přenos je vždy započat tzv. **start bitem** a zakončen **stop bitem**. Sériová linka je určena primárně pro připojení dvou zařízení, která nepracují v režimu master/slave jako u jiných rozhraní. K jednomu pinu TX lze připojit více přijímacích zařízení, ovšem ne naopak. [6]

3.2 I²C

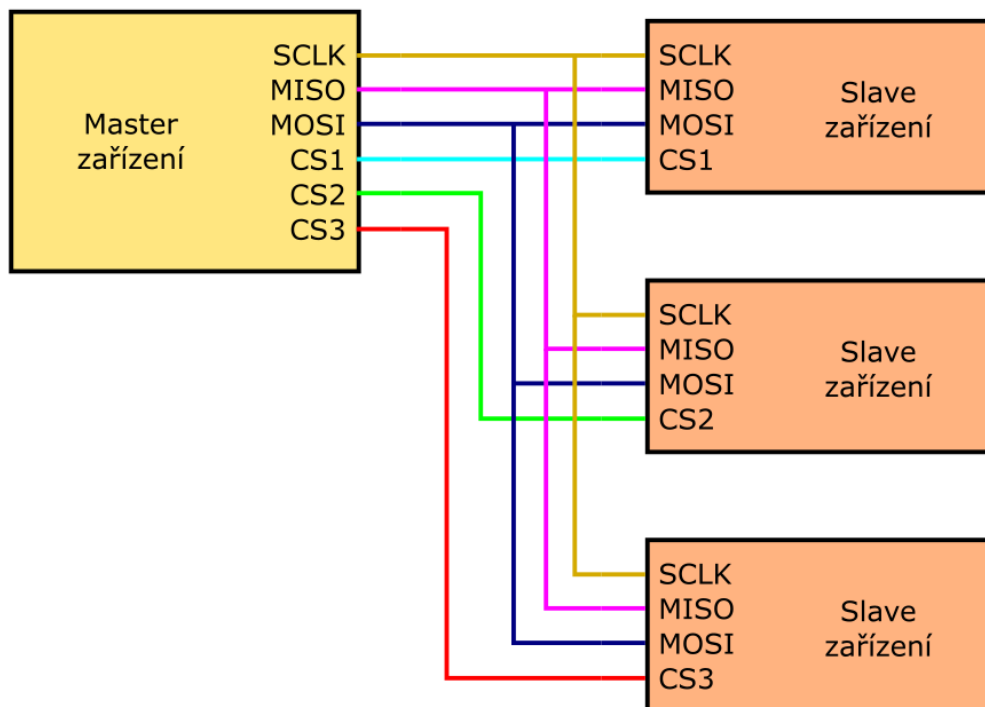
I²C (Inter-Integrated Circuit) je rozhraní pracující na sběrníkové topologii. Jedno zařízení (master) ovládá ostatní zařízení (slave), případně od nich žádá data. Pomocí dvou vodičů, SCL a SDA lze propojit až 128 zařízení. Vodič SCL slouží jako hodinový signál a je ovládán master zařízením. SDA linka je určena pro přenos samotných dat. Oba vodiče musí být pomocí pull up rezistoru připojeny ke kladnému napětí pro zajištění správného klidového stavu. Aby bylo umožněno připojení více slave zařízení, musí každé z nich mít unikátní adresu. Protože je k přenosu dat určen pouze jeden vodič, sběrnice umožňuje pouze poloduplexní přenos – data vždy posílá pouze jedno zařízení. [7] [8]

3.3 SPI

Rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface) je podobné I2C, na rozdíl od ní ale umožňuje **duplexní přenos**. K jednomu master zařízení je teoreticky možné připojit nekonečno slave zařízení. Volba aktivního zařízení probíhá pomocí pinu CS/SS (chip select/slave select) na slave zařízení. Pokud je logická hodnota CS 1, slave zařízení nereaguje na data. Pokud je logická hodnota rovna 0, zařízení je aktivní. Vždy může být aktivní pouze jedno slave zařízení. Kromě pinu CS, jež je potřeba jeden pro každé slave zařízení, jsou pro funkci sběrnice potřeba tři další vodiče: [8] [9]

- SCLK – hodinový signál
- MISO – master in, slave out – linka pro příjem dat do master zařízení
- MOSI – master out, slavi in – linka pro odesílání dat z master zařízení

SPI se používá pro vysokorychlostní účely, například pro flash paměti, displeje nebo komunikaci s dalšími mikrokontrolery.



Obrázek 26 - Příklad připojení tří slave zařízení pomocí rozhraní SPI

3.4 1-Wire

Rozhraní 1-Wire (OneWire) je sběrnice, která k veškeré komunikaci využívá pouze jeden vodič. Každé slave zařízení má svojí **unikátní 64bitovou adresu**, pomocí které ho lze identifikovat. Rozhraní je určeno pro nízké rychlosti, komunikace probíhá v polovičním duplexu a v konfiguraci master/slave.

Napájení 1-Wire zařízení může probíhat dvěma způsoby:

- Běžné napájení – K napájení se využívá pin VCC (celkem 3 vodiče)
- Parazitní napájení – K napájení se využívá pin DATA (celkem 2 vodiče).
Kondenzátor uvnitř zařízení se napájí v pauzách mezi posíláním a přijímáním dat.

Pro správnou funkčnost sběrnice je potřeba linku data propojit s napájecím napětím pomocí 4,7 k Ω rezistoru, který zajistí správný logický stav v nečinnosti, ale zároveň umožní parazitní napájení zařízení. [10]

Běžně používané zařízení, které s rozhraním pracuje, je digitální teplotní senzor DS18B20.

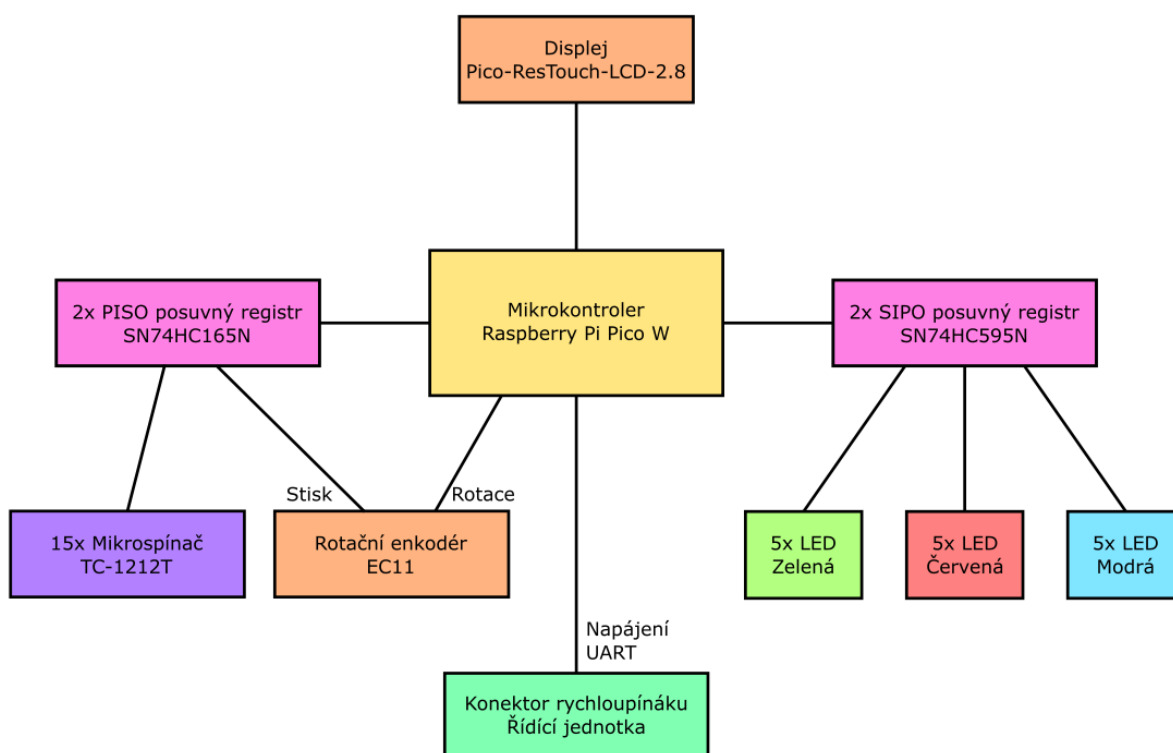
4 Volant

Nejviditelnější částí práce je volant, který slouží k ovládání veškerých funkcí formule. Zároveň zobrazuje informace o stavu vozidla, jako například rychlost, údaje z teplotních senzorů nebo kapacitu baterie.

4.1 Elektronika

Z hlediska elektroniky volant slouží pouze jako „ovladač“ řídicí jednotky. Sám o sobě nekomunikuje s ničím jiným než s řídicí jednotkou. Pro zobrazování informací a ovládání na volantu najdeme:

- 2,8palcový dotykový displej s rozlišením 320x240 pixelů
- 15 LED
- 15 tlačítek
- Inkrementální rotační enkodér s tlačítkem



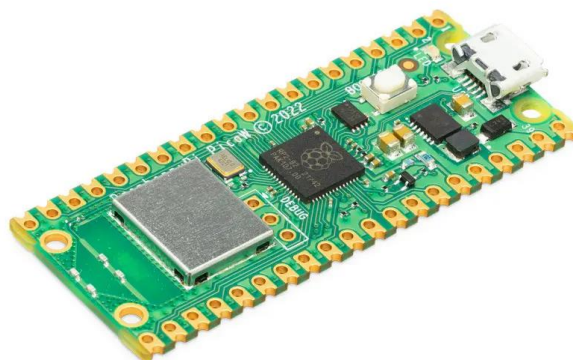
Obrázek 27 - Blokové schéma elektroniky volantu

4.1.1 Raspberry Pi Pico W

Srdcem volantu je mikrokontroler **Raspberry Pi Pico W**, který zpracovává vstupy, ovládá displej a LED diody a komunikuje s řídicí jednotkou. Primárním důvodem, proč byl zvolen tento mikrokontroler je velké množství pinů a rozhraní, které jsou k dispozici. Dalším důvodem byly předchozí zkušenosti s tímto mikrokontrolerem. Původním záměrem bylo použít variantu bez bezdrátové konektivity, kvůli podpoře OTA aktualizací bylo ovšem vhodnější využít tuto vylepšenou variantu mikrokontroleru

Mikrokontroler využívá dvoujádrového procesoru **RP2040**, který pracuje na frekvenci 133 MHz a je doplněn 264 KB SRAM a 2 MB flash paměti. Lze využít 26 GPIO pinů, na každém z nich je k dispozici jeden ze 16 PWM kanálů. 3 piny lze také využít jako analogový převodník s rozlišením 12 bitů. Velkou výhodou je také všestrannost z hlediska komunikačních rozhraní. Kromě USB portu využívaného k programování, případně komunikaci s jiným zařízením, se na Raspberry Pi Pico W nachází: [1]

- 2x hardwarové SPI
- 2x hardwarové I2C
- 2x hardwarový UART
- 8x PIO (Programmable input output)
- SWD (Serial Wire Debug)
- Wi-Fi 4 a Bluetooth 5.2



Obrázek 28 - Mikrokontroler Raspberry Pi Pico W. Raspberry Pi Pico W. Online. In: RPishop.cz. C2025. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-pico/5073-raspberry-pi-pico-w.html>. [cit. 2025-03-21].

4.1.2 Displej

Pro zobrazování informací řidičovi byl zvolen modul displeje **Pico-ResTouch-LCD-2.8** od společnosti Waveshare. Jedná se o 2,8palcový dotykový IPS displej určený přímo pro použití s mikrokontrolerem Raspberry Pi Pico. Disponuje rozlišením 320x240 pixelů, 16bitovým nebo 18bitovým barevným rozlišením a komunikuje pomocí sběrnice SPI. [11] Na displeji se nachází také slot pro microSD kartu a resetovací tlačítko, které ovšem v této práci nejsou využity.



Obrázek 29 - Displej pro Raspberry Pi Pico. WAVESHARE. 2.8inch Touch Display Module for Raspberry Pi Pico, 262K Colors, 320×240, SPI. Online. Waveshare. C2025. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/pico-restouch-lcd-2.8.htm>. [cit. 2025-03-14].

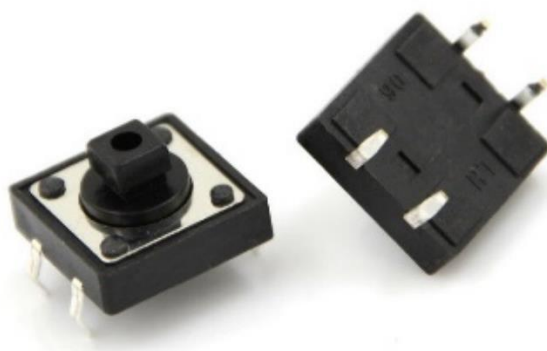


Obrázek 30 - Displej pro Raspberry Pi Pico. WAVESHARE. 2.8inch Touch Display Module for Raspberry Pi Pico, 262K Colors, 320×240, SPI. Online. Waveshare. C2025. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/pico-restouch-lcd-2.8.htm>. [cit. 2025-03-21].

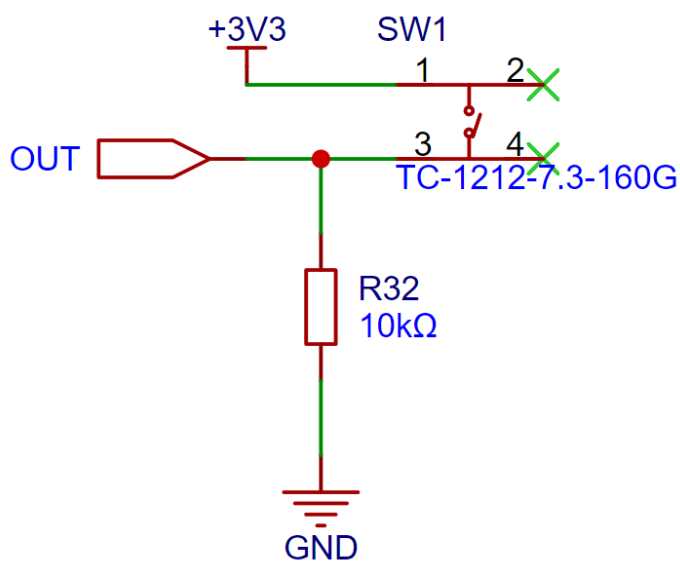
Na modulu displeje jsou čtyři otvory pro uchycení se závitem M2,5. Podsvícení displeje je nastavitelné za pomoci PWM signálu. Spotřeba displeje je závislá na zobrazeném obsahu, neměla by ale přesáhnout 140 mA. [11]

4.1.3 Tlačítka

Pro ovládání funkcí byly zvoleny běžné mikrospínače **TC-1212T**, kterých se na volantu nachází 15. Na nich jsou nasazeny barevné kloboučky, které jsou barevně rozřazeny podle funkcí tlačítek. U každého tlačítka se nachází pull-down rezistor, jež zajišťuje čtení stálého stavu v případě, že mikrospínač není stisknutý. Výstupy všech tlačítek jsou čteny pomocí posuvných registrů.



Obrázek 31 - Mikrospínač TC-1212T. DRÁTEK.CZ. Mikrospínač TC-1212T - 12 x 12 x 7,3 mm SMD PCB DPS. Online. Drátek.cz. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1180-mikrospinač-tc-1212t-12x12x7.3mm-smd-pcb-dps.html>. [cit. 2025-03-21].

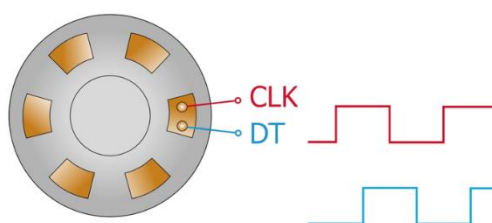


Obrázek 32 - Zapojení mikrospínače

4.1.4 Rotační enkodér

Dalším ovládacím prvkem na volantu je inkrementální rotační enkodér, využívaný pro vedlejší funkce, jako například pohyb v menu. Konkrétně se jedná o běžně používaný enkodér z rodiny **EC11**. Byla zvolena varianta se 30 zarážkami a spínačem, které na volantu slouží jako 16. tlačítko.

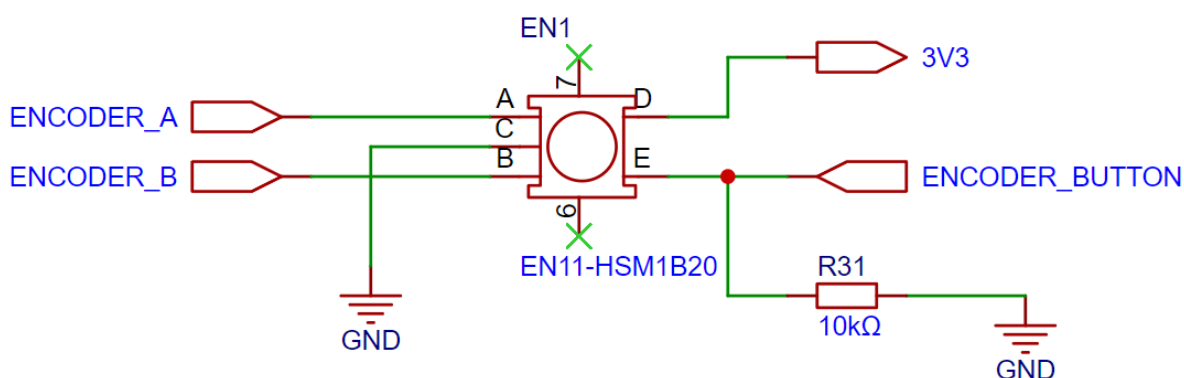
Zapojení spínače je stejné jako u ostatních spínačů. Enkodér má výstupy A a B, které se při otáčení spojují a odpojují od napájecího napětí. Vznikají tak 4 různé stavy, které může výstup enkodéru mít, podle kterých je možné určit směr rotace.



Obrázek 33 - Schéma funkce inkrementálního enkodéru. NEMATIC!. How Rotary Encoder Works With Arduino!. Online. Instructables. Dostupné z: <https://www.instructables.com/How-to-Use-an-Rotary-Encoder-With-Arduino/>. [cit. 2025-03-23].



Obrázek 34 - Rotační enkodér EC11. EC11E15204A3. Online. In: Alps Alpine. C2025. Dostupné z: <https://tech.alpsalpine.com/e/products/detail/EC11E15204A3/>. [cit. 2025-03-23].



Obrázek 35 - Zapojení rotačního enkodéru

4.1.5 LED

Nad displejem je umístěna řada 15 LED, které se používají jako další indikátor rychlosti. V reálných formulích se používají pro indikaci otáček motoru, jelikož tato elektroformule převodovku nemá, je počet otáček za minutu vždy přímo úměrný rychlosti. LED jsou rozděleny na tři barvy, zelenou, červenou a modrou.

Do série s každou diodou je třeba zapojit rezistor, jehož hodnota se počítá pomocí Ohmova zákona. Pro přesnější kontrolu na jasu a proudem jsou u každé LED místo jednoho rezistoru umístěny dva rezistory v paralelním zapojení. Toto zapojení zároveň zlepšuje možnosti zpětné úpravy hodnot rezistorů bez změny samotného plošného spoje.

$$R = \frac{U}{I}$$

Rovnice 1 - Výpočet hodnoty rezistoru

Pro výpočet celkového odporu paralelně zapojených rezistorů platí:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Rovnice 2 - Výpočet celkové hodnoty dvou paralelně zapojených rezistorů

U všech tří barev bylo cílem dosáhnout proudy přibližně 7 mA, aby svítily jasně, ale zároveň spotřeba LED nepřesahovala limity posuvného registru, jež je ovládá. Posuvné registry a LED jsou napájeny napětím 3,3 V.

