



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky**

Automatizace v malochovu drůbeže

Automation in Small-scale Poultry Farming

Bakalářská práce

Studijní program: Elektronika a komunikace

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Jan Kabíček

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kabiček** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **507321**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Automatizace v malochovu drůbeže

Název bakalářské práce anglicky:

Automation in Small-scale Poultry Farming

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte řídicí elektroniku průchodových dvířek pro drůbež. Řídicí obvody budou reagovat na změnu intenzity osvětlení. Dvířka by měla být pro drůbež bezpečná a měla by obsahovat snímače polohy. Použijte vhodné komunikační rozhraní pro správu základních parametrů. Navrhněte a realizujte konstrukci dvířek vhodnou pro použití v exteriéru.

Postup řešení:

- 1) Prostudujte problematiku ovládání dvířek v oblasti malochovu drůbeže.
- 2) Proveďte návrh obvodového zapojení a výběr vhodných součástek pro realizaci řídicí elektroniky, která bude zjišťovat aktuální pozici dvířek a bude je ovládat na základě změny intenzity světla nebo aktuálního času. Dvířka vybavte vhodnými senzory pro jejich bezpečné ovládání.
- 3) Navrhněte DPS a realizujte řídicí elektronickou část.
- 4) Navrhněte a realizujte konstrukci dvířek vhodných pro použití v exteriéru.
- 5) Zařízení otestujte a vyhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Fraden, Jacob: Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications, Fifth Edition, Springer, 2016
- [2] Yiu, J.: The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors Third Edition, Elsevier, 2014
- [3] Záhla, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Teplý katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

Ing. Tomáš Teplý
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Tomáši Teplému, za odborné vedení mé práce a za užitečné připomínky, rady a především čas, který mi při konzultacích věnoval.

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na návrh a výrobu automatických kurníkových dvířek, které překonávají nedostatky současných produktů na trhu. Hlavním cílem je dosažení vyšší odolnosti, spolehlivosti a uživatelského komfortu. V rámci práce byla provedena analýza existujících řešení, navržen inovativní koncept a byl popsán proces výroby prototypu a jeho testování. Závěr práce shrnuje dosažené výsledky a diskutuje nad potenciálem tohoto produktu na trhu.

Klíčová slova:

Automatická kurníková dvířka, návrh, realizace, odolnost, spolehlivost, analýza existujících řešení, prototyp, testování, výsledky, tržní potenciál.

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Abstract

This work focuses on the design and manufacture of automatic chicken coop doors that overcome the shortcomings of current products on the market. The main objective is to achieve higher durability, reliability and user comfort. The thesis analyzed existing solutions, proposed an innovative concept, described the process of prototype production and its testing. The conclusion of the thesis summarizes the achieved results and discusses the potential of this product on the market.

Keywords:

Automatic chicken coop door, design, implementation, durability, reliability, analysis of existing solutions, prototype, testing, results, market potential.

OBSAH

1 Úvod.....	1
2 Srovnání na trhu.....	2
2.1 Systém ADEKA	2
2.2 Systém ChickenGuard	3
2.3 Systém RunChicken	4
3 Teoretický rozbor.....	5
3.1 Mikrokontrolér	5
3.2 Senzory	7
3.2.1 Indukční senzory	7
3.2.2 Hallův senzor	8
3.2.3 Fotorezistor.....	10
3.3 Pohon.....	13
3.3.1 Výběr elektromotoru	13
3.3.1 Krokový motor	14
3.3.2 Řízení.....	15
3.4 Mechanika pohybu dvířek.....	18
3.5 Ovládání.....	19
3.6 Napájení.....	21
4 Postup a realizace	22
4.1 Blokové schéma	22
4.2 Návrh schématu	24
4.2.1 Step-down měnič	24
4.2.2 Lineární regulátory	26
4.2.3 USB to Serial	28
4.2.4 RTC (Hodiny reálného času).....	29
4.3 Návrh DPS.....	30
4.4 3D Model a realizace.....	32
4.5 Program	33
4.5.1 Popis funkce	33
4.5.2 Informační panel	34
4.5.3 Hierarchie LCD menu.....	34
4.5.4 Ruční ovládání.....	36