Barva	Napětí v propustném směru [V]	Hodnoty zvolených rezistorů [Ω] (Celkem)	Proud [mA]
Zelená	1,88	220, 2200 (200)	7,1
Červená	1,79	220, 10 000 (215,26)	7,01
Modrá	2,61	100, 10 000 (99,01)	6,97

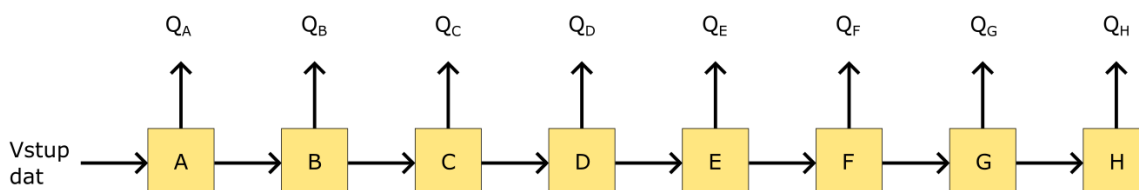
Tabulka 1 - Hodnoty rezistorů pro LED na volantu

4.1.6 Posuvné registry

Pro ovládání LED byly použity tzv. **SIPO** (serial-in, parallel-out) posuvné registry, konkrétně **SN74HC595N**. Díky těmto registrům lze ovládat velké množství digitálních výstupů pomocí malého množství pinů. Pro ovládání SIPO registru se používají pouze 4 piny:

- SER – vstup pro data
- OE – zapnutí/vypnutí všech výstupů (pin je invertovaný)
- RCLK – tzv. latch pin, při každé změně na hodnotu HIGH se projeví změny dat
- SRCLK – tzv. clock pin, při každé změně na hodnotu HIGH se výstupy registrů posunou o jedno místo (změna se projeví až po sepnutí pinu RCLK)

Na jednom posuvném registru je k dispozici 8 výstupů. Pokud jich je potřeba více, dají se registry připojit za sebe, aniž by bylo potřeba využít více pinů na mikrokontroleru. Ve volantu jsou použity 2 registry pro ovládání 15 LED.

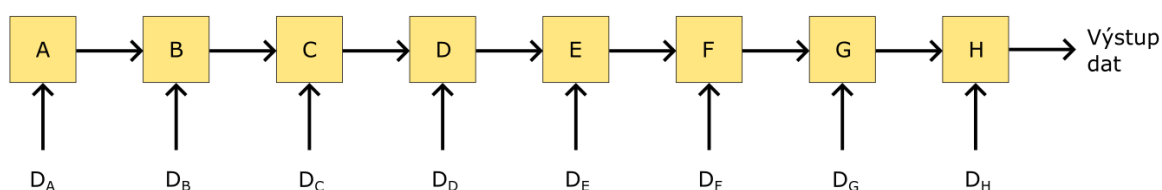


Obrázek 36 - Schéma operace SIPO posuvného registru

Pro čtení stavu jednotlivých tlačítek byly použity tzv **PISO** (parallel-in, serial-out) registry, konkrétně **SN74HC165N**. S jejich pomocí lze číst stav všech 16 tlačítek s využitím pouze 3 pinů. Každý registr má 8 vstupů, stejně jako u SIPO registrů jich lze připojit více za sebou.

- PL – načtení dat ze vstupů do registru
- CP – tzv. clock pin, posouvá hodnoty uvnitř registru o jedno místo
- Q_H – výstup dat čtený mikrokontrolerem

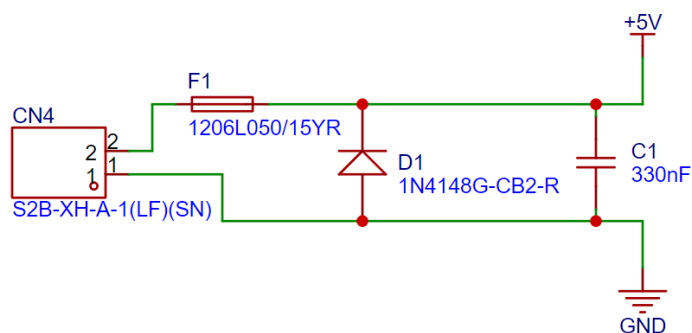
Nevýhodou tohoto řešení je, že pro detekci stisku nelze používat přerušení, je vždy třeba přečíst stavy všech tlačítek a poté je vyhodnotit.



Obrázek 37 - Schéma operace PISO posuvného registru

4.1.7 Napájení a komunikace s řídicí jednotkou

Volant je napájen 5 V, které poskytuje řídicí jednotka. Napájecí vstup je chráněn proti přepólování pomocí diody v paralelním zapojení. [12] Pokud je zdroj napájení připojen s opačnou polaritou, proud teče skrz diodu do vratné pojistky, která obvod rozpojí. Vratná pojistka dimenzovaná na trvalý proud 500 mA zároveň chrání obvod proti zkratu.

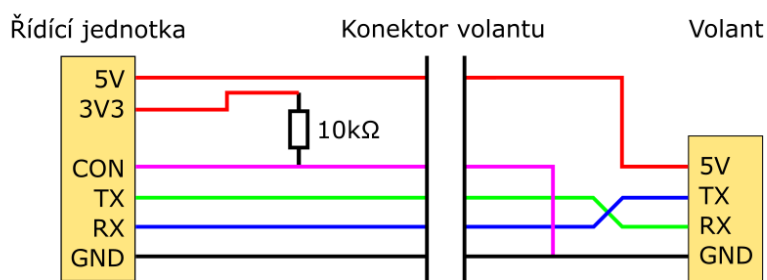


Obrázek 38 - Zapojení ochrany proti přepólování a zkratu na volantu

Protože mikrokontroler Raspberry Pi Pico W pracuje s logickým napětím 3,3 V, komponenty jsou napájeny ze step-down měniče integrovaného na mikrokontroleru. Maximální zatížení na volantu by nemělo přesáhnout 150 mA, vzniká tak dostatečná rezerva k limitu 300 mA doporučenému výrobcem. [13]

Pro komunikaci s řídicí jednotkou volant využívá hardwarového UART rozhraní dostupného na mikrokontroleru. Pro tuto oboustrannou komunikaci jsou zapotřebí pouze dva další vodiče.

Další vodič se používá pro detekci připojeného volantu. Na straně jednotky se nachází pull-up rezistor, po připojení volantu se vodič spojí se zemí a změní se hodnota na vstupu.

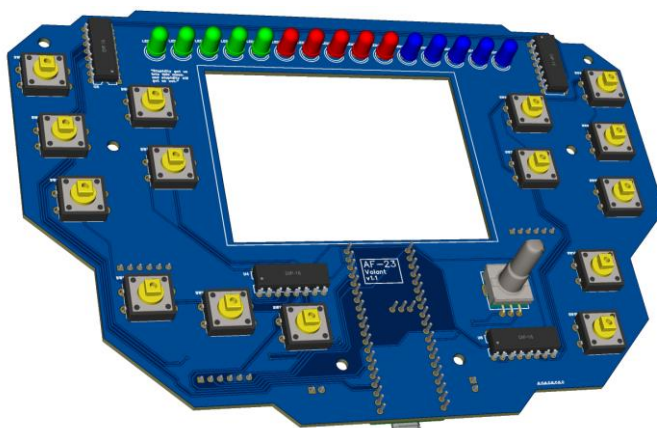


Obrázek 39 - Schéma připojení volantu k řídicí jednotce

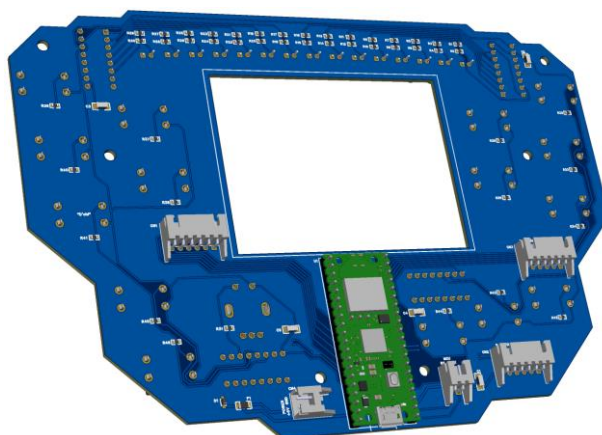
4.1.8 Plošné spoje

Pro spojení všech součástek byly navrženy **dva** plošné spoje. Na hlavním plošném spoji neboli základní desce je umístěn mikrokontroler a všechny ostatní komponenty s výjimkou displeje. Ten je umístěn na samostatném plošném spoji. Oba plošné spoje jsou propojeny třemi 6pinovými konektory řady JST-XH. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu tloušťky modulu displeje, která činí více než 14 mm. Díky oddělení spojů tak displej může být v rovině se zbytkem volantu.

Na přední straně základní desky se nachází vstupní a výstupní periferie společně s posuvnými registry. Na zadní straně je umístěn mikrokontroler Raspberry Pi Pico W, konektory a SMD součástky. Uprostřed dvouvrstvého plošného spoje je velký otvor, ve kterém který je umístěn displej. K upevnění je na plošném spoji 6 otvorů s průměrem 3 mm. Rozměry plošného spoje jsou **187,96 mm** na šířku a **132,08 mm** na výšku.

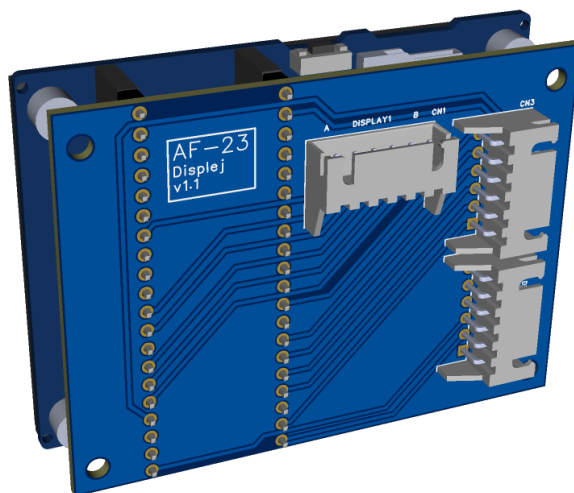


Obrázek 40 - 3D náhled přední strany základní desky volantu



Obrázek 41 - 3D náhled zadní strany základní desky volantu

Druhý plošný spoj je určen pouze pro upevnění displeje, kromě konektorů a jednoho kondenzátoru se na něm tak nic dalšího nenachází. Pro montáž jsou určeny čtyři otvory s průměrem 2,8 mm, které mají stejnou rozteč jako závity na modulu displeje. Šířka plošného spoje je **68,58 mm** a výška **50,8 mm**.



Obrázek 42 - 3D náhled plošného spoje pro displej volantu

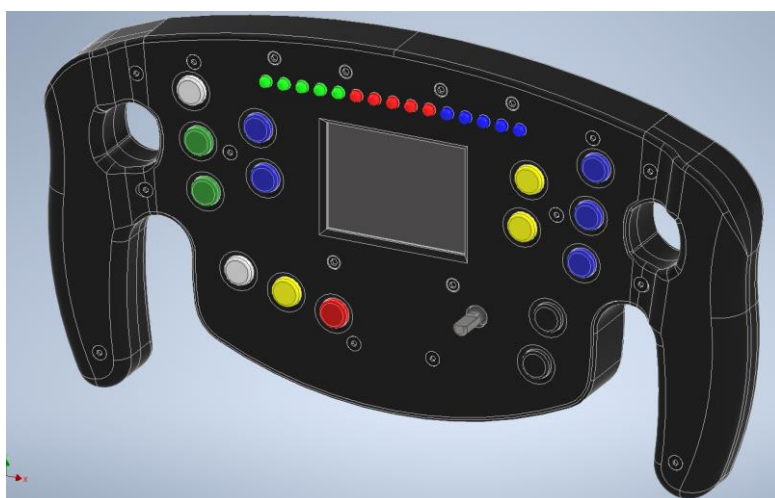
Návrh rozložení plošných spojů byl zdlouhavý zejména kvůli nutnosti návrhu zároveň s CAD modelem celého volantu. Cesty na plošných spojích byly navrženy tak, aby jejich šířka odpovídala požadovaným proudům a aby se příliš nepřibližovaly k dalším cestám. Na spojích je také využito rozlití mědi pro zem, jak je u plošných spojů zvykem. Kolem montážních otvorů jsou dodrženy větší mezery od cest a komponent, aby se zamezilo případnému doteku hlavy šroubu a cesty nebo součástky.

Pomocí bílého potisku jsou na obou plošných spojích vyznačeny značky součástek, jejich obrysy, orientace pro pájení a u konektorů také označení stran A a B pro kontrolu zapojení.

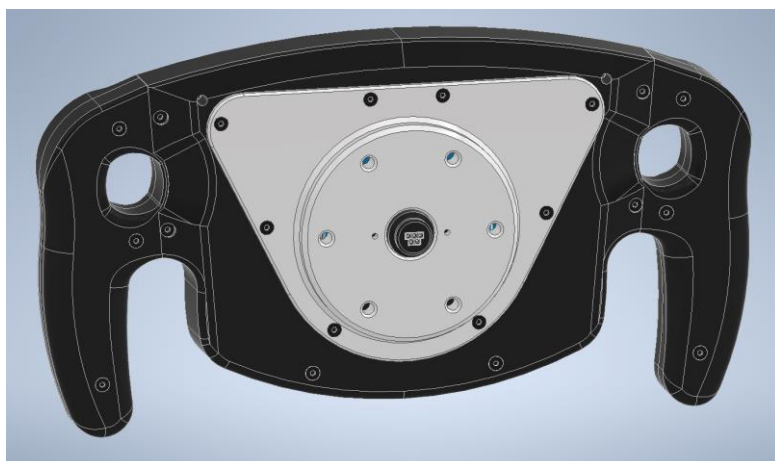
4.2 Konstrukce

Většina volantu byla vyrobena pomocí technologie 3D tisku, nejprve bylo ovšem potřeba samotnou konstrukci navrhnout. Návrh probíhal v CAD softwaru Autodesk Inventor 2024. Pro převod dat na instrukce pro 3D tiskárnu byl poté použit PrusaSlicer.

Celková šířka volantu dosahuje **293,6 mm**, výška **160 mm** a tloušťka bez rychloupínacího náboje **45,5 mm**. Váží přibližně **1500 g** a na jeho výrobu bylo využito přes 40 závitových vložek a šroubů.



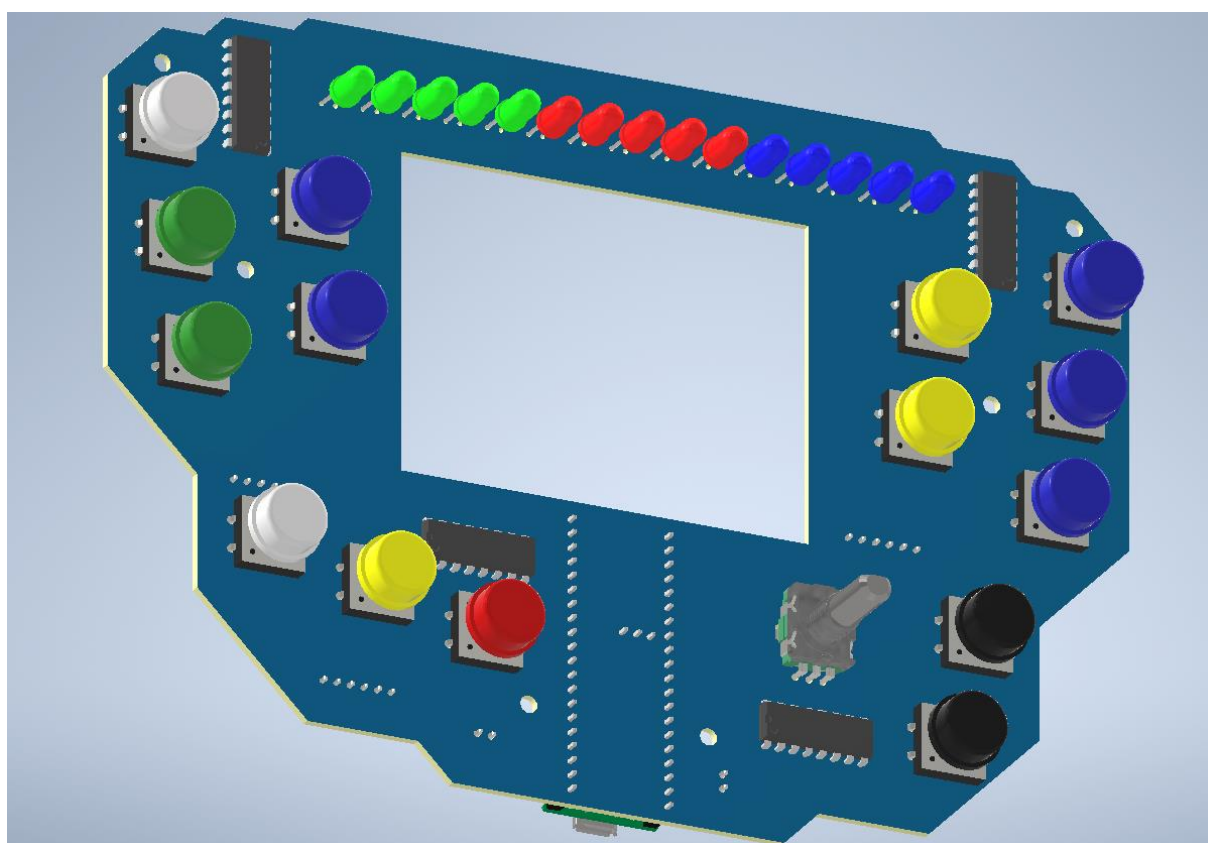
Obrázek 43 - Přední pohled na volant



Obrázek 44 - Zadní pohled na volant

4.2.1 Plošné spoje

Aby bylo jednodušší navrhovat konstrukci kolem samotných plošných spojů, bylo nejprve potřeba vytvořit jejich přesné modely. Ze softwaru EasyEda byly nejprve vyexportovány STEP objekty neosazených spojů, poté byly převedeny na nativní formát Inventoru, a nakonec vloženy do sestavy společně s jednotlivými komponenty. Pro některé ze součástek, jako například displej, byl jejich model k dispozici od výrobce, ostatní bylo třeba vymodelovat podle výkresů či měření.



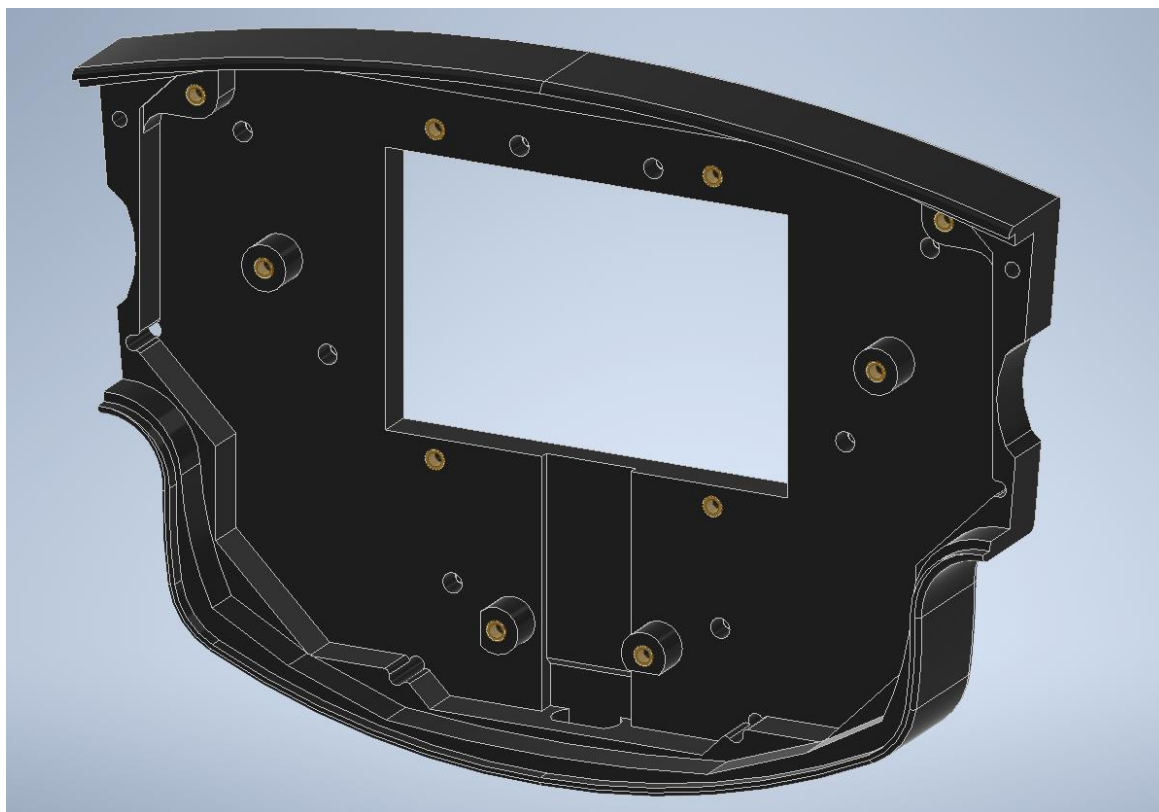
Obrázek 45 - CAD model základní desky volantu

4.2.2 Záda volantu

Záda volantu slouží k upevnění obou plošných spojů a zároveň k připevnění střední výztuhy. Na zadní stranu je uchycena příruba pro rychloupínací náboj. Záda zároveň zakrývá strany volantu, s výjimkou otvorů pro výztuhu.

Základní deska je upevněna na sloupcích, které zaručují dostatek místa pro SMD součástky a nožky průchozích komponent. Pro mikrokontroler je udělán hlubší výřez a otvor pro Micro-USB konektor, sloužící pro programování volantu. U konektoru je také místo pro záslepku.

Pro všechny šroubové spoje jsou do vytisknuté součásti zataveny závitové vložky se závitem velikosti M3. Vložky umožňují získat ve vytisknuté součásti přesný a pevný závit.



Obrázek 46 - Záda volantu

4.2.3 Výztuha

Na plošném spoji je umístěna plastová výztuha. Je 8,5 mm tlustá, nachází se v ní otvory pro součástky a také otvory se závitovými vložkami pro upevnění nejen samotné výztuhy, ale také držadel.

Aby bylo možné výztuhu vytisknout na běžné 3D tiskárně, je navržnuta s možností rozdělení na dvě poloviny. Ve finální verzi je ale výztuha vytisknuta jako jeden kus.



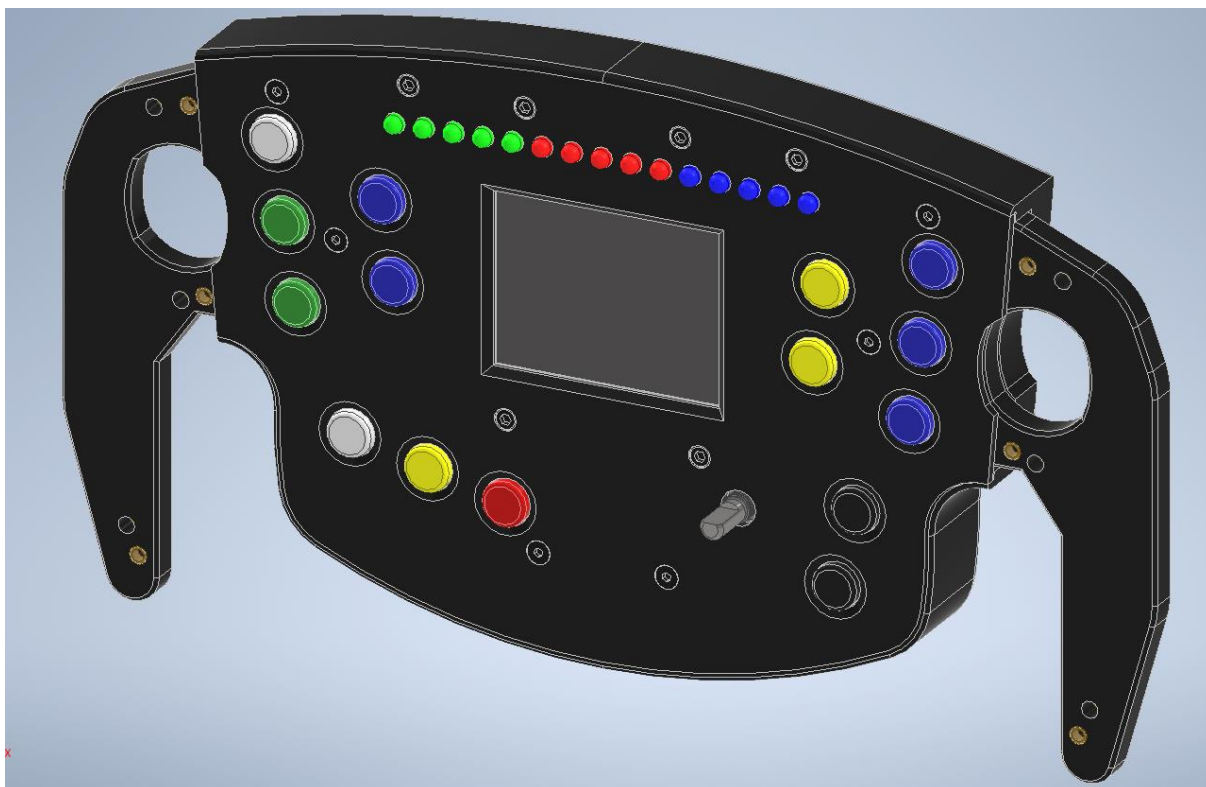
Obrázek 47 - CAD model volantu s výztuhou



Obrázek 48 - Pohled na zadní stranu výztuhy volantu

4.2.4 Přední kryt

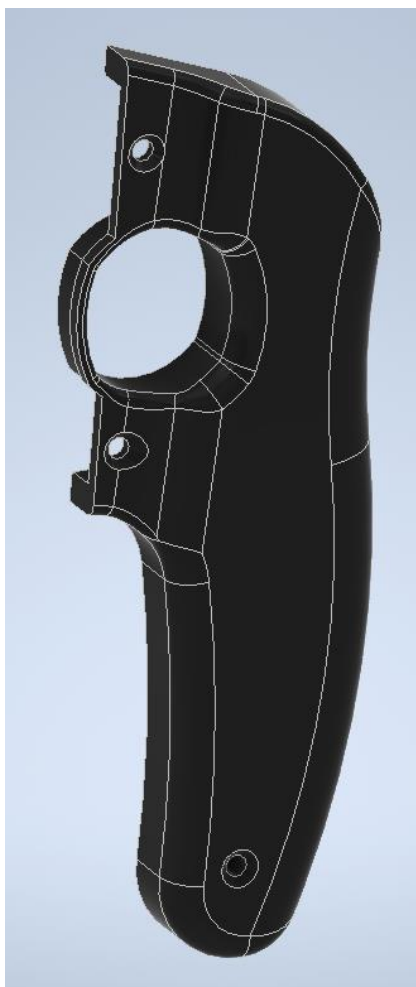
Aby volant zepředu vypadal pěkně, byl vytvořen kryt zakrývající vnitřek konstrukce. Kryt je pouze 3 mm tlustý, jsou v něm otvory pro komponenty a také pro hlavy šroubů. Aby přední strana zůstala plochá, byly použity zápustné šrouby DIN 7991.



Obrázek 49 - CAD model volantu s předním krytem

4.2.5 Držadla

Na stranách výztuhy jsou připevněny symetrická držadla. Každé z nich je tvořeno přední a zadní částí. Každá strana držadla je přichycena třemi zápusťnými šrouby a je možné tak držadla jednoduše upravit a zaměnit za jiná.



Obrázek 50 - Přední strana držadla volantu

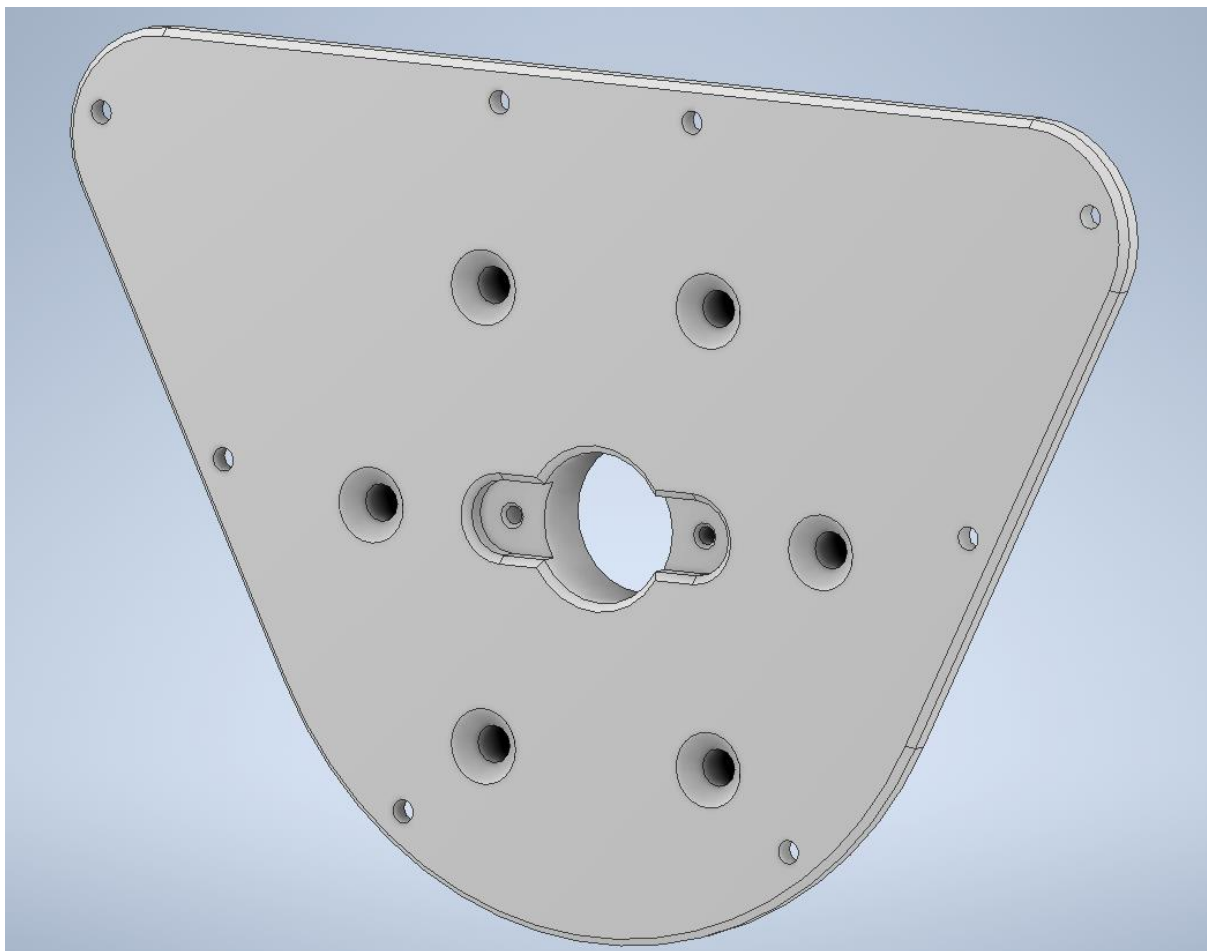


Obrázek 51 - Zadní strana držadla volantu

4.2.6 Příruba pro rychloupínací náboj

Pro uchycení volantů k rychloupínacímu náboji slouží příruba. K zadům volantů je připevněna osmi šrouby M3, k rychloupínacímu náboji potom pomocí šestice šroubů M5, které jsou zajištěny pojistnými maticemi.

Ve středu příruby se nachází otvor pro umístění 5pinového konektoru.



Obrázek 52 - Příruba pro rychloupínací náboj

4.2.7 Rychloupínací konektor

Aby bylo do elektroformule možné rychle nasedat, je třeba vyjmout volant. K tomu slouží rychloupínací náboj, jehož jedna část je připevněná k tyči řízení a druhá k volantu. Pro připojení elektroniky bylo nutné navrhnout vlastní konektor, který je uvnitř náboje.

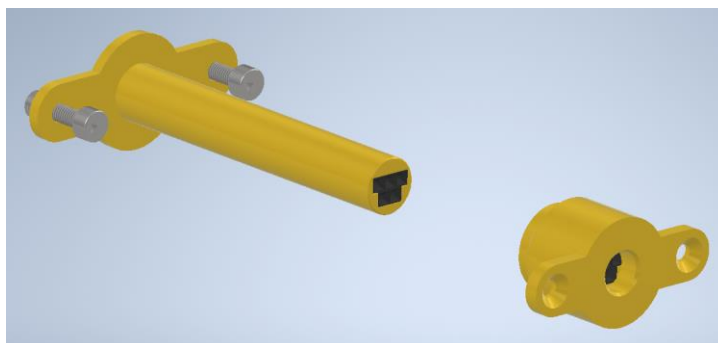


Obrázek 53 - Rychloupínací náboj

Jelikož volant není z hlediska spotřeby proudu příliš náročný, bylo zvoleno řešení tzv. dupont konektorů vsazených do plastových dílů vytisknutých na 3D tiskárně. Tyto díly jsou vloženy uvnitř rychloupínacího náboje. Díky tomu, že je konektor schován uvnitř náboje, je také lépe chráněn proti prachu.

Konektor má 5 pinů:

- Napájení 5 V
- Země
- 2x sériová linka
- Pin pro rozpoznání připojeného volantu



Obrázek 54 - Konektor do rychloupínacího náboje

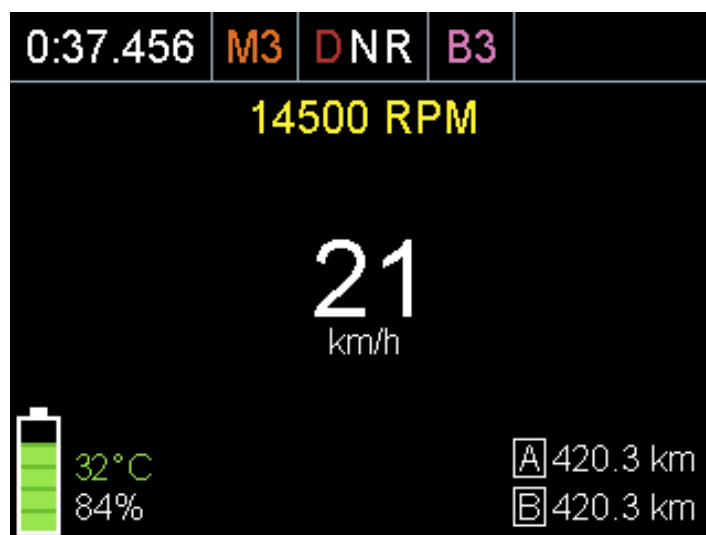
4.3 Vzhled obrazovek

Zásadním krokem pro vývoj volantu bylo vymyšlení vzhledu a ovládání jeho systému. K tomu slouží několik návrhů obrazovek.

4.3.1 Hlavní obrazovka

Hlavní obrazovka slouží k zobrazení těch nejdůležitějších informací, které řidič potřebuje při jízdě. Mezi ně patří:

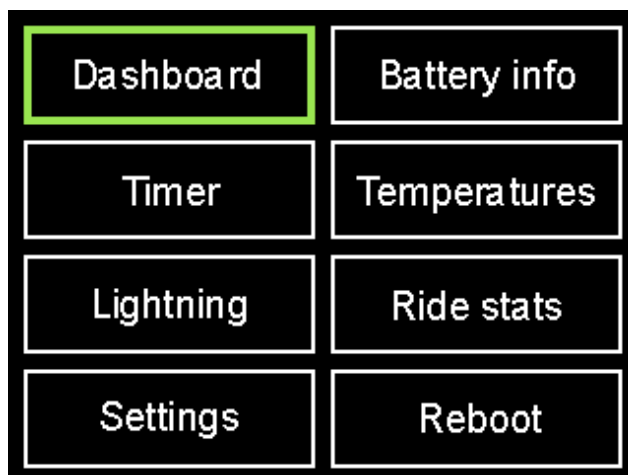
- Rychlost
- Otáčky motoru
- Směr jízdy
- Rychlostní stupeň
- Stupeň brždění motorem
- Ujetá vzdálenost (A, B)
- Stav akumulátoru
- Čas aktuálního kola



Obrázek 55 - Hlavní obrazovka volantu

4.3.2 Menu

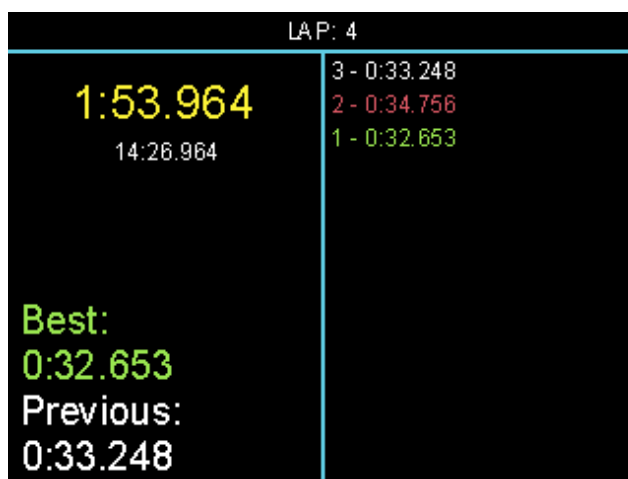
Pro přepínání mezi jednotlivými aplikacemi slouží jednoduché menu. K pohybu mezi tlačítky slouží rotační enkodér, případně je možné použít dotykový displej.



Obrázek 56 - Obrazovka menu

4.3.3 Stopky

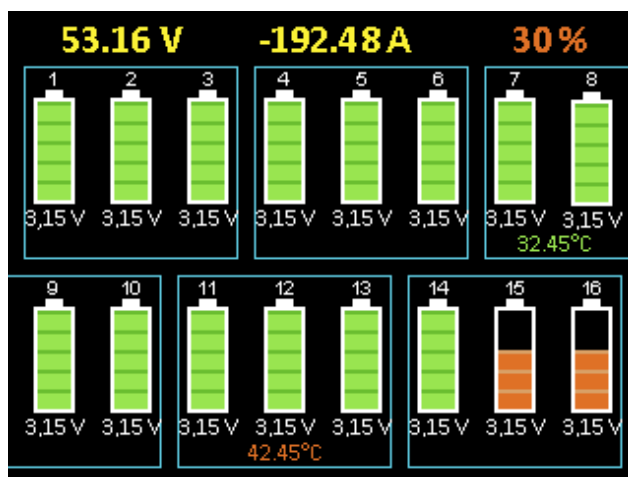
Obrazovka stopek slouží k měření času a zobrazení jednotlivých kol, včetně nejrychlejšího a nejpomalejšího kola.