4.5.5 Režim spánku	36
4.5.6 Bezdrátová komunikace ESP32 a Raspberry Pi prostřednictvím MQTT	37
4.6 Konstrukce	38
4.6.1 Proces vývoje	38
4.6.2 Pohon	41
4.6.3 Dvířka	43
4.6.4 Modularita	45
4.7 Rotační enkodér	46
4.7.1 Motivace.....	46
4.7.2 Proces vývoje	46
4.7.3 Struktura zařízení.....	47
4.7.4 Princip funkce.....	48
4.8 Senzory	49
4.8.1 Indukční senzory pro detekci polohy dvířek	49
4.9 3D Tisk	50
5 Testování zařízení	52
5.1 Testování zatížení dvířek.....	52
5.2 Testování funkce zastavení dvířek	53
6 Ekonomická analýza	54
6.1 Výrobní náklady	54
6.2 Tržní potenciál	54
6.2.1 Cílová skupina	54
7 Závěr	56
8 Citovaná literatura.....	57
9 Použitý software	59
PŘÍLOHA A – DISPLEJ A ZÁKLADNÍ DESKA.....	60
PŘÍLOHA B – KOMPLETNÍ SCHÉMA DPS.....	61
PŘÍLOHA C – VÝSUVNÉ MODULY	63
PŘÍLOHA D – POHON A KONEKTORY	65
PŘÍLOHA E – ENKODÉR.....	67
PŘÍLOHA F – UCHYCENÍ POJEZDOVÝCH TYČÍ	71
PŘÍLOHA G – KOMPLETNÍ ROZPIS CENY ZAŘÍZENÍ	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Automatický systém ADK124T od ADEKA s.r.o. pohled zředu [15].....	2
Obrázek 2: Automatický systém ADK124T od ADEKA s.r.o. pohled ze strany [15].....	2
Obrázek 3: Automatický systém ChickenGuard Extreme [16].....	3
Obrázek 4: Automatický systém RunChicken pohled zředu [18]	4
Obrázek 5: Automatický systém RunChicken [17].....	4
Obrázek 6: ESP32 Pinout [2].....	6
Obrázek 7: Konstrukce indukčního senzoru [3]	7
Obrázek 8: Měděný proužek, kterým protéká proud I, je umístěn do magnetického pole B. Vlevo – situace okamžitě po zapnutí magnetického pole. Vpravo – ustálená situace, která se vytvoří brzy po zapnutí [5].....	9
Obrázek 9: Schéma zapojení Hallova senzoru	10
Obrázek 10: Schematická značka fotorezistoru [7].....	11
Obrázek 11: Fotorezistor [19].....	11
Obrázek 12: Konstrukce fotorezistoru [7].....	11
Obrázek 13: Schéma připojení fotorezistoru k MCU s použitím napěťového děliče.....	12
Obrázek 14: Označení jednotlivých pinů ovladače krokových motorů TMC2209 [20].....	16
Obrázek 15: Princip funkce mechanismu pro pohyb dvířek	18
Obrázek 16: Simulace magnetického pole v okolí mechanismu pro pohyb dvířek.....	19
Obrázek 17: Ukázka ovládacího prvku a displeje na horním krytu zařízení.....	20
Obrázek 18: 128x64 LCD Displej [21].....	21
Obrázek 19: Blokové schéma jednotlivých komponent a komunikace mezi nimi.....	22
Obrázek 20: Blokové schéma napájecí části zařízení.....	23
Obrázek 21: Schéma Step-down měniče	24
Obrázek 22: Schéma lineárního regulátoru 5 V	26
Obrázek 23: Schéma lineárního regulátoru 3,3 V	26
Obrázek 24: Schéma USB to serial převodníku.....	28
Obrázek 25: Schéma zapojení USB konektoru.....	28
Obrázek 26: Shottkyho dioda v zapojení jako 5 V selektor.....	29
Obrázek 27: Schéma zapojení hodin reálného času	29
Obrázek 28: Horní vrstva DPS.....	30
Obrázek 29: Spodní vrstva DPS.....	31
Obrázek 30: 3D model základní desky.....	32
Obrázek 31: Reálná zhotovená a osazená deska plošných spojů	32
Obrázek 32: Nanášení pájecí pasty na DPS	32
Obrázek 33: Open Source Reflow pec.....	32
Obrázek 34: Informační panel zařízení	34
Obrázek 35: Ukázka menu pro ruční ovládání (Otevírám)	36
Obrázek 36: Ukázka menu pro ruční ovládání (Otevřeno)	36

Obrázek 37: Ukázka animace pro režim spánku	36
Obrázek 38: Webové rozhraní.....	37
Obrázek 39: První prototyp zařízení zepředu.....	38
Obrázek 40: První prototyp zařízení z boku.....	38
Obrázek 41: Třetí prototyp zařízení zepředu.....	40
Obrázek 42: Třetí prototyp zařízení z boku.....	40
Obrázek 43: Model pohonu zařízení ve Fusionu 360.....	41
Obrázek 44: Reálná ukázka pohonu zařízení.....	42
Obrázek 45: Model napínáku ve Fusionu 360 s krytem	43
Obrázek 46: Model vnitřní části napínáku ve Fusionu 360.....	43
Obrázek 47: Ukázka dvířek a teflonových pouzder	44
Obrázek 48: Ukázka modularity zařízení na modelu z Fusionu 360	45
Obrázek 49: První verze rotačního enkodéru	46
Obrázek 50: Druhá verze rotačního enkodéru	46
Obrázek 51: Model rozloženého rotačního enkodéru	47
Obrázek 52: Princip rotace enkodéru a monitorování otáčení magnetu [22].....	48
Obrázek 53: Magnetický detektor AS5600 (model z programu EasyEDA)	48
Obrázek 54: Hallova sonda [23]	48
Obrázek 55: Indukční senzor umístěný v dolní části dvířek.....	49
Obrázek 56: Indukční senzor [24].....	49
Obrázek 57: Spojovač všech senzorů.....	50
Obrázek 58: Fotorezistor umístěný v zařízení.....	50
Obrázek 59: Zatížení dvířek hmotností 0,5 kg.....	52
Obrázek 60: Zatížení dvířek hmotností 1,25 kg	52
Obrázek 61: Měření působení síly dvířek na překážku.....	53
Obrázek 64: Zakrytovaný displej a základní deska	60
Obrázek 65: Otevřený kryt základní desky	60
Obrázek 62: Schéma DPS levá část.....	61
Obrázek 63: Schéma DPS pravá část.....	62
Obrázek 66: Princip výsuvného modulu s displejem	63
Obrázek 67: Pohled na oba moduly shora	63
Obrázek 68: Pohled dovnitř zařízení s vyndanými moduly.....	64
Obrázek 69: Pohonná část zařízení společně s konektory pro připojení modulů	65
Obrázek 70: Pohonná část a konektory shora.....	66
Obrázek 71: Spodní část enkodéru zevnitř.....	67
Obrázek 72: Vnitřní strana tlačítka	68
Obrázek 73: Rozebrané tlačítko z vnější strany.....	69
Obrázek 74: Zkompletovaný rotační enkodér z vnější strany	70
Obrázek 75: Pohled na uchycení lineárních tyčí do horní části zařízení	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vysvětlení funkcí jednotlivých pinů ovladače TMC2209 [11]	17
Tabulka 2: Konfigurace mikrokroků na ovladači TMC2209 [11]	17
Tabulka 3: hodnoty intenzity magnetické indukce	19
Tabulka 4: Detailní rozpis ceny jednotlivých komponent bez započítání elektronických součástek na základní desce.....	72
Tabulka 5: Detailní rozpis součástek použitých na základní desce	73

1 ÚVOD

Tato práce se zaměřuje na návrh a realizaci automatických kurníkových dvířek, která vznikla v reakci na nedostatek uspokojivých možností dostupných na trhu. Inspirací k jejich vytvoření byla nejen snaha o odstranění krátkodobé životnosti a omezených funkcí tradičních dvířek, ale také rostoucí trend zájmu o vlastní pěstování potravin, včetně produkce vlastních vajec.