Obrázek 57 - Obrazovka stopek

4.3.4 Akumulátor

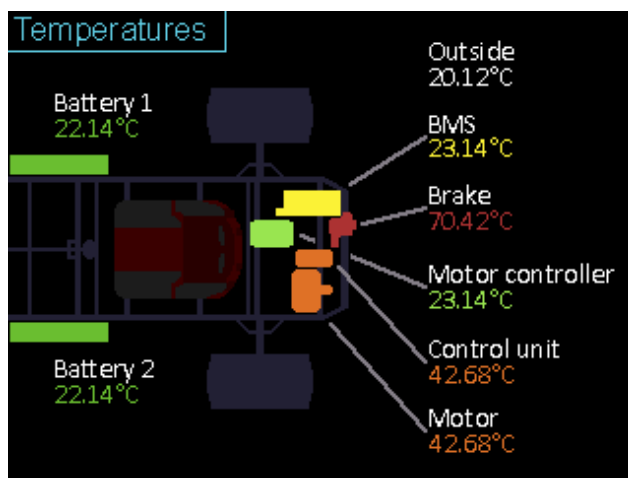
Detailnější informace o akumulátoru jsou k dispozici na obrazovce akumulátorů. Kromě jednotlivých napětí jsou k dispozici také údaje o celkovém napětí, proudu a zbývajících kapacitě. Články jsou uspořádány do skupin podle reálného rozložení, včetně umístění teplotních senzorů.



Obrázek 58 - Obrazovka akumulátoru

4.3.5 Teploty

Na obrazovce teplot je možné zobrazit údaje ze všech teplotních senzorů, které má řídicí jednotka k dispozici. Údaje jsou zobrazeny na přehledné ilustraci s vyznačením komponent, jejichž teplota je měřena.



Obrázek 59 - Obrazovka teplot

4.3.6 Jízdní statistiky

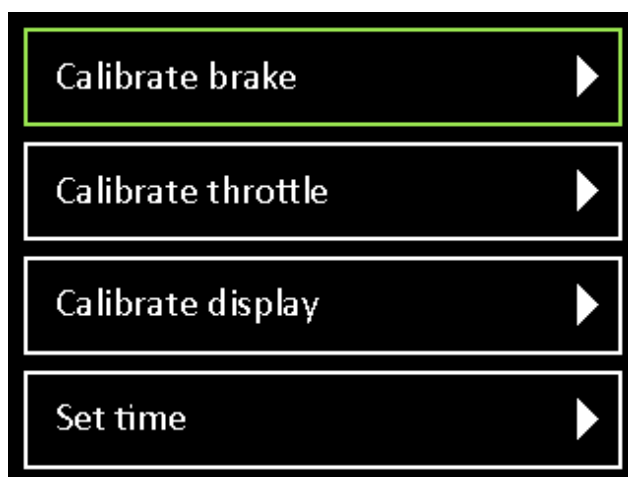
Řídící jednotka ukládá informace o ujetých vzdálenostech nejen celkově, ale i ve dvou resetovatelných úsecích A a B. Na obrazovce jízdních statistik je k dispozici vzdálenost a nejvyšší dosažená rychlost. Také jsou k dispozici časy akcelerace, které jsou resetovatelné.

Ride statistics			
	Trip A	Trip B	Total
Distance	520 m	4.21 km	5840.16 km
Max speed	20.12 km/h	42.16 km/h	54.54 km/h
0-5	1.23 s	0-40	0.00 s
0-10	12.34 s	0-45	0.00 s
0-15	123.45 s	0-50	0.00 s
0-20	123.45 s	0-55	0.00 s
0-25	123.45 s	0-60	0.00 s
0-30	123.45 s	0-65	0.00 s
0-35	123.45 s	0-70	0.00 s
Reset A		Reset B	Reset acceleration

Obrázek 60 - Obrazovka jízdních statistik

4.3.7 Nastavení

K přístupu do nastavení je určeno jednoduché menu s různými možnostmi, jako například kalibrace brzd, pedálu plynu nebo displeje.



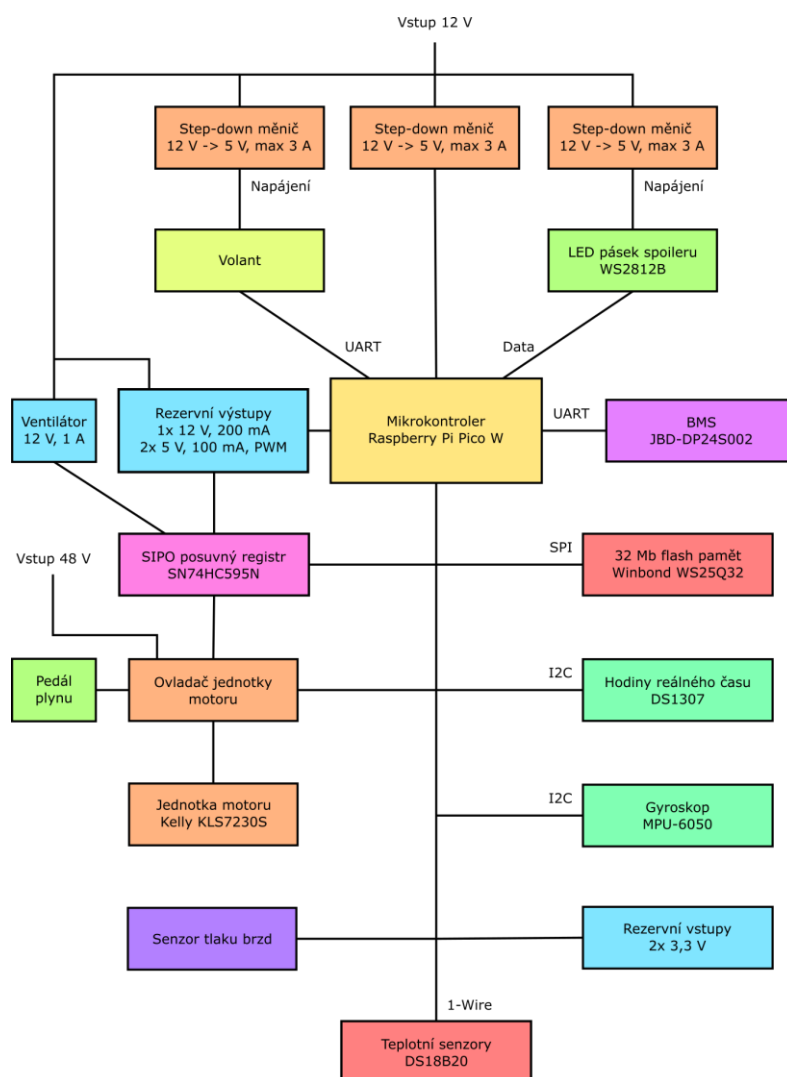
Obrázek 61 - Obrazovka nastavení

5 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je „srdcem“ celého systému. Jedná se o krabičku, která je umístěna v motorovém prostoru formule a slouží jako prostředník mezi volantem/aplikací a jednotlivými elektronickými komponentami formule.

5.1 Elektronika

Všechny komponenty jsou svedeny do jednoho mikroprocesoru Raspberry Pi Pico W, některé přes jednoduché digitální či analogové signály, jiné přes sběrnice 1-Wire, UART, I2C nebo SPI.



Obrázek 62 - Blokové schéma elektroniky řídicí jednotky

5.1.1 Napájení

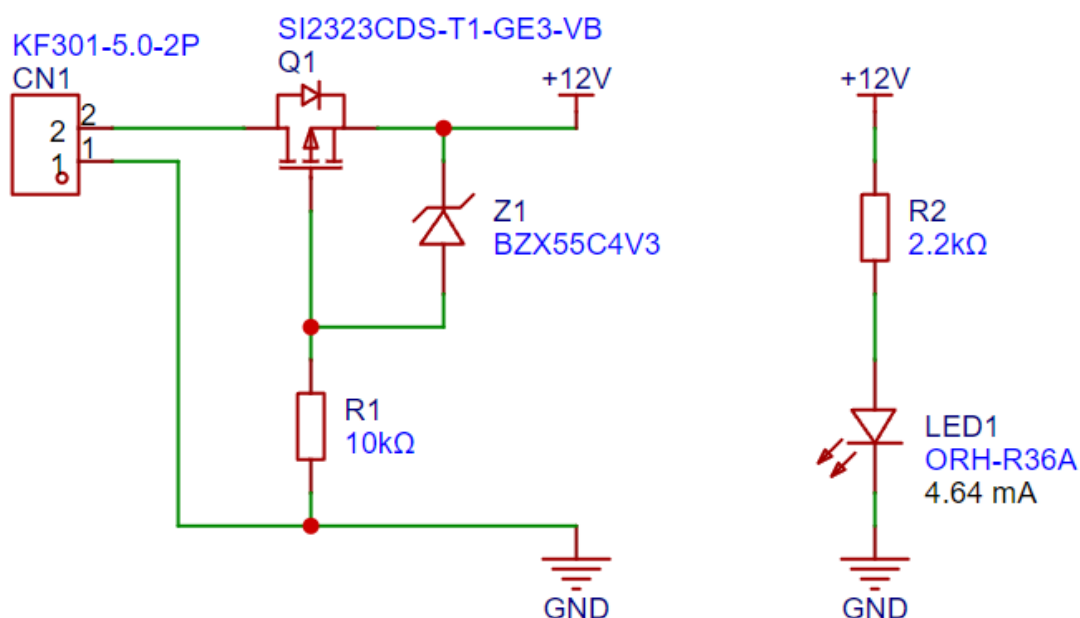
Na formuli je k dispozici 12 V zdroj, který je využit pro napájení řídicí jednotky. Hned první částí obvodu je ochrana proti přepólování. Na rozdíl od volantu je zde ochrana realizována pomocí MOSFET tranzistoru typu P.

Pokud je polarita napětí správná, dioda uvnitř tranzistoru je v propustném směru a napětí V_{GS} díky zenerově diodě dosáhne -4,3 V, je tak menší než prahové napětí $V_{GS(th)}$ (v tomto případě -2 V) a MOSFET vede. [14]

Pokud je polarita napětí opačná, napětí V_{GS} je větší než prahové napětí, čímž se MOSFET dostává do stavu, kdy nevede.

Důležité je zmínit, že samotnou 12 V větev není potřeba chránit proti přetížení či zkratu uvnitř řídicí jednotky, protože je zapojena do pojistkové skříně, nikoliv přímo do regulátoru napětí, který převádí napětí baterií ve formuli na 12 V.

V blízkosti napájecí svorkovnice se nachází také LED pro indikaci zapnutí.



Obrázek 63 - Zapojení ochrany proti přepólování a LED indikátoru napájení

Protože naprostá většina komponent vyžaduje napájení 5 V nebo 3,3 V, jsou pro převod použity step-down měniče. Napájení bylo rozděleno do tří větví:

- 5V – slouží pro napájení celé řídicí jednotky, včetně rezervních výstupů
- 5V_STEERING_WHEEL – určené pro napájení volantů
- 5V_SPOILER – napájení pro LED pásek na spoileru

Každá z těchto větví používá samostatný step-down měnič, schopný trvale dodávat výstupní proud až 3 A. [15] Protože například samotný LED pásek může při plném výkonu odebírat více než 2,5 A, jeví se rozdělení jako ideální řešení.

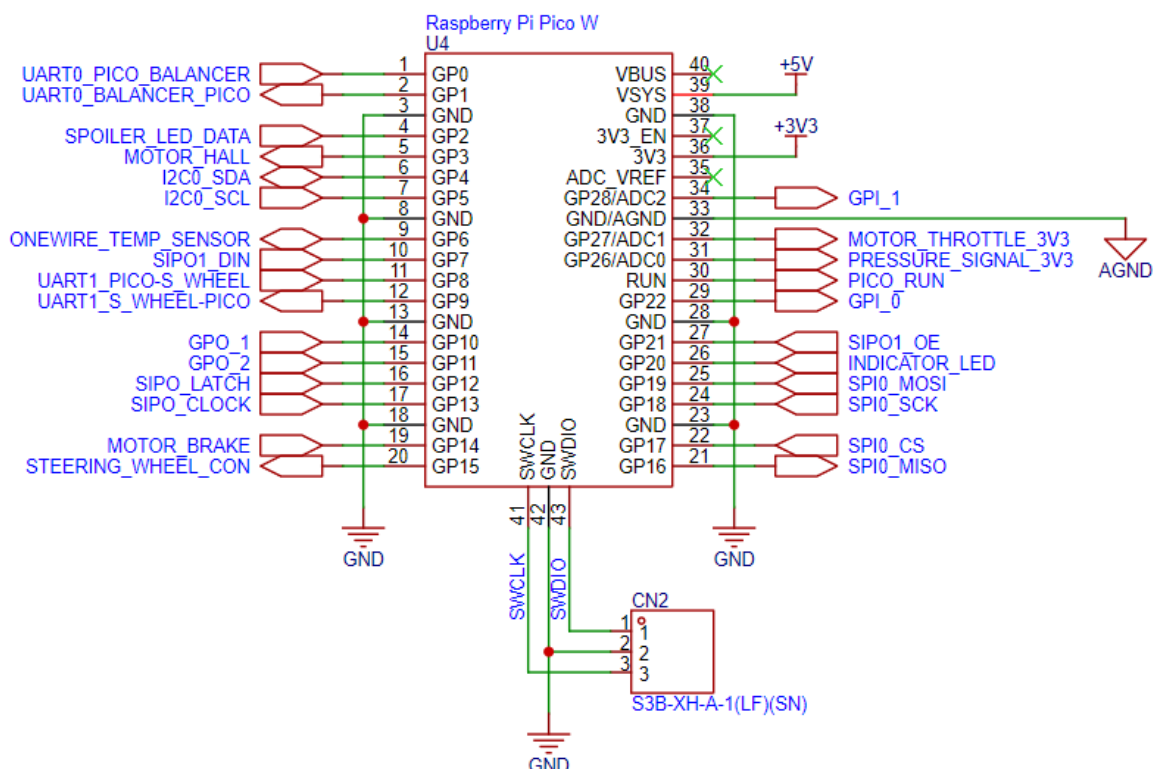


Obrázek 64 - Použitý step-down měnič. Mikro step-down měnič, nastavitelný. Online. In: Láskakit. C2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/mikro-step-down-menic--nastavitelny/>. [cit. 2025-03-23].

Pro komponenty, které jsou napájeny 3,3 V je využit step-down měnič integrovaný uvnitř mikrokontroleru Raspberry Pi Pico W, který je pro účely řídicí jednotky dostatečně výkonný.

5.1.2 Raspberry Pi Pico W

Stejně jako u volantu byl pro ovládání řídicí jednotky zvolen mikrokontroler Raspberry Pi Pico W. Bluetooth a Wi-Fi konektivita je u řídicí jednotky využita nejen pro OTA aktualizace, ale také pro připojení k mobilní aplikaci.



Obrázek 65 - Zapojení mikrokontroleru v řídicí jednotce

5.1.3 Komunikace s volantem

Pro komunikaci s volantem je využito jedno ze dvou hardwarových UART rozhraní dostupných na mikrokontroleru.

Pro detekci připojeného volantu je využit další pin spolu s externím pull up rezistorem.

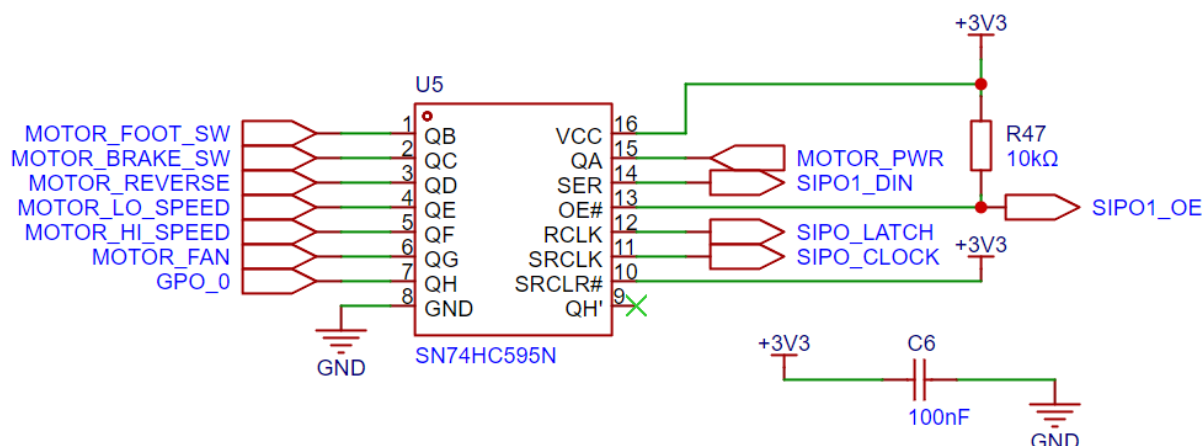
5.1.4 Komunikace s jednotkou motoru

Pro řízení běhu motoru se v elektroformuli používá jednotka **KLS7230S** od společnosti Kelly Controls.

Pro komunikaci s jednotkou jsou určeny dva konektory s dohromady 13 piny: [16]

- Konektor 1
 - **Zpátečka** – Slouží k přepínání směru motoru. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **Země**
 - **Vysoká rychlost** – přepínání na vysokou rychlost. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **12 V** – Výstup napětí z jednotky motoru, zatížitelný maximálně 40 mA.
 - **Spínač brzdy** – Sepnutím dojde k zapnutí maximálního brždění motorem. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **Nízká rychlost** – Přepínání na nízkou rychlost. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **Spínač napájení** – Sepnutím s napětím baterií dojde k zapnutí jednotky motoru.
- Konektor 2
 - **Spínač pedálu plynu** – Jednotka reaguje na pedál plynu pouze pokud je tento vstup sepnutý. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **Pedál plynu** – Analogový vstup pro pedál plynu. Rozsah je 0-5 V.
 - **Země**
 - **Hallův senzor** – Výstup pro výpočet počtu otáček motoru. Rozsah je 0 nebo 12 V.
 - **5 V** – Výstup napětí z jednotky motoru, zatížitelný maximálně 40 mA.
 - **Pedál brzdy** – Analogový vstup pro brždění motorem. Rozsah je 0-5 V.

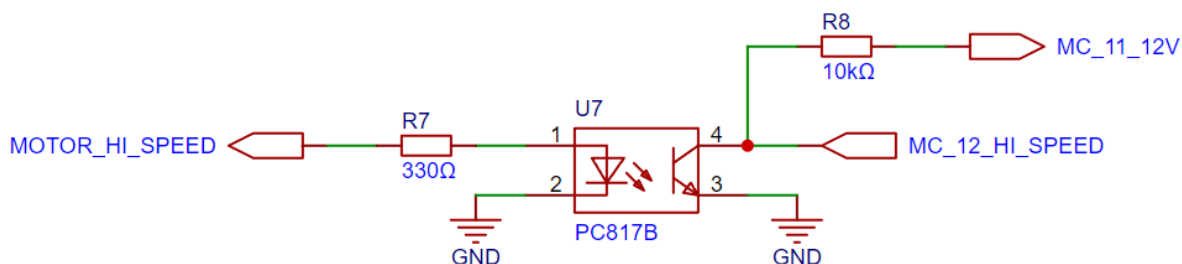
Pro snížení počtu pinů potřebných pro komunikaci s řídicí jednotkou byla zvolena možnost řízení digitálních vstupů pomocí **SIPO** posuvného registru **SN74HC595N**.



Obrázek 66 - Zapojení SIPO posuvného registru pro ovládání digitálních vstupů jednotky motoru

Pomocí čtyř pinů mikrokontroleru tedy lze ovládat šest digitálních vstupů jednotky motoru. Zbývající dva výstupy posuvného registru jsou použity pro ovládání výstupu pro ventilátor a 12 V rezervního výstupu.

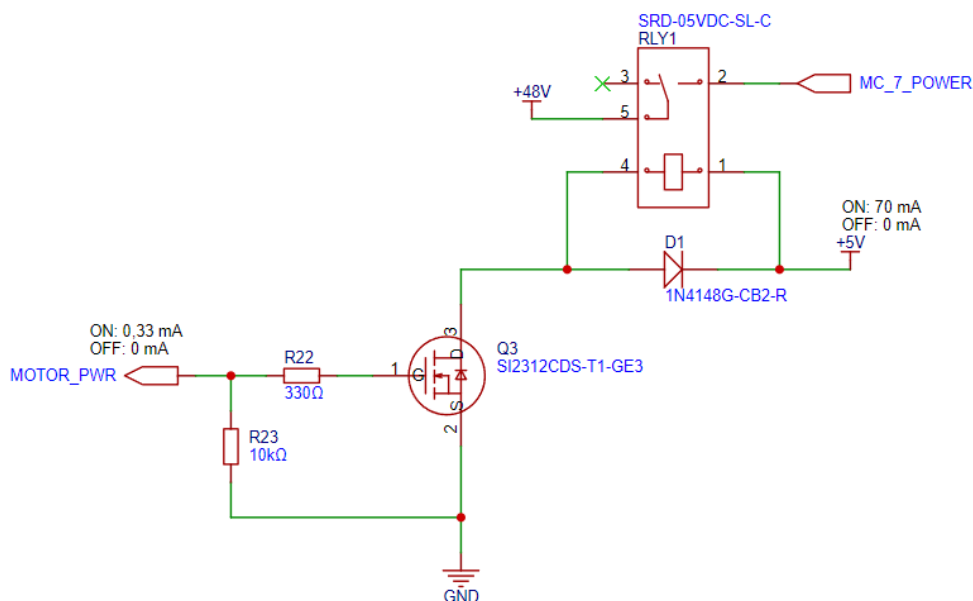
Protože výstupní napětí posuvného registru je pouze 3,3 V a vstupy jednotky by měly být spínány s 12 V, je pro každý vstup použit optočlen **PC817B**.



Obrázek 67 - Zapojení jednoho z digitálních vstupů jednotky motoru pomocí optočlenu

Pomocí tohoto zapojení s pull up rezistorem jsou vstupy ovládány napětím pocházejícím z jednotky motoru, tak jak je doporučeno výrobcem. [16] Signál je kvůli tomuto zapojení invertován, to lze ovšem jednoduše vyřešit ve firmwaru.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99



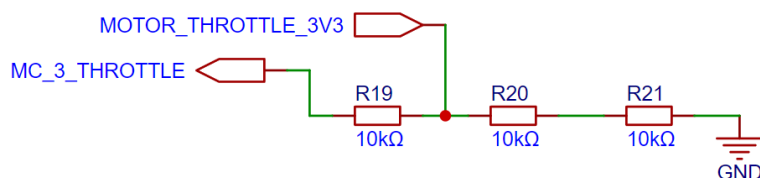
Obrázek 68 - Zapojení relé pro zapnutí jednotky motoru

Pro spínání relé, které v sepnutém stavu odebírá proud cca. 70 mA a vyžaduje napětí 5 V je použit MOSFET typu N, konkrétně **SI2312CDS-T1-GE3** od společnosti VBsemi. Toto zapojení dovolu je spínat proudově náročné relé pomocí výstupu z posuvného registru, jehož jeden pin by neměl být zatížen více než cca. 7 mA. [17] Důležité je zapojit diodu v závěrném směru paralelně s cívkou relé, aby bylo zamezeno poškození komponent při vypnutí relé.



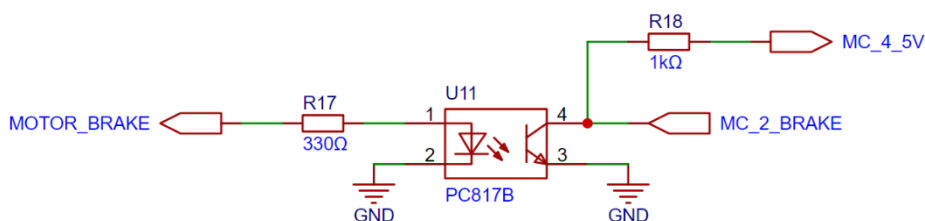
Obrázek 69 - Jednotka motoru Kelly KLS7230S. Kelly KLS7230S,24V-72V,300A, Sine Wave Brushless Motor Controller. Online. In: EV Components Store. C2025. Dostupné z: <https://www.evcomponents.com/kls7230s-300a-72v-sine-wave-brushless-controller.html>. [cit. 2025-03-23].

Signál pedálu plynu řídící jednotka z bezpečnostních důvodu přímo neovládá, pouze čte jeho napětí, které vychází z pedálu plynu umístěného ve formuli. Jelikož je signál v rozsahu 0-5 V a analogové převodníky v mikrokontroleru pracují pouze v rozsahu 0-3,3 V, je signál upraven jednoduchým děličem napětí a následně čten jedním ze tří dostupných převodníků.



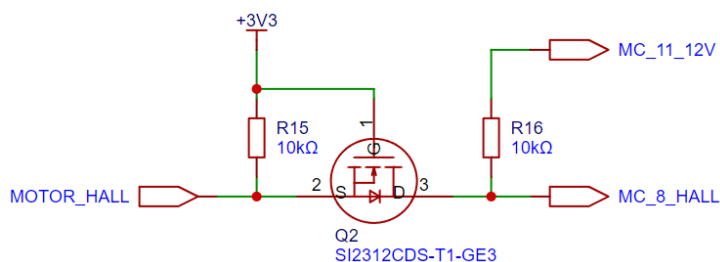
Obrázek 70 - Čtení napětí pedálu plynu pomocí děliče napětí

Pro ovládání analogového vstupu brzdy je použito podobné zapojení s optočlenem jako pro digitální vstupy, ovšem s rozdílným pull up rezistorem. Místo 10 kΩ je zde použit rezistor hodnoty 1 kΩ. Menší odpor umožňuje vznik rychlejší náběžné hrany signálu vhodné pro PWM výstup s frekvencí 1 kHz. Pull up rezistor je připojen k 5 V zdroji jednotky motoru.



Obrázek 71 - Zapojení pro ovládání analogového vstupu brzdy

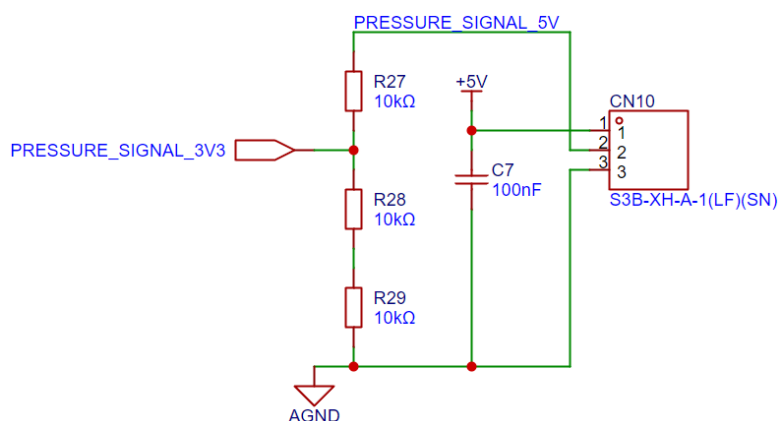
Posledním signálem je výstup z jednotky motoru pro čtení stavu hallových senzorů. Tento výstup kopíruje stav všech tří hallových senzorů, které jsou umístěny uvnitř motoru. Signál je převeden na 3,3 V pomocí MOSFET tranzistoru typu N.



Obrázek 72 - Zapojení pro čtení stavu hallových senzorů

5.1.5 Senzor tlaku brzd

Měření tlaku v brzdovém systému je řešeno tlakovým senzorem s rozsahem 0-1,2 MPa. Výstup z tohoto senzoru je v podobě analogového napětí 0-5 V. Stejně jako u pedálu plynu je toto napětí převedeno na 0-3,3 V pomocí děliče napětí a poté čteno jedním z analogových převodníků.



Obrázek 73 - Zapojení tlakového senzoru



Obrázek 74 - Tlakový senzor s rozsahem 0-1,2 MPa. Tlakový senzor 0-1,2MPa, závit G1/4. Online. In: Hadex. C2011-2025. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/m553a-tlakovy-senzor-0-12mpa-zavit-g14/>. [cit. 2025-03-23].

5.1.6 Komunikace s BMS

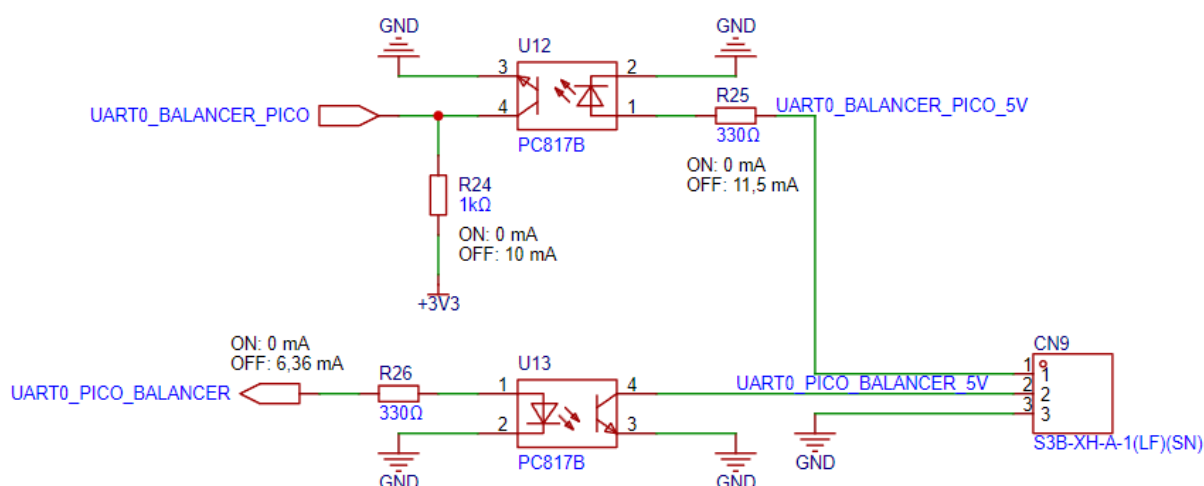
BMS (Battery management system, balancer) je zařízení, které se stará o stav akumulátoru ve formuli. V první řadě akumulátor chrání proti přebíjení, podbíjení, zkratu i přehřátí. Dále aktivně balancuje jednotlivé články, hlídá jednotlivá napětí a monitoruje celkový stav. Slouží také k odhadu stavu nabití akumulátoru. Použití článků bez BMS by bylo velice nebezpečné. [18]

Jedním z cílů řídicí jednotky je s BMS komunikovat, a číst tak data o akumulátoru. K tomu na BMS **JBD-DP24S002** slouží komunikační UART konektor. Na konektoru jsou k dispozici 3 piny:

- TX
- RX
- GND

Připojení datových linek a převod logických úrovní mezi 3,3 V (strana řídicí jednotky) a 5 V (strana BMS) je realizováno pomocí optočlenů. V tomto případě je naprosto zásadní galvanicky oddělit řídicí jednotky a BMS, protože ve stavu, kdy je výstup BMS vypnut, vzniká mezi zeměmi napětí.

Obvod invertuje logické signály, což lze jednoduše vyřešit ve firmwaru.

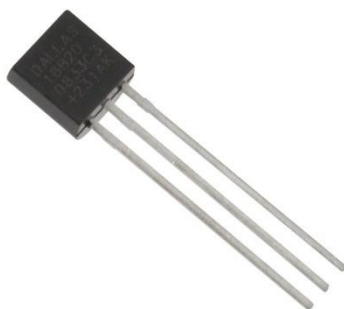


Obrázek 75 - Zapojení galvanicky odděleného převodníku napětí pro komunikaci s BMS

5.1.7 Teplotní senzory

Pro měření teplot v různých částech formule byly využity digitální teplotní senzory DS18B20 od společnosti Dallas. Každý senzor má 3 piny, **VCC**, **data**, a **GND**. Se senzory se komunikuje pomocí sběrnice 1-Wire, která umožňuje pomocí jednoho vodiče komunikovat s teoreticky neomezeným počtem zařízení.

Mezi datovým vodičem a napájecí větví 3,3 V je třeba umístit 4,7 k Ω pull up rezistor.



Obrázek 76 - Teplotní senzor DS18B20. Digitální teplotní senzor DALLAS - DS18B20. Online. In: Drátek.cz. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1187-teplotni-senzor-digitalni-dallas-ds18b20.html>. [cit. 2025-03-23].

Jeden ze senzorů je umístěn přímo uvnitř řídicí jednotky, další jsou umístěny na těchto místech:

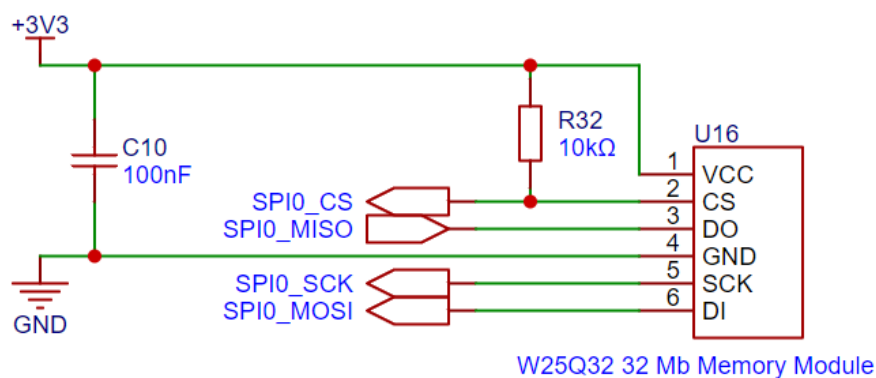
- Jednotka motoru
- Motor
- Brzda
- Senzor pro teplotu okolí

Pro připojení senzorů k řídicí jednotce jsou vyhrazeny dva konektory, čímž je umožněno případné přidání dalších senzorů.

Mimo tyto senzory je k dispozici také údaje ze tři teplotních senzorů, které hlásí BMS.

5.1.8 Flash paměť

K trvalému ukládání dat slouží 32 Mb flash paměť **Winbond W25Q32**. Paměť je umístěna na samostatném modulu a komunikuje se s ní pomocí sběrnice **SPI**. Zapojení paměti je jednoduché, pro stabilizaci napájení je použit 100 nF blokový kondenzátor a na pinu CS se nachází pull up rezistor pro zajištění správného stavu při startu jednotky.



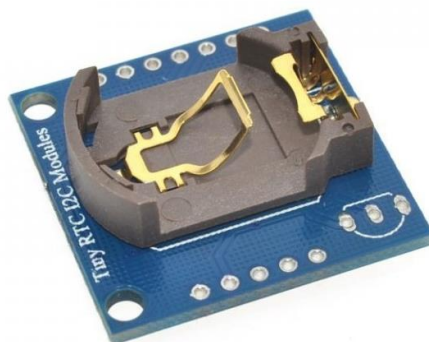
Obrázek 77 - Zapojení flash paměti



Obrázek 78 - Modul flash paměti. Winbond W25Q32 Flash 32Mb SPI Modul. Online. In: Láskakit. C2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/winbond-w25q32-flash-32mb-spi-modul/>. [cit. 2025-03-23].

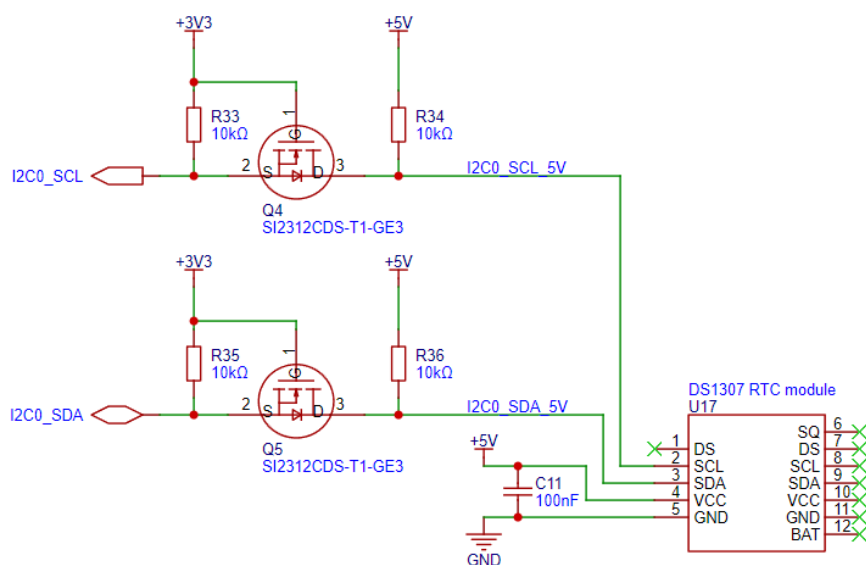
5.1.9 Hodiny reálného času

Hodiny reálného času slouží, jak název napovídá, k držení správného času i ve stavu, kdy řídicí jednotka není napájena. Použitý modul je založen na čipu **DS1307** a je napájen akumulátorem LIR2032. Komunikace s hodinami probíhá přes sběrnici **I²C**. Na modulu se zároveň nachází 32 kb EEPROM čip AT24C32, ten ovšem řídicí jednotka nepoužívá.



Obrázek 79 - RTC modul. Mini RTC Hodiny reálného času DS1307. Online. In: LáskaKit. C2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-mini-rtc-hodiny-realneho-casu-ds1307/>. [cit. 2025-03-23].

Modul je napájen a komunikuje na úrovni 5 V, pro komunikaci s mikrokontrolerem je tedy třeba napětí převést. K tomu slouží obvod logických převodníků, tvořený MOSFET tranzistory typu N a pull up rezistory. Pokud jakákoliv strana převodníku sepne signál k zemi, změna se projeví i na druhé straně.

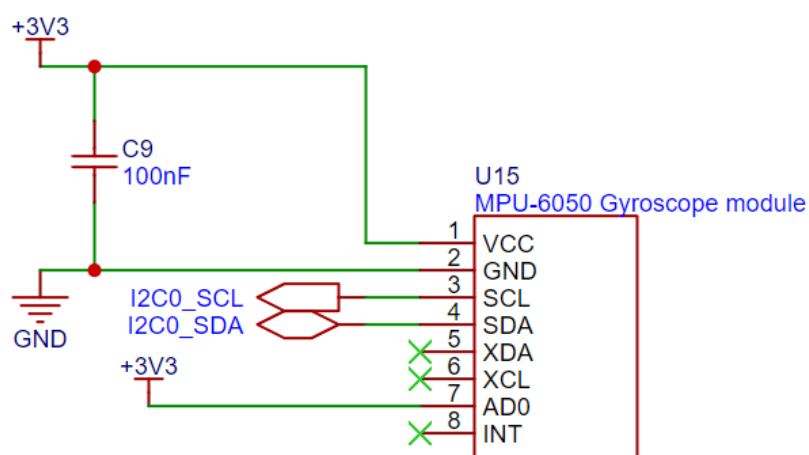


Obrázek 80 - Zapojení RTC modulu

5.1.10 Gyroskop a akcelerometr

Pro snímání dat o pohybu je použit modul gyroskopu a akcelerometru s čipem **MPU-6050**. Modul komunikuje pomocí sběrnice I²C na napětí 3,3 V.