V dnešní době, kdy automatizace proniká do všech oblastí našeho života, není výjimkou ani domácí prostředí. S rostoucí potřebou pohodlí a efektivity se automatizované řešení stává nedílnou součástí moderních spotřebičů včetně těch, které slouží ke správě hospodářských zvířat. S nárůstem zájmu o produkci potravin z vlastních zdrojů včetně vajec nabývá na významu potřeba optimalizovat a automatizovat procesy v chovech. Tento trend je posílen rozhodnutím ukončovat klecové chovy a preferovat volné výběhy, což vytváří prostor pro nová řešení, kterými jsou automatická kurníková dvířka.

Velcí dodavatelé vajec čelí potřebě efektivně řešit automatizaci v rámci volných výběhů, to vyžaduje kvalitní a spolehlivá zařízení. V tomto kontextu se navržený produkt stává nejen odpovědí na potřeby malochovatelů na vesnicích, ale i významnou příležitostí pro velkochovy, které směřují k efektivní automatizaci ve volných výbězích. Takový produkt může zajišťovat dlouhodobou funkčnost bez významných zásahů a splňovat tak potřeby rozmanitých subjektů v oblasti chovu slepic.

Na trhu se dnes běžně setkáváme s automatickými dvířky pro kurníky, která však většinou vycházejí ze stejného principu, jenž má z dlouhodobého hlediska omezenou životnost a poskytuje nedostatečné množství funkcí. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit vlastní řešení, které je v mnoha ohledech unikátní a odpovídá aktuálním potřebám chovatelů drůbeže. V mém řešení se klade důraz především na odolnost vůči vnějším vlivům jako jsou déšť, prach a nečistoty z prostředí kolem kurníku. Odolnost přístroje pocítí především uživatel, který tak klidně může opláchnout dvířka hadicí. Je tak zajištěna snadná a efektivní údržba. Cílem této práce je tedy přinést uživatelům spolehlivý a trvanlivý produkt, který jim ulehčí péči o drůbež a poskytne jim klidné spaní, aniž by museli vstávat či chodit zavírat kurníková dvířka každý den.

2 SROVNÁNÍ NA TRHU

V současné době existuje na trhu mnoho variant automatických dvířek pro kurníky. Před započítím vývoje jsem provedl průzkum trhu, při kterém jsem zjistil, že většina těchto dvířek funguje na základě jednoho společného principu – navíjením provázku. Tato metoda se však v prostředí venkovního kurníku, kde se vyskytuje vlhkost, prach a různé nečistoty, jeví jako poněkud nepraktická. Vlhkost se snadno může dostat k citlivé elektronice, což představuje potenciální riziko. I když toto řešení působí jednoduše, ochrana elektroniky před vlhkostí je téměř nemožná. Řešením by mohlo být zalití elektroniky do epoxidu, což by však znemožnilo její následnou opravu.

2.1 Systém ADEKA

Konkrétně se jedná o systém ADK124T (Obr. 1 a Obr. 2) vytvořený českým výrobcem Adeka s.r.o. Základní princip tohoto systému spočívá v použití senzoru soumraku, který řídí otevírání a zavírání dvířek tak, aby zajistil bezpečnost drůbeže před nočními predátory. Tento systém využívá navíjení provázku na kladku pomocí motorku. Je k dispozici v několika variantách umožňujících napájení buď z baterie, ze sítě, nebo ze solárního panelu.



Obrázek 1: Automatický systém ADK124T od ADEKA s.r.o. pohled zepředu [15]



Obrázek 2: Automatický systém ADK124T od ADEKA s.r.o. pohled ze strany [15]

I přesto, že má systém své výhody, nese řešení i několik nevýhod. Dvířka mají krytí IP20, což znamená, že nejsou odolná proti vodě, a proto je třeba je chránit před deštěm při venkovní instalaci. Nastavení některých parametrů, jako je hodnota intenzity světla, vyžaduje sejmutí krytu a nastavení trimrem. Tento proces může být náročný. Zároveň je obtížné odhadnout, kdy se dvířka zavrou.

2.2 Systém ChickenGuard

Zahraniční výrobce ChickenGuard (Obr.3), vyrábí automatická dvířka pro kurníky ve třech variantách: Standard, Pro a Extreme. Zaměřím se na variantu Extreme, která přináší několik vylepšení oproti jiným modelům. Princip fungování je podobný jako u dvířek od Adeka, kde senzor soumraku ovládá otvírání a zavírání dvířek a zajistí tak bezpečnost drůbeže před nočními predátory. ChickenGuard Extreme se navíc vyznačuje moderními vylepšeními, včetně integrovaného displeje, uzamykání dvířek v zavřeném stavu a voděodolností pro zvládnání venkovních podmínek.

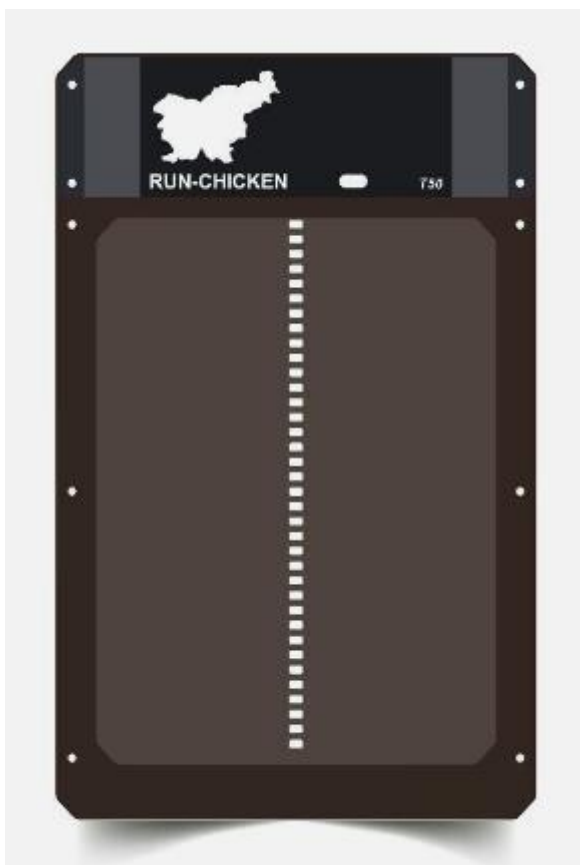


Obrázek 3: Automatický systém ChickenGuard Extreme [16]

Přestože ChickenGuard Extreme nabízí mnoho vylepšení, měly by být zváženy i některé nevýhody. Toto zařízení se na našem trhu přeprořádá různými obchody se zemědělskými potřebami. I přes jejich relativně vysokou cenu, která se pohybuje okolo 5000 Kč pouze za jednotku bez dvířek, je zařízení často vyprodané. Toto zjištění ukazuje, že odolná zařízení jako je toto je celkem zájem. Voděodolnost produktu je sice implementována, avšak prostřednictvím zalití elektroniky do epoxidu, což znamená, že případná oprava je nemožná. V případě poruchy je pak nutné vyměnit celý systém. Další nevýhodou může být potřeba rozebrat zařízení při výměně baterií, což může být pro uživatele trochu komplikované.