Pro připojení k mikrokontroleru je stačí připojit linky SDA a SCL, modul je poté na stejné sběrnici jako hodnoty reálného času. Pro změnu adresy je třeba spojit pin AD0 s napájecím napětím, v opačném případě by modul byl v konfliktu s hodinami.



Obrázek 81 - Zapojení akcelerometru a gyroskopu

5.1.11 LED pásek na spoileru

Adresovatelný pásek použitý na spoileru využívá LED s čipem **WS2812B**. Ovládání tohoto čipu je z hlediska zapojení velmi jednoduché, stačí připojit pin DIN k libovolnému pinu na mikrokontroleru.

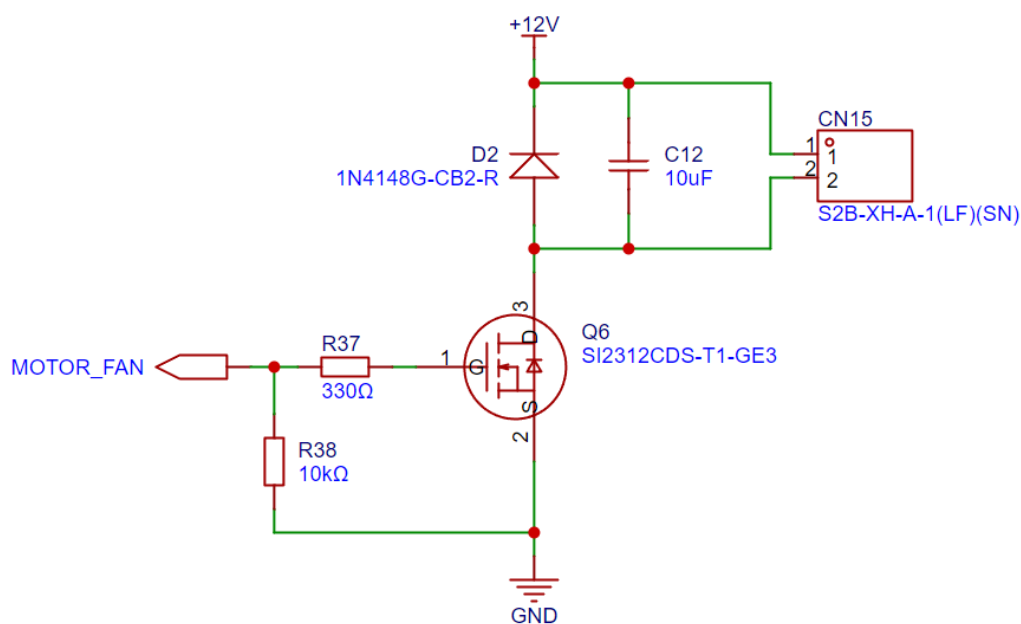
Napájení pásku probíhá z jeho vlastní napájecí větve 5 V. Protože výrobce udává výkon až 18 W/m, je důležité dodržet šířku cesty na plošném spoji, který s délkou 0,7 m může dosáhnout až 2,52 A. [19]

5.1.12 Ventilátor, rezervní vstupy a výstupy

Po návrhu zapojení všech komponent na mikrokontroleru zůstalo celkem 6 nevyužitých vstupů nebo výstupů. Z nich byly připraveny **dva 12 V výstupy**, **dva 5 V výstupy** a **dva 3,3 V vstupy/výstupy**.

12 V výstupy jsou řízeny z výstupů posuvného registru, z toho důvodu u nich lze nastavovat pouze stavy zapnuto/vypnuto. 5 V výstupy jsou řízeny přímo z pinů mikrokontroleru a lze u nich tak využít PWM.

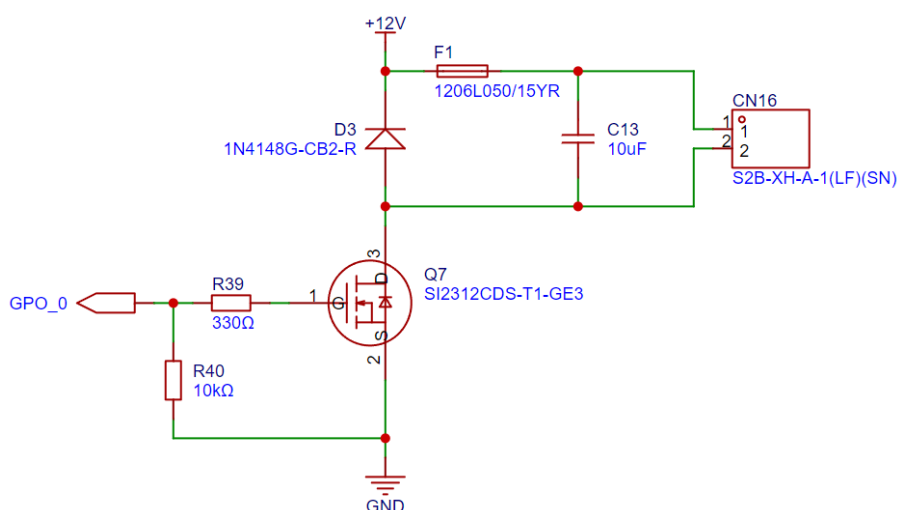
Jeden z 12 V výstupů je využit pro ventilátor jednotky motoru, která se při jízdě velmi zahřívá. Tento výstup je zatížitelný až 1 A a je spínaný pomocí MOSFET tranzistoru typu N. Je tedy možné ventilátor vypnout/zapnout.



Obrázek 82 - Zapojení výstupu pro ventilátor jednotky motoru

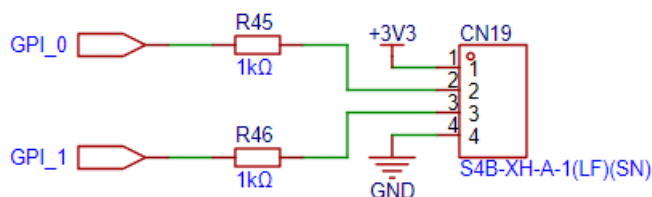
Zbylé 12 V a 5 V výstupy se od sebe liší pouze napětím, maximálním doporučeným proudem a možností využívat PWM. Každý výstup je ovládán MOSFET tranzistorem typu N. Protože jsou tyto výstupy zamýšleny primárně pro ovládání relé, je v nich zabudována tzv. flyback dioda pro ochranu řídících obvodů před napěťovou špičkou při odpojení relé.

12 V výstup je doporučeno zatížit maximálně 200 mA, 5 V výstupy maximálně 100 mA. Doporučená hodnota je samozřejmě určena s velkou rezervou, výstupy jsou proto jištěny vratnými pojistkami s maximálním trvalým proudem až 500 mA. Při jakémkoliv přetížení nebo zkratu těchto výstupů by tedy nemělo dojít k zahřívání nebo poškození řídící jednotky.



Obrázek 83 - Zapojení jednoho z rezervních výstupů

Poslední dva piny jsou určeny primárně jako digitální vstupy, pro ochranu pinů mikrokontroleru jsou v řadě zapojeny 1 kΩ rezistory. Na pinu GPI_1 je k dispozici analogový převodník. Oba piny lze využít také jako digitální či PWM výstupy, stále ovšem s rezistory v řadě.



Obrázek 84 - Zapojení rezervních vstupů

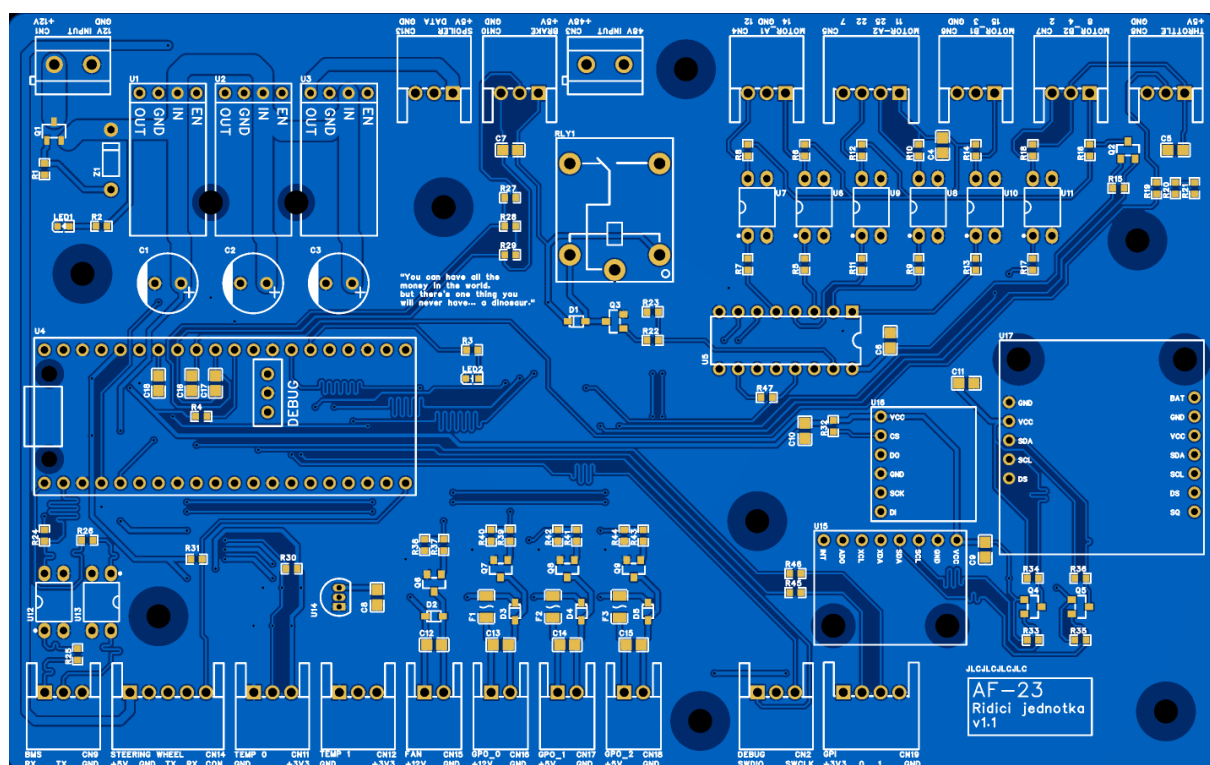
5.1.13 Plošný spoj

Pro řídicí jednotku byl též vytvořen vlastní plošný spoj, na kterém jsou umístěny všechny součástky. Na dvouvrstvě plošném spoji jsou opět dodrženy dostatečné šířky cest pro silové obvody a obvody komunikačních rozhraní jsou navrženy se stejnou délkou cest.

Pro uchycení samotného plošného spoje slouží 8 děr s průměrem 3 mm. Další otvory slouží pro umístění podložek některých komponent, jako například step-down měničů, které jsou osazeny mimo samotný plošný spoj a mohl by u nich vzniknout problém kvůli vibracím. Kolem všech děr je dodržena volná zóna bez jakékoliv mědi.

Připojení ke zdrojům 12 V a 48 V je vyřešeno pomocí svorkovnic **KF301-5.0-2P**, které jsou vhodné pro vyšší proudová zatížení. Pro ostatní připojení jsou využity 2-5pinové konektory z řady **JST-XH**.

Mikrokontroler Raspberry Pi Pico W je umístěn na dutinkových lištách a zajištěn dvěma šrouby M2. Tím je umožněno jeho vyjmutí bez nutnosti pájení, ale zároveň je zamezeno jeho vypadnutí.

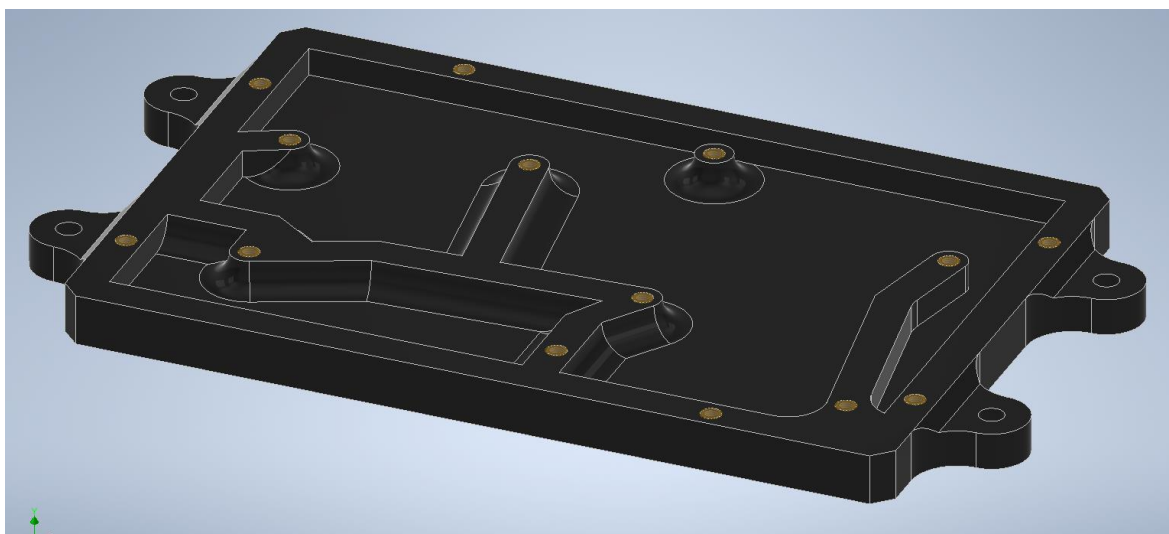


Obrázek 85 - Vrchní strana plošného spoje řídicí jednotky

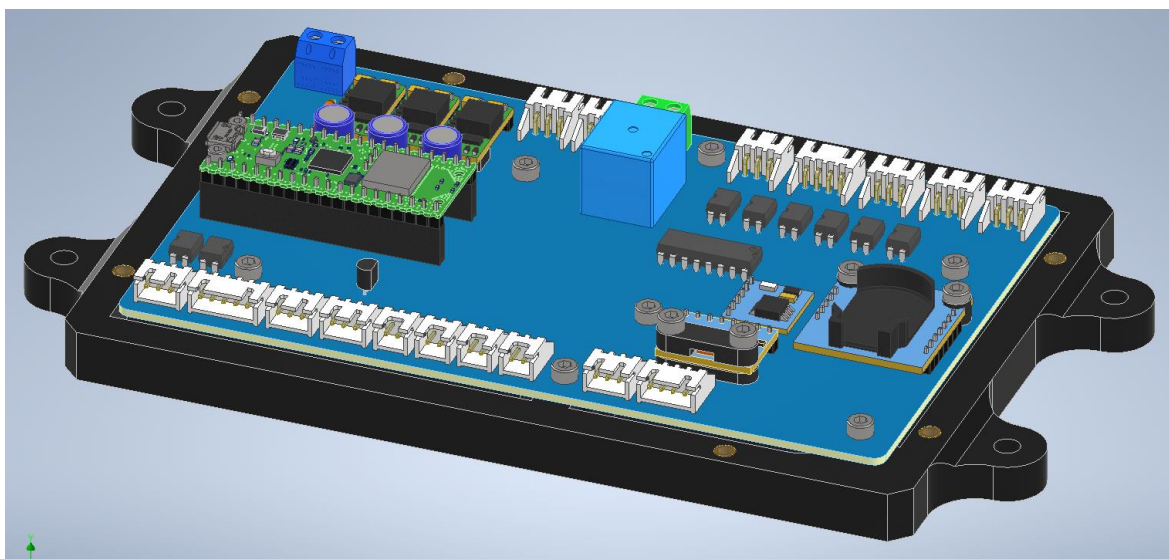
5.2 Pouzdro

Pouzdro řídicí jednotky je velmi jednoduché, je složené ze dvou plastových částí vyrobených na 3D tiskárně.

Spodní část pouzdra obsahuje 8 vyvýšených závitových vložek pro upevnění plošného spoje. Pod plošným spojem tak vzniká dostatek místo pro nohy všech průchozích součástek. Po okrajích je umístěno 6 závitových vložek pro uchycení vrchní části pouzdra. Pro upevnění k desce s elektronikou jsou určeny čtyři otvory pro šrouby na stranách.

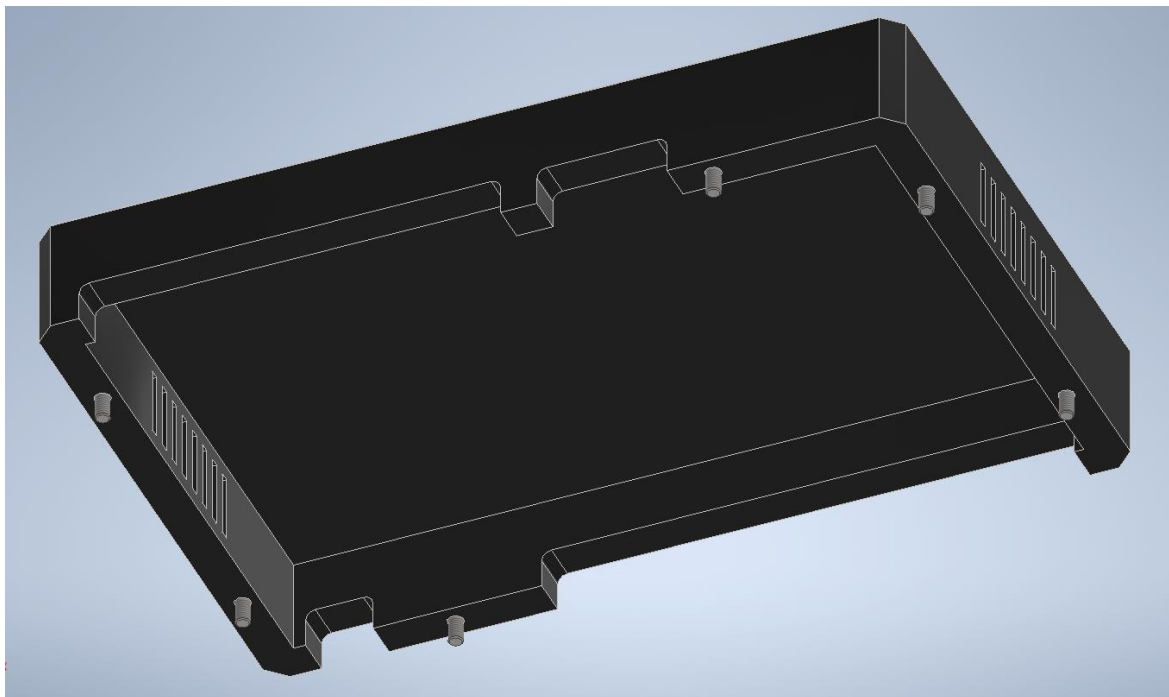


Obrázek 86 - Spodní část pouzdra řídicí jednotky

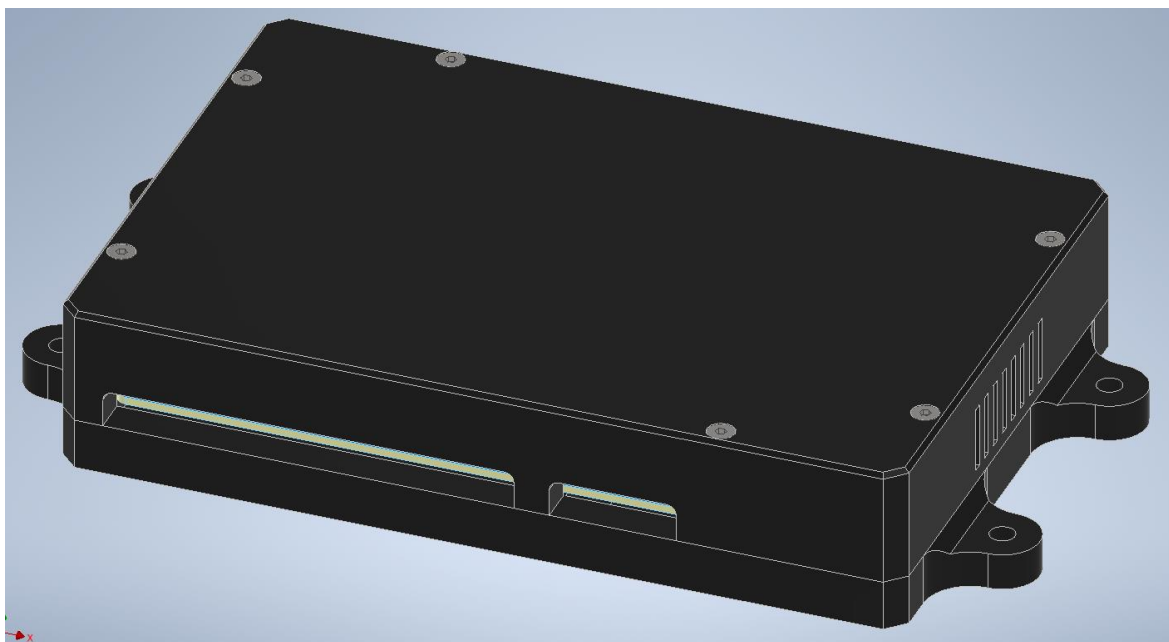


Obrázek 87 - Pouzdro řídicí jednotky s plošným spojem

Víko pouzdra obsahuje otvory pro vodiče připojených konektorů, tvar otvorů ovšem zamezuje vypojení konektorů, pokud je víko přišroubované.



Obrázek 88 - Víko pouzdra řídicí jednotky

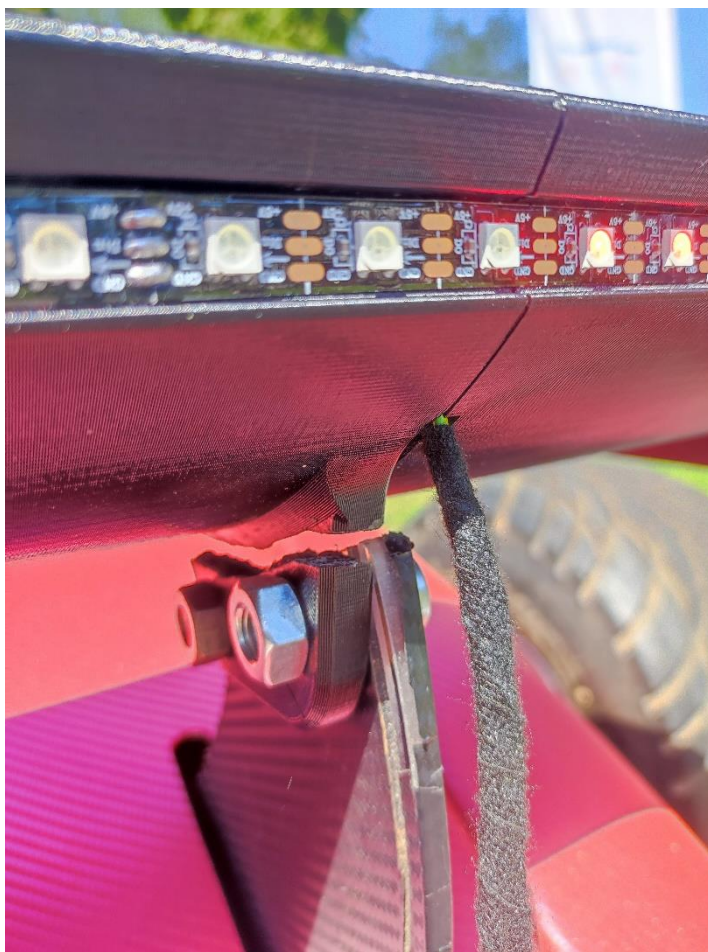


Obrázek 89 - Zapouzdrěná řídicí jednotka

6 Spoiler

Přepracovaný návrh spoileru je inspirován původním designem, je ale výrazně zpevněn, čímž je napraveno praskání způsobené silnými vibracemi, které postihovalo původní spoiler.

V nové verzi byly plastové části spoileru zesíleny, byly přidány další kovové výztuhy a také adresovatelný LED pásek.



Obrázek 90 - Rozbitý spoiler

Křídlo spoileru je složeno ze čtyř velkých částí, které jsou ze stran zakryty bočnicemi. Všechny části spojují tři hliníkové výztuhy s vnějším průměrem 8 mm, které jsou na koncích opatřeny závity pro zašroubování špuntů. Pro provedení vodičů z LED pásku je k dispozici kanál uvnitř spoileru. Celková šířka spoileru je **720 mm**.

Protože ani zesílení plastových částí problém praskání zcela nenapravilo, byly vyřezány dvě nerezové výztuhy, které spoiler zpevňují v místě šroubových spojů.



Obrázek 91 - CAD model nového spoileru

Pro indikaci brždění, odbočování a další světelné efekty byl na spoiler přidán adresovatelný LED pásek se 42 LED. Pásek je založený na LED s čipem **WS2812B** a u každé LED lze jednotlivě nastavit barva a jas.

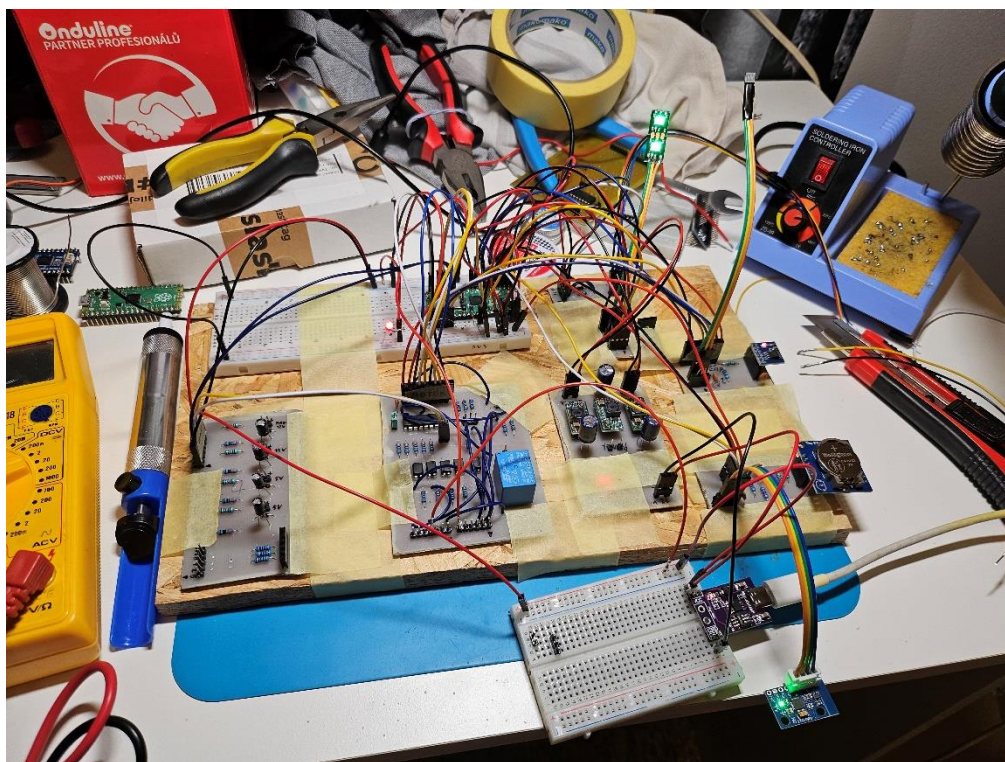
7 Výroba a osazení plošných spojů

7.1 Návrh a testování zapojení

Prvním krokem výroby plošných spojů byl návrh zapojení. Po návrh zapojení bylo nutné je řádně otestovat. Pro volant bylo testování jednoduché, jednotlivé části obvodů (například řízení LED posuvnými registry) byly testovány na nepájivých polích a v případě potřeby upraveny.

Návrh obvodů řídicí jednotky byl ovšem složitější záležitostí. Jednoduché obvody byly opět zapojeny nejprve na nepájivých polích, pro rozsáhlejší testování tento postup ovšem nebyl vyhovující. Bylo proto ručně vyrobeno **7 plošných spojů**, každý z nich sloužil k testování určité části funkcí řídicí jednotky. Tato metoda umožnila levnější a rychlejší výrobu plošných spojů pro prototypování oproti profesionální výrobě.

Po výrobě a osazení všech plošných spojů byly připojeny k mikrokontroleru a prototyp byl připraven k testování.



Obrázek 92 - Prototyp řídicí jednotky

7.2 Testovací software

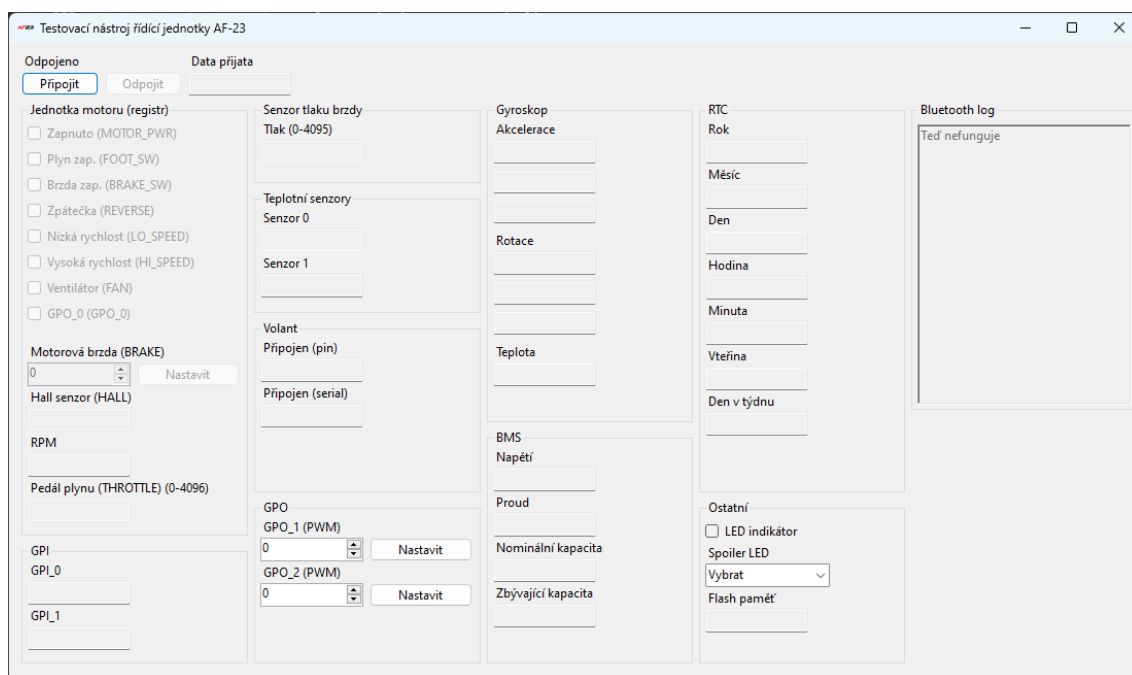
Pro otestování jednotlivých funkcí volantu byl vytvořen jednoduchý firmware, který rozsvítí displej, stav tlačítek a enkodéru odesílá přes USB sériovou linku do počítače a podle rotace enkodéru postupně rozsvěcuje jednotlivé LED. Tento firmware sloužil k otestování jednotlivých obvodů volantu a poté i k ověření funkčnosti finálního spoje.



Obrázek 93 - Prototyp volantu s testovacím firmwarem

Testování funkcí řídicí jednotky bylo opět složitější. Proto byl vytvořen testovací firmware s ovladači jednotlivých obvodů jednotky. Tento firmware využívá Bluetooth pro komunikaci s počítačem a odesílá do něj hodnoty ze všech senzorů, které má řídicí jednotka k dispozici. Zároveň reaguje na příkazy z počítače a ovládá všechny funkce.

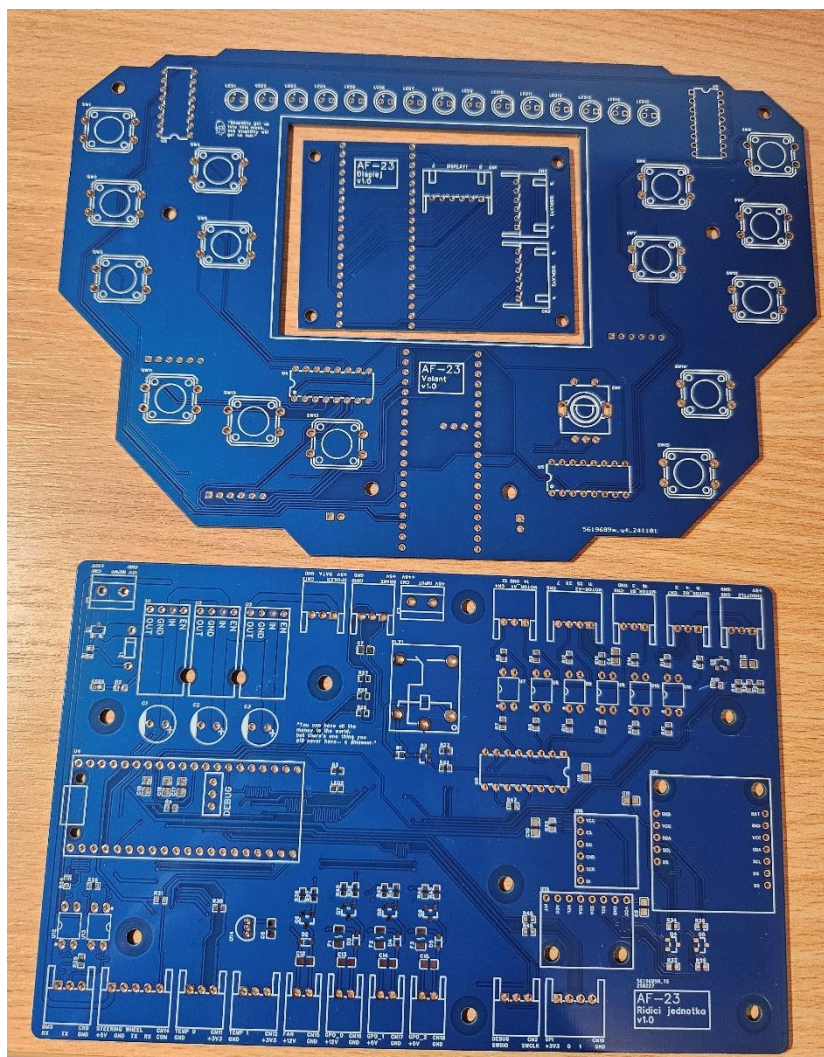
Pro komunikaci s tímto testovacím firmwarem byl vytvořen program pomocí jazyka C# a knihovny Windows Forms.



Obrázek 94 - Testovací nástroj řídicí jednotky

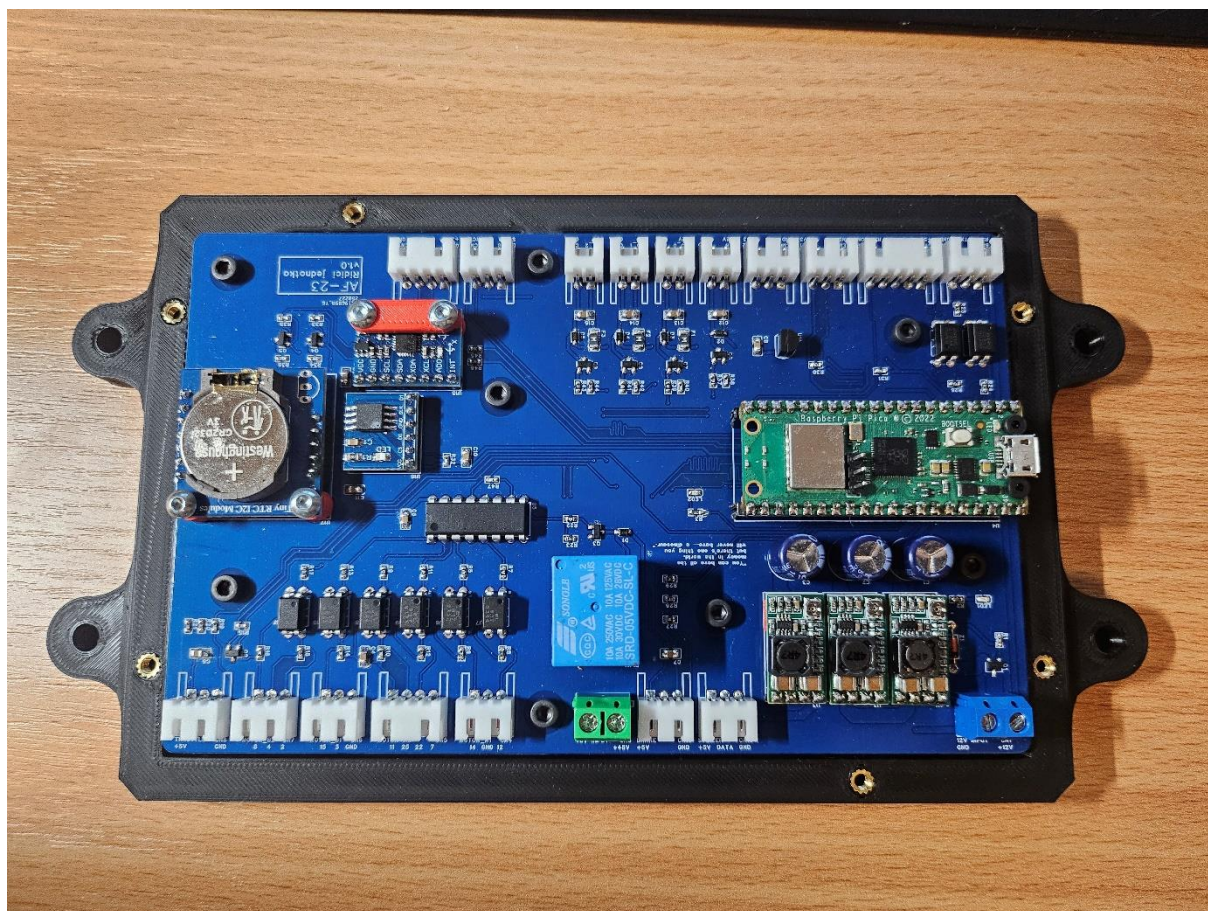
8.3 Výroba finálních plošných spojů

Po ověření všech zapojení byla navržena rozložení finálních plošných spojů. Ve vrstvě popisků byly jasné popsány všechny komponenty a piny konektorů. Po exportu dat z EasyEda do formátu gerber byly plošné spoje poslány do výroby společnosti JLCPCB.