2.3 Systém RunChicken

Dalším zahraničním výrobcem, který podle mého názoru představuje nejvíce pokročilé řešení, je společnost RunChicken (Obr. 4 a Obr. 5). Jejich automatická dvířka fungují na odlišném principu než již zmíněné alternativy. Otvírání a zavírání dvířek řídí ozubené kolečko na zadní části zařízení, jehož pohyb je kontrolován intenzitou světla nebo časovačem. Jednou z klíčových výhod tohoto modelu je možnost propojení s mobilní aplikací, kde lze jednoduše nastavit parametry.



Obrázek 4: Automatický systém RunChicken pohled zepředu [18]



Obrázek 5: Automatický systém RunChicken [17]

I když považuji toto zařízení za nejvíce pokročilé, našel jsem i přesto některé výhrady. Tato dvířka zatím nejsou k dispozici přímo na našem trhu. Namísto nich jsou zde zastoupeny dostupné čínské alternativy, které i když na první pohled mohou vypadat stejně, jsou často velmi laciné a po pár použitích nefunkční. Navzdory tomu, že jsou dvířka voděodolná, řešení zalitím elektroniky do epoxidu je stejné jako u předchozí alternativy. Další potenciální nevýhodou může být obtížné ovládání a nastavování parametrů prostřednictvím chytrého telefonu, zejména pro starší uživatele. Jedná se však o subjektivní názor. Přesto jsem potěšen tím, že někteří výrobci opouštějí tradiční princip navíjení provázku a zkoušejí inovativní řešení, stejně jako já.

Existuje samozřejmě mnoho dalších řešení, ale nebudu je všechny zmiňovat, protože většina z nich funguje na stejném principu, a pro mě zajímavá řešení jsem již zmínil.

3 TEORETICKÝ ROZBOR

3.1 Mikrokontrolér

Mikrokontroléry, nazývané též MCU (Microcontroller Unit), představují klíčovou součást současných embedded systémů, která umožňují automatizaci a řízení různých zařízení a procesů. Tyto jednočipové počítače jsou charakterizovány vysokou hustotou integrace. Vzhledem k jejich kompaktním rozměrům, nízké spotřebě energie a vysokému výkonu jsou mikrokontroléry preferovanou volbou pro řízení a automatizaci v široké škále aplikací, včetně průmyslových řídicích systémů, spotřební elektroniky, lékařských zařízení, automobilů a dalších.

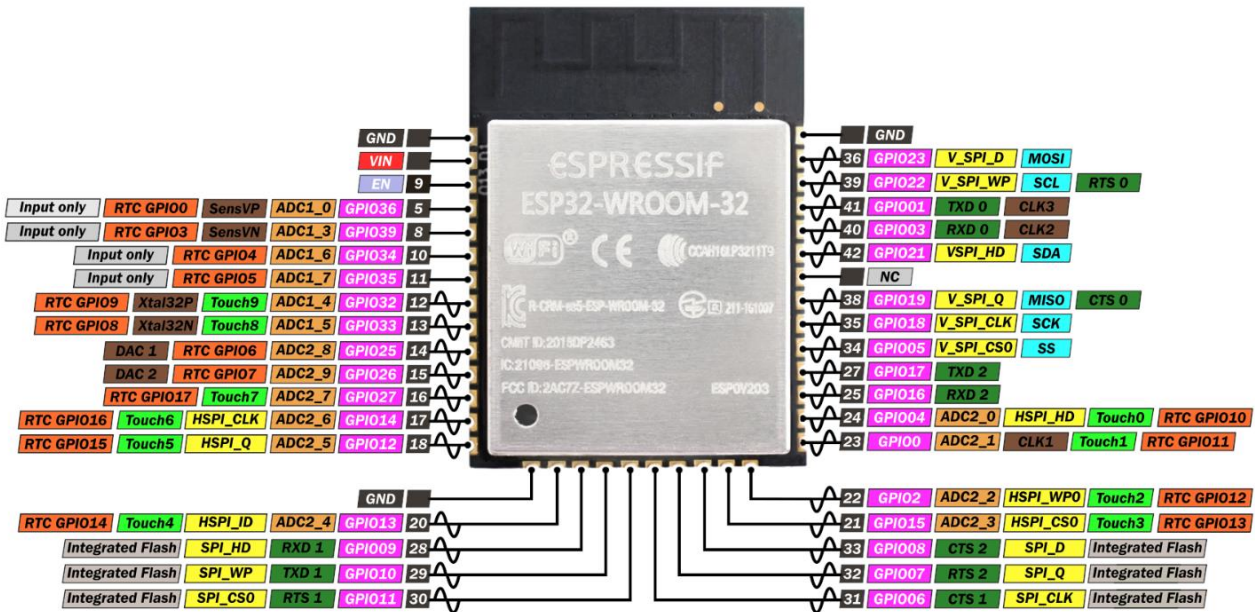
Tyto integrované obvody obsahují mikroprocesor, vstupně-výstupní obvody, paměť EEPROM, RAM a FLASH. Kromě samotného mikroprocesoru disponují také doplňujícími periferními obvody jako jsou analogově-digitální převodníky, čítače a pulzně-šířková modulace (PWM). Důležitou roli hrají i sériové sběrnice jako UART, SPI a I2C, které slouží ke komunikaci s dalšími zařízeními.