Obrázek 95 - Vyrobené plošné spoje

Při osazování plošných spojů je vhodné začít osazením všech SMD součástek. Proces je jednodušší díky možnosti položení spoje na rovný povrch, což po osazení průchozích součástí není jednoduše možné. Pro jednodušší pájení je používána pájecí pasta, která zlepšuje vlastnosti cínu a ulehčuje práci.

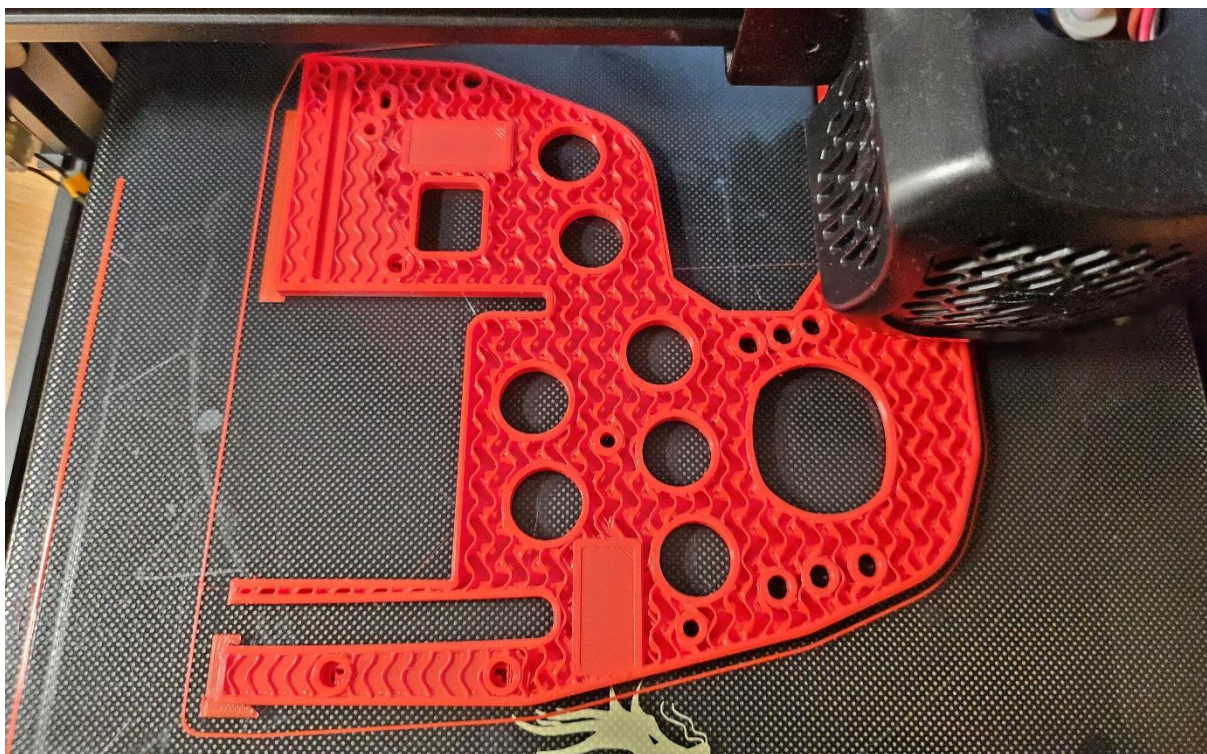


Obrázek 96 - Osazený plošný spoj řídicí jednotky

8 Výroba a sestavení tištěných součástí

8.1 Volant

Prvním krokem výroby volantu bylo vytisknutí všech jeho plastových částí. Volant se skládá pouze z devíti dílů, ne každý díl byl ale správně navrhnout na první pokus. Pro tisk dílu byla využita 3D tiskárny Creality Ender 3 V2 a Bambulab H2D. Pro finální výtisky byl zvolen materiál PETG.



Obrázek 97 - Výztuha volantu při tisku

Po vytisknutí a odstranění podpěr ze všech dílů do nich byly vloženy závitové vložky. Vložky jsou do plastových dílů natavovány pomocí hrotu pájecí stanice, která nahřeje plast v okolí. V dílu se tak vytvoří pevný a přesný závit.

Pro složení volantu byl použit tento spojovací materiál:

- 4x šroub DIN 912 M2,5x12
- 6x šroub DIN 912 M3x5
- 18x šroub DIN 7991 M3x8
- 12x šroub DIN 7991 M3x16
- 8x šroub DIN 7991 M3x20
- 42x závitová vložka M3



Obrázek 98 - Složený prototyp volantu

8.2 Řídící jednotka

Řídící jednotka se skládá pouze ze tří dílů, její složení je tak velmi jednoduché. Po vytisknutí všech dílů a vtavení závitových vložek stačí pouze přišroubovat plošný spoj ke spodní části. Po připojení konektorů se přišroubuje víko, které zároveň zajišťuje konektory.

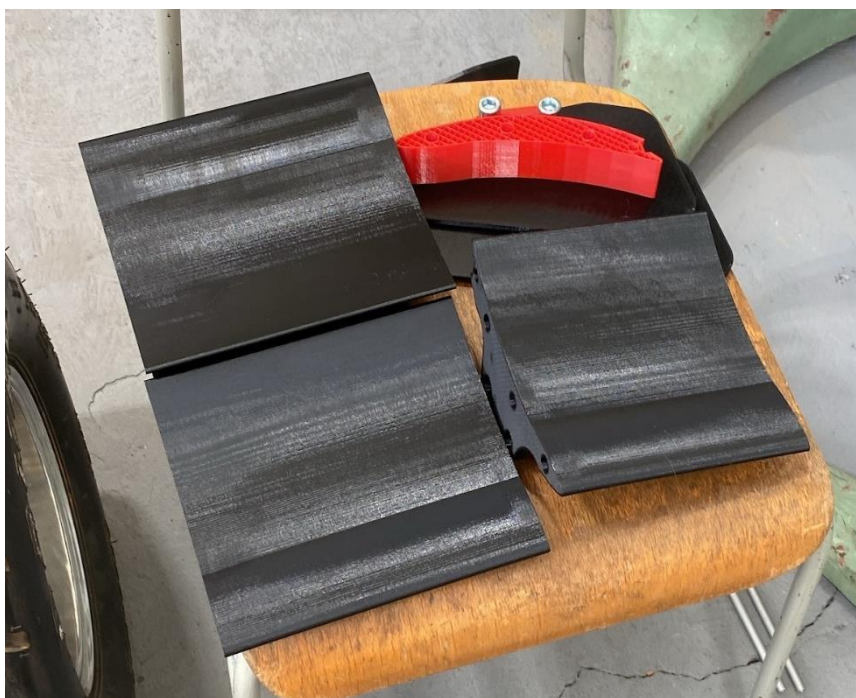


Obrázek 99 - Řídící jednotka bez víka

8.3 Spoiler

Prvním krokem při skládání spoileru je nasunutí všech částí na hliníkové výztuhy. Zároveň je třeba provést vodiče pro LED pásek skrz připravený kanál.

Po přišroubování špuntů je křídlo spoileru složeno a je třeba přilepit LED pásek. Posledním krokem je přišroubování držáků spoileru a poté přišroubování celku spoileru k rámu formule.



Obrázek 100 - Vytisknuté díly pro spoiler

9 Závěr

Všechny cíle práce byly úspěšně splněny. Byl tak vytvořen lepší způsob ovládání elektroformule a zároveň umožněn sběr analytických dat o stavech různých částí. Řidičovi jsou taky nyní v reálném čase k dispozici údaje jako teploty komponent, rychlost, výkon nebo stav baterií. Tyto údaje jsou dostupné k zobrazení nejen ve volantu, ale také v mobilní aplikaci pro další osoby.

Vzhled volantu byl inspirován reálnými volanty používanými ve vozech Formule 1. Jeho plošný spoj byl navržen tak, aby bylo možné jeho využití pro jiné účely, například pro počítačové závodní simulátory. Fyzický design volantu je pro tento účel také použitelný.

Nejnáročnější částí práce byl vývoj řídicí jednotky, ve které je integrováno mnoho funkcí. Stejně jako při návrhu zapojení volantu bylo při vývoji nutné začít od nuly. Kvůli její složitosti bylo testování náročné a bylo třeba se naučit proces domácí výroby plošných spojů. Některé obvody, například připojení k BMS, trvalo déle navrhnout, protože jejich vnitřní fungování nebylo známo. Řídicí jednotka byla zároveň připravena pro případné budoucí rozšíření pomocí rezervních vstupů a výstupů.

Literatura

[1] RASPBERRY PI. *Pico-series Microcontrollers*. Online. Raspberry Pi Documentation. C2012-2025. Dostupné

z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html>.

[cit. 2025-02-23].

[2] *Design and Manufacture of Staggered and Stacked Vias in PCBs*. Online. Sierra Circuits Proto Express. C2025. Dostupné z: <https://www.protoexpress.com/blog/design-manufacture-staggered-and-stacked-vias/>. [cit. 2025-03-27].

[3] *FR-4*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/FR-4>. [cit. 2025-03-28].

[4] *Gerber format*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Gerber_format. [cit. 2025-03-31].

[5] *Pokud jste v oblasti elektroniky začátečníci, asi by vás zajímalo, jak si doma vyrobit Desku Plošných Spojů (DPS)*. Online. PaJa-trb. C2004-2025. Dostupné z: <https://paja-trb.cz/navody/dps.html>. [cit. 2025-04-04].

[6] *UART*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/UART>. [cit. 2025-03-18].

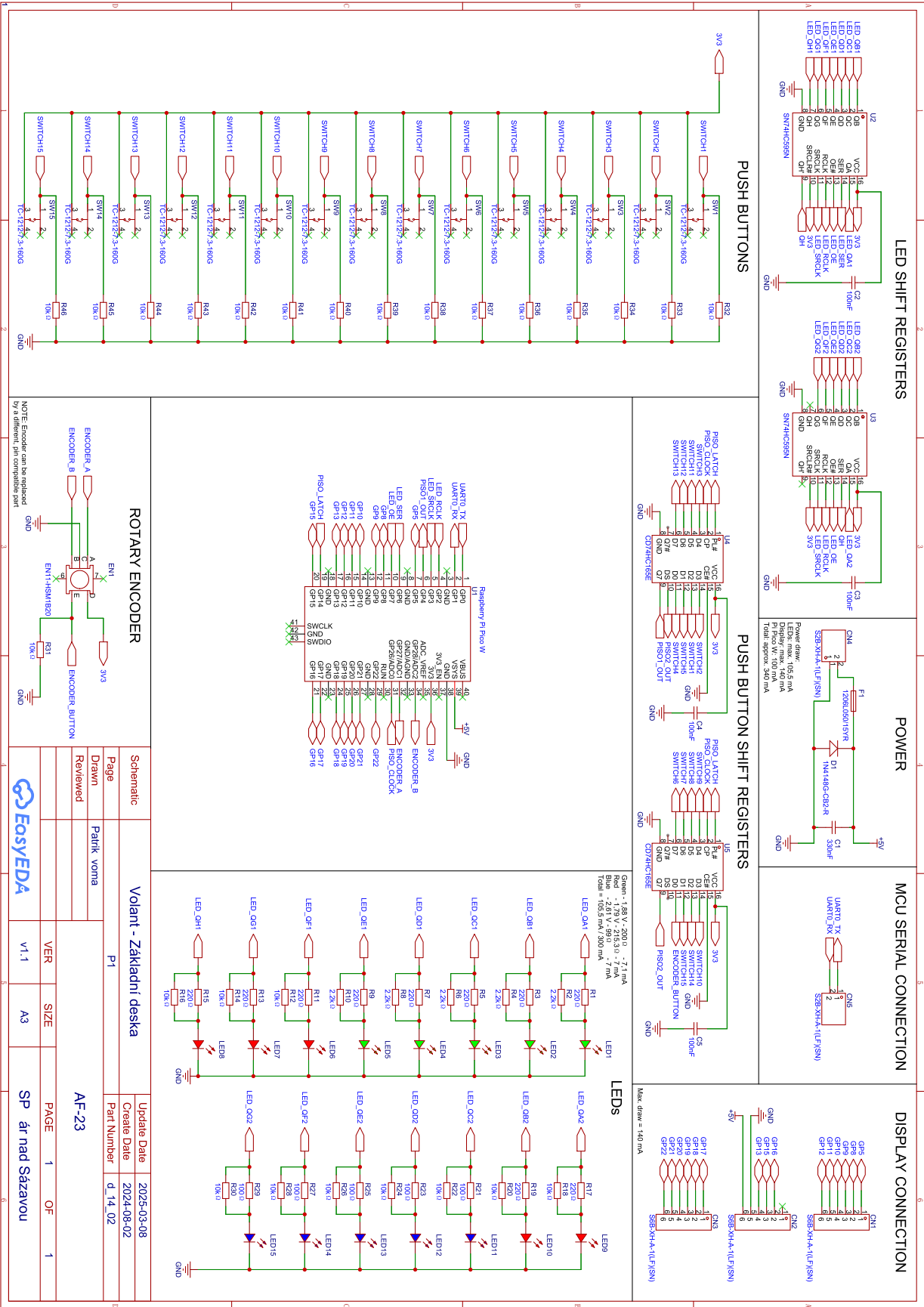
[7] *I²C*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>. [cit. 2025-04-06].

[8] *Externí sériové sběrnice SPI a I²C*. Online. Root.cz. 2008. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/#k02>. [cit. 2025-04-06].

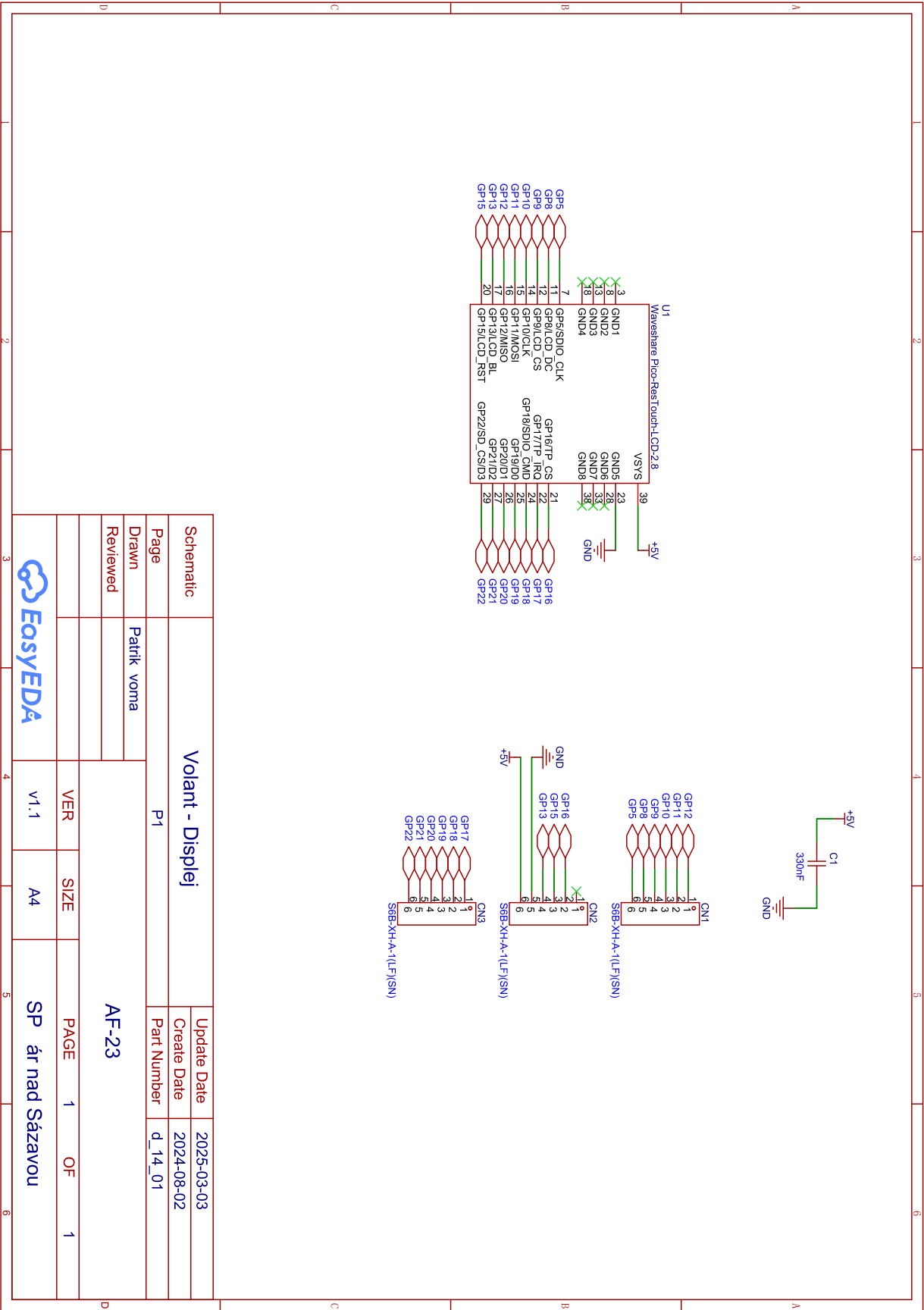
[9] *Serial Peripheral Interface*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface. [cit. 2025-04-06].

- [10] *What is 1-Wire protocol?* Online. In: GitHub Gist. 2024. Dostupné z: <https://gist.github.com/MarcosYonamine963/cc4d9b7d80dc94b34ad8e0d4abeb64e3>. [cit. 2025-04-06].
- [11] WAVESHARE. *Pico-ResTouch-LCD-2.8*. Online. Waveshare Wiki. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/wiki/Pico-ResTouch-LCD-2.8>. [cit. 2025-03-21].
- [12] ČERNÝ, Michal. *Základní zapojení – Ochrana proti přepólování napájení*. Online. RoboDoupě. 2015. Dostupné z: <https://robodoupe.cz/2015/zakladni-zapojeni-ochrana-proti-prepolovani-napajeni/>. [cit. 2025-03-23].
- [13] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Pico Datasheet*. Online. 15.10.2024. 2024. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>. [cit. 2025-03-23].
- [14] VBSEMI. *SI2323CDS-T1-GE3-VB Datasheet*. Online. Dostupné z: <https://www.vbsemi.com/Package/SOT23-3/SI2323CDS-T1-GE3-VB.pdf>. [cit. 2025-03-23].
- [15] *Mikro step-down měnič, nastavitelný*. Online. Láskakit. C2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/mikro-step-down-menic--nastavitelny/>. [cit. 2025-03-05].
- [16] KELLY CONTROLS. *Kelly Cheetah series KLS-S Controllers User Manual*. Online. 2.12. 2025. Dostupné z: <https://media.kellycontroller.com/new/Kelly-Cheetah-series-KLS-NUserManualV2.12.pdf>. [cit. 2025-03-23].
- [17] TEXAS INSTRUMENTS. *SNx4HC165 8-Bit Parallel-Load Shift Registers*. Online. H. 2015. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc165.pdf>. [cit. 2025-03-23].
- [18] *Co je to BMS?* Online. ISwap. 2024. Dostupné z: <https://www.iswap.cz/nase-novinky/co-to-je-bms/>. [cit. 2025-03-23].
- [19] *LED pásek WS2812 (2811) chip 5050, 18W/m, RGB, 60 diod, 5V, 1 m, černý*. Online. SOH. C2016. Dostupné z: <http://eshop.soh.cz/led-pasky-5-v/i983-led-pasek-ws2812-2811-chip-5050,-18w/m,-rgb,-60-diod,-5v,-1-m,-cerny>. [cit. 2025-03-23].

Příloha A – Schéma základní desky volantu



Příloha B – Schéma displeje volantu



Příloha C – Schéma řídicí jednotky