Mezi hlavní výhody mikrokontrolérů patří nízká spotřeba, spolehlivost díky menšímu počtu přídavných součástí, kompaktní rozměry, nízká cena a snadná změna programu. Díky možnosti přeprogramování paměti lze měnit chování obvodu bez nutnosti fyzické změny zapojení.

Mikrokontroléry se dělí podle architektury na dvě hlavní koncepce: Harvardskou a Von Neumannovu. Harvardská architektura odděluje paměť pro program a data, zatímco Von Neumannova architektura využívá jednu sběrnici pro všechny aktivní prvky. Kromě toho se mikrokontroléry klasifikují podle instrukčních sad do dvou hlavních kategorií: CISC (Complex Instruction Set Computer) a RISC (Reduced Instruction Set Computer). CISC procesory obsahují velké množství instrukcí, zatímco RISC má zjednodušený instrukční soubor, což často vede k lepší efektivitě a výkonu. [1]

V dnešní době je na trhu několik významných výrobců mikrokontrolérů, jejichž produkty si získaly velkou popularitu a jsou široce používány v různých aplikacích. Jedním z nejpopulárnějších výrobců je firma Microchip Technology, která nabízí širokou škálu mikrokontrolérů z různých řad jako jsou PIC, AVR a SAM. Dalším významným hráčem na trhu je společnost ST Microelectronics se svými mikrokontroléry řady STM32. Tyto mikrokontroléry jsou známé pro svůj vysoký výkon, rozsáhlé možnosti periférií a podporu rozhraní jako USB, Ethernet a CAN. Díky své vysoké flexibilitě jsou mikrokontroléry STM32 oblíbenou volbou pro širokou škálu aplikací včetně průmyslových řídicích systémů. Nemohu opomenout ani společnost Espressif Systems, známou především díky svým SoC (System on a Chip) řady ESP32. Ty jsou cenově dostupné, ale přesto nabízejí širokou škálu funkcí a vysoký výkon. Jsou oblíbené pro svou schopnost pracovat s Wi-Fi a Bluetooth, čímž jsou ideálními volbou pro IoT aplikace a projekty v oblasti bezdrátové komunikace. Díky své popularitě a silnému komunitnímu zázemí se ESP32 staly častou volbou pro vývojáře a makery. Nabízejí bohaté možnosti programování a integrace s různými senzory a perifériemi, což umožňuje vytvářet

pokročilé a komplexní projekty. A přesně z tohoto důvodu jsem si pro svůj projekt zvolil právě ESP32 od společnosti Espressif Systems. Původně jsem chtěl použít mikrokontrolér AVR řady ATmega 2560, který je běžně používán v deskách Arduino Mega. Jeho obrovskou výhodou je velký počet I/O portů. Jelikož bych ale z celkového počtu portů využil zhruba polovinu, a také kvůli jeho vysoké ceně, jsem nakonec tuto možnost zamítl. ESP32 je moderní SoC, který vyniká svým výkonem a rozsáhlým souborem funkcí. Jeho dvoujádrový procesor založený na architektuře Xtensa LX6 poskytuje dostatečný výpočetní výkon pro řízení celého zařízení.



Obrázek 6: ESP32 Pinout [2]

Specifikace

- Xtensa® Dual-Core 32bitový mikroprocesor LX6
- Frekvence CPU 80 až 240 MHz
- Programová flash 4MB
- SRAM 520 kB
- WiFi 2.4 GHz 802.11bgn (s přenosovou rychlostí až do 150 Mbps)
- Bluetooth v4.2 BR/EDR a BLE
- Komunikační rozhraní 3xUART, 3xSPI, SDIO, 2xI2C, 2xI2S, IR
- Rozhraní vstupně-výstupní 34xGPIO, 18xADC, 2xDAC, 16xLED PWM, LNA, kapacitní dotykové senzory, hallové senzory [2]

3.2 Senzory

Senzor je zařízení, které slouží k detekci nebo měření fyzikálních, chemických nebo biologických veličin a jejich přeměně na elektrický signál, který lze snadno zpracovat a interpretovat. Senzory jsou základními stavebními kameny mnoha moderních technologických systémů. Slouží k monitorování okolního prostředí, řízení a provádění různých úloh v automatizovaných systémech.

V následujících kapitolách se detailněji zaměřím na konkrétní senzory, které byly použity v rámci mé práce.

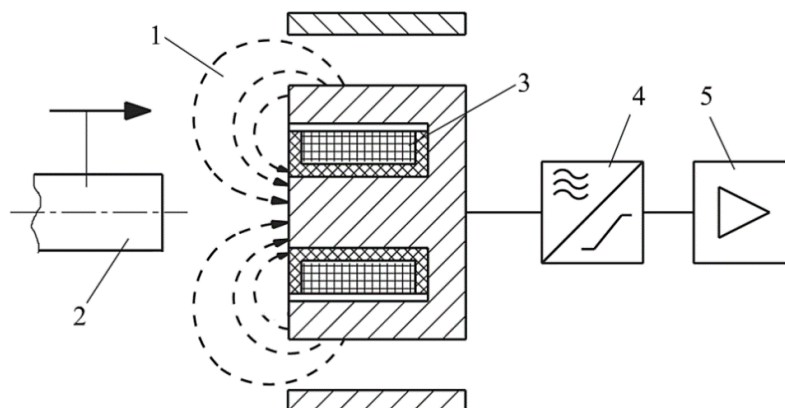
3.2.1 Indukční senzory

Indukční senzory jsou zařízení využívaná k detekci přítomnosti kovových objektů nebo materiálů. Senzory využívají elektromagnetické indukce k detekci změn v elektromagnetickém poli vytvořeném senzorem.

Tyto senzory jsem zvolil pro detekci krajní polohy dveří, aby bylo možné ověřit, zda jsou skutečně zavřené. Vybral jsem je kvůli jejich kompaktním rozměrům a také proto, že ve spodní části dveří jsou umístěny dva šrouby, které slouží k detekci prostřednictvím indukčních senzorů. Šrouby lze snadno vyšroubovat nebo zašroubovat, což umožňuje eliminovat rozdíly v poloze senzorů a zajistit, aby spodní dorazy vždy dosedly společně. Senzory jsou umístěny na obou stranách s cílem detekovat nechtěné zkřížení dveří v jejich spodní poloze a následně provést správnou kalibraci.

Princip funkce

Indukční senzory využívají zákon elektromagnetické indukce, který říká, že změna magnetického pole v blízkosti vodiče indukuje elektrický proud v tomto vodiči. Základním aktivním prvkem je cívka umístěná na jádru poloviny feritového hrníčku. Cívkou protéká vysokofrekvenční střídavý proud generovaný oscilátorem, což vytváří magnetické pole. Toto pole se šíří z otevřené strany hrníčku, která slouží jako aktivní plocha senzoru. Konstrukční schéma indukčního senzoru je znázorněno na obrázku 7. [3]



Obrázek 7: Konstrukce indukčního senzoru [3]

(1 - magnetické pole, 2 – vodivý materiál, 3 - cívka, 4 - oscilátor, 5 – zesilovač)

Pokud se poblíž aktivní plochy senzoru nachází předmět z elektricky vodivého materiálu, dojde k deformaci magnetického pole (1). V materiálu (2) jsou indukovány vířivé proudy. Tato změna magnetického pole v důsledku vířivých proudů ovlivňuje cívku, což způsobuje změnu její elektrické impedance. Elektronika senzoru tuto změnu vyhodnotí a po zesílení převede na výstupní signál. [3]

Pro snížení napětí výstupního signálu indukčního senzoru z 12 V na logickou úroveň ESP32 (tedy 3,3 V), jsem použil napěťový dělič (1). Tento přístup zaručuje, že při logické jedničce bude napětí na vstupu MCU přibližně 3,32 V.

$$U_o = U_{IN} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \text{ V} \cdot \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 26,1 \text{ k}\Omega} \doteq 3,32 \text{ V} \quad (1)$$

3.2.2 Hallův senzor

V mém projektu využívám Hallův senzor pro detekci horní polohy dvířek a rovněž jako senzor pro detekci stisknutého tlačítka v rotačním enkodéru, jak detailně popisuji v kapitole 4.7. Pro detekci horní polohy dvířek je senzor umístěn uprostřed, kde dvířka dosedají k hornímu krytu. Toto umístění není náhodné, neboť právě zde se nachází rozbočovač s konektory ze základní desky. Hallův senzor je přímo integrován na spodní straně tohoto rozbočovače, což eliminuje potřebu vedení kabelů. Volba tohoto senzoru byla motivována především jeho kompaktními rozměry, ideálními pro přímé připájení na DPS. Jak pro enkodér, tak pro detekci polohy je žádoucí, aby senzor fungoval bezkontaktně a reagoval i přes vrstvu plastu. Díky tomu může být senzor umístěn uvnitř zařízení, kde je chráněn před vnějšími vlivy.

Princip funkce

Hallův senzor využívá Hallův jev k detekci magnetického pole. Senzor obsahuje plátek polovodiče s relativně nízkou koncentrací nosičů nábojů. Na obrázku 8 je zobrazen měděný nosič ve tvaru obdélníku o šířce d , kterým protéká elektrický proud I směrem dolů. Nosičem náboje jsou elektrony, které se pohybují driftovou rychlostí v_d ve směru od spodní části proužku nahoru. Proužek je umístěn ve vnějším magnetickém poli B , které je kolmé k rovině obrázku. *Vektor magnetické indukce směřuje ve směru od nás.* [4]

Z rovnice (2) vyplývá, že Lorenzova síla F_B (síla magnetického pole na pohybující se náboj) bude působit na každý elektron pohybující se driftovou rychlostí tak, že ho bude tlačit směrem k pravé straně proužku. [5]

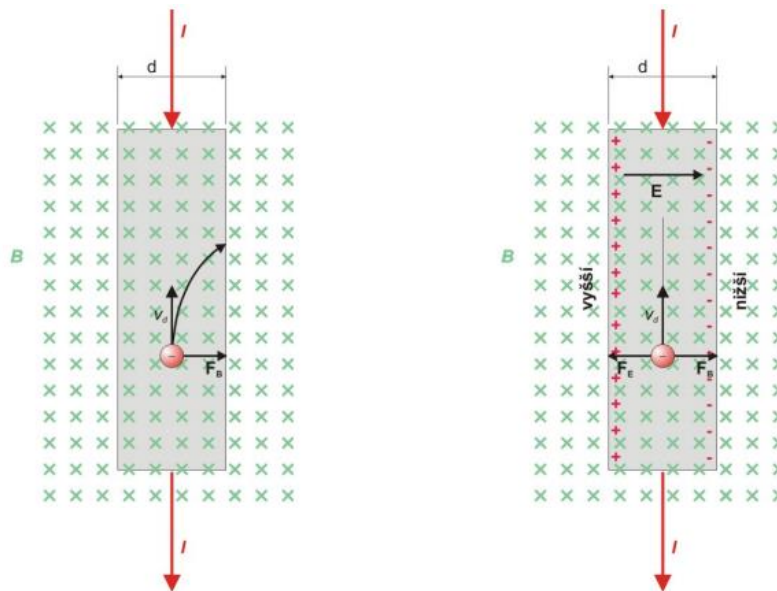
$$F_B = Q_v \cdot B \quad (2)$$

Po chvíli se elektrony, které se pohybují doprava, nahromadí na pravé straně proužku, což zanechá na levé straně proužku nevykompenzované kladné náboje. Tím vznikne elektrické pole E uvnitř proužku, které má směr zleva doprava. Elektrická síla F_E tedy působí

na každý elektron doleva. Tato elektrická síla bude růst, dokud nedosáhne rovnováhy a nevyrovná se s opačně působící magnetickou silou. Tím se obě síly navzájem vyruší. [5]

$$F_E + F_B = 0 \quad (3)$$

Po ustanovení rovnováhy se elektrony budou pohybovat stále driftovou rychlostí ve směru délky proužku k jeho hornímu okraji a náboj nahromaděný na pravé straně, a tedy i pole E jím vytvořené již budou konstantní. [5]



Obrázek 8: Měděný proužek, kterým protéká proud I , je umístěn do magnetického pole B . Vlevo – situace okamžitě po zapnutí magnetického pole. Vpravo – ustálená situace, která se vytvoří brzy po zapnutí [5]

Rozdíl potenciálů U_H vzniklý na vzdálenosti d se nazývá Hallovo napětí. [5]

$$U_H = E \cdot d \quad (4)$$

U_H lze také vyjádřit jako

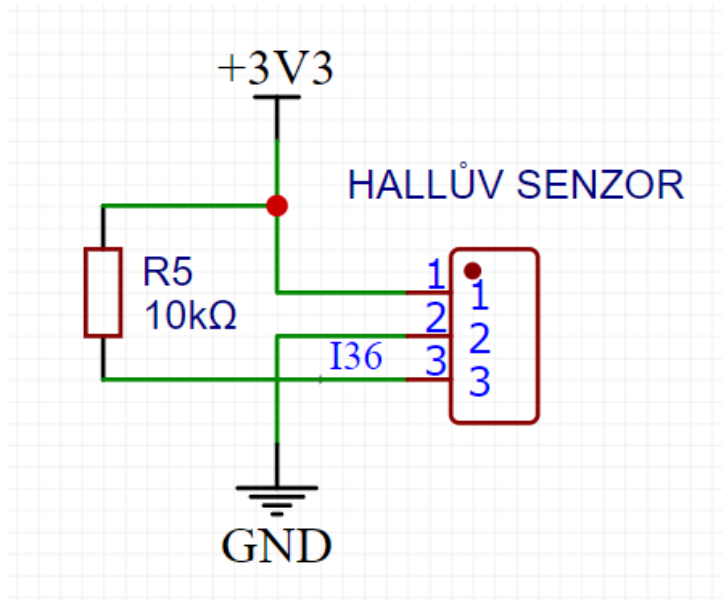
$$U_H = R_H \cdot F_B \quad (5)$$

Kde R_H je Hallova konstanta a F_B je Lorentzova síla

Hallův senzor se používá v různých aplikacích, například v průmyslu, elektronice, automobilovém průmyslu, robotice a mnoha dalších. Může být využíván například pro měření polohy, otáček, rychlosti, proudů a tak dále. Díky své jednoduché konstrukci, spolehlivosti a nízkým nákladům je Hallův senzor oblíbeným prvkem v mnoha elektronických zařízeních.

V mém projektu jsem použil Hallův senzor A3144, jak pro snímání polohy dvířek, tak pro detekci stisknutí tlačítka. Výstup ze senzoru pro snímání polohy dvířek je připojen k pinu IO36 na ESP32, zatímco výstup ze senzoru pro detekci stisknutí tlačítka je připojen k pinu

I015. Jak je patrné z obrázku 9, mezi pinem IO36 a napětím 3,3 V je zapojen pull-up rezistor. Stejný pull-up rezistor je také použit u tlačítka mezi pinem IO15 a napětím 3,3 V. Pull-up rezistor je použit k zajištění správné úrovně napětí na pinech, když není Hallův senzor aktivní. Bez pull-up rezistoru by mohly být piny v neurčitěm stavu (floating), což by mohlo vést k nesprávnému čtení hodnot. Pull-up rezistor tedy udržuje napětí na pinech IO36 a IO15 na vysoké úrovni (3,3 V) v klidovém stavu, což zajišťuje stabilní a spolehlivý výstup ze senzoru.

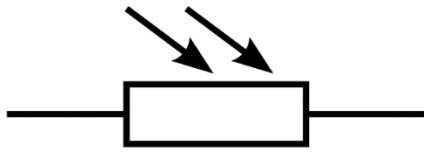


Obrázek 9: Schéma zapojení Hallova senzoru

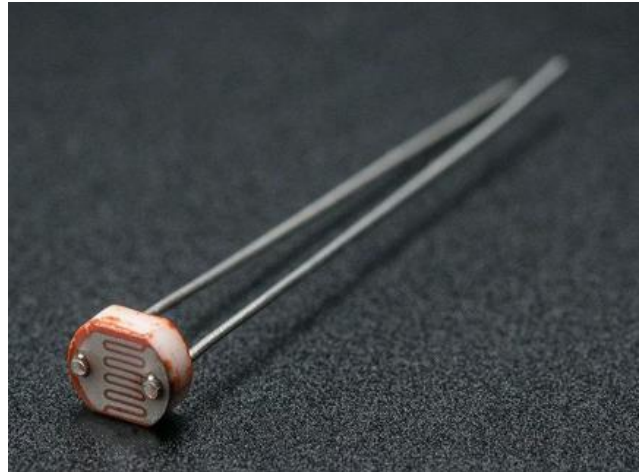
3.2.3 Fotorezistor

Fotorezistor je symetrická dvojpólová součástka (polovodičový jednobran bez přechodu PN), u které je využitím vnitřního fotoelektrického jevu dosaženo závislosti odporu na osvětlení, tzn., že pohlcované světelné záření vyvolá změnu hodnoty elektrické vodivosti. [6]

V mém projektu jsem použil fotorezistor především kvůli jeho jednoduchosti. Jeho odpor se mění v závislosti na intenzitě světla, což umožňuje relativně snadné měření. Rychlá odezva na změnu intenzity světla zde není nutná, což je výhoda, kterou nabízí například fotodioda. Důraz jsem kladl především na to, aby senzor měl dobrou citlivost i při horších světelných podmínkách. Dvířka se totiž zavírají a otevírají právě při přechodu z tmy na světlo, a proto je potřeba, aby senzor v tomto bodě měl dobrou citlivost, což fotorezistor splňuje. Fotorezistory se také běžně používají pro automatické osvětlení například u venkovních světel.



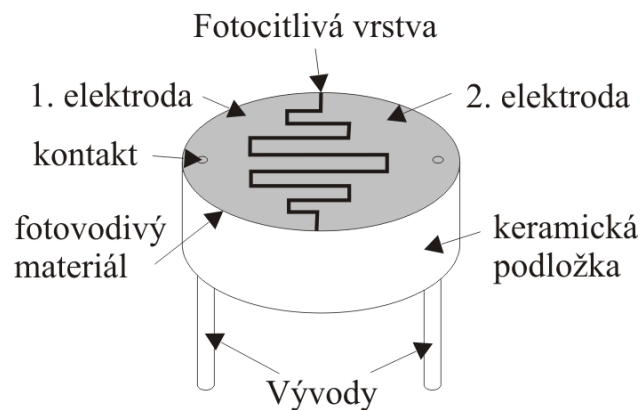
Obrázek 10: Schematická značka fotorezistoru [7]



Obrázek 11: Fotorezistor [19]

Princip funkce

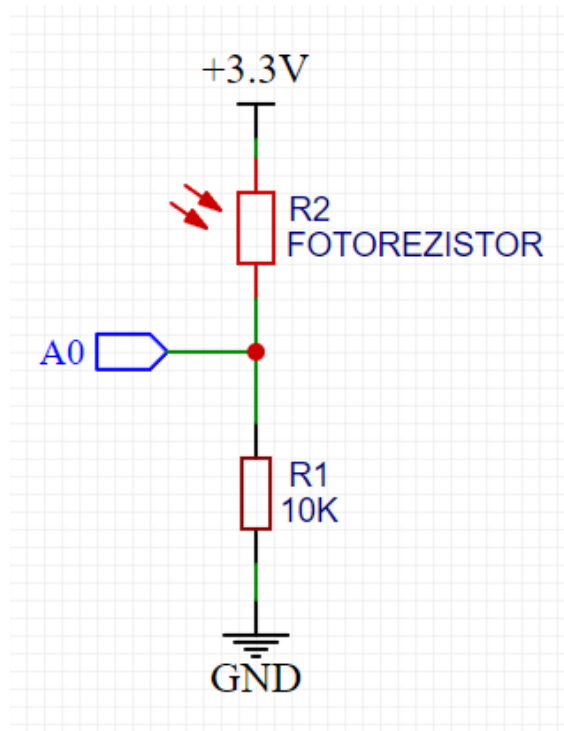
Fotorezistor využívá principu vnitřního fotoelektrického jevu, kde světlo (foton) dopadá na elektron ve valenční sféře a předá mu energii potřebnou k překonání energetického rozdílu mezi valenčním a vodivostním pásem. Tímto skokem do vodivostního pásu elektron opouští svůj atom a stává se volným elektronem, který se pohybuje krystalovou mřížkou. Tím vznikne díra (defektní elektron). Vzniklé volné elektrony přispívají ke snížení elektrického odporu, což znamená zvýšení elektrické vodivosti. Čím více světla dopadá na fotorezistor, tím více volných elektronů vznikne, což dále zvyšuje elektrickou vodivost. [7]



Obrázek 12: Konstrukce fotorezistoru [7]

Světlo dopadající na fotorezistor mění jeho odpor, čímž se na něm mění úbytek napětí. Použil jsem fotorezistor, který má odpor v rozmezí přibližně 50 Ω – 100 k Ω . Fotorezistor jsem zapojil jako dělič napětí, přičemž druhý pull-down rezistor R1 jsem zvolil 10 k Ω . Výstup děliče (analogový vstup MCU) tedy bude přibližně v rozmezí 0,3 V – 3,28 V, což je dáno rovnicí pro odporový dělič (6). Úplné schéma zapojení je zobrazeno na obr. 13. [8]

$$U_o = U_{IN} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{foto}} \quad (6)$$



Obrázek 13: Schéma připojení fotorezistoru k MCU s použitím napěťového děliče

3.3 Pohon

Při volbě pohonu dvířek se otevírá široká paleta možností. Rozhodl jsem se pro stejnosměrný (DC) motor z důvodu jeho schopnosti snadné regulace otáček pomocí různých typů regulátorů a elektronických obvodů. Při této volbě se pak nabízí otázka, zda zvolit komutátorové nebo bezkomutátorové motory.

3.3.1 Výběr elektromotoru

Základní rozdělení

- **Komutátorové (kartáčové)**
 - s **cizím buzením** – má napájení kotvy a buzení odděleno
 - s **derivačním buzením** – kdy vinutí statoru a rotoru jsou zapojena paralelně
 - s **sériovým buzením** – kdy vinutí statoru a rotoru jsou zapojena v sérii
 - s **permanentním magnetem** – kdy na místo derivačního či cizího buzení jsou použity permanentní magnety
 - s **kompaundním buzením** – na hlavních pólech je budící vinutí derivační a sériové [9]
- **Bezkomutátorové (bezkartáčové)**
 - **motory BLDC/EC**
 - **krokové motory**
 - motory reluktanční
 - motory s permanentním magnetem
 - motory hybridní [9]

Pro pohon celého zařízení jsem se rozhodl využít bezkartáčové motory kvůli jejich výhodám v oblasti nižší údržby, delší životnosti a vyšší účinnosti. Původně jsem uvažoval o klasickém kartáčovém motoru s převodem na nižší rychlost a regulací otáček pomocí PWM spolu s H-můstkem pro změnu směru. Avšak tento přístup měl několik nevýhod, zejména při nižších rychlostech, kdy docházelo ke ztrátám účinnosti v důsledku minimálního potřebného proudu pro udržení stabilního chodu, což omezovalo plynulost zrychlení.

Nakonec jsem se rozhodl pro použití krokových motorů, které jsou dnes relativně dostupné a nabízejí se jako atraktivní alternativa. I když jsou stále o něco dražší než kartáčové motory, rozdíl v ceně není již tak markantní. S krokovými motory není potřeba různých převodů ke snížení otáček a je také snadné nastavit polohu bez nutnosti zpětné vazby v případě, že nedochází ke ztrátě kroků. I když ve svém projektu plně nevyužiji vysokou přesnost těchto motorů, využiji jejich vysokých akcelerací a možnosti softwarově řídit množství proudu do motoru. Navíc krokový motor při zastavení drží svoji poslední pozici, aniž by se uvolnil. Taktéž mohou využívat zajímavé funkce, které ovladač krokových motorů nabízí.

3.3.1 Krokový motor

Princip funkce

- *Krokový motor je nejjednodušším akčním členem pro převádění digitálního signálu na polohu úhel natočení rotoru.*
- *Počet stabilních poloh rotoru je pak dán počtem kroků motoru na jednu otáčku.*
- *Pohon s krokovým motorem je jediným typem pohonu, který může nastavovat polohu bez zpětné vazby od odměřování polohy, zajistíme-li, že každý zadaný krok je motorem vykonán [9]*

Použití

- CNC stroje, 3D tiskárny a tiskárny, manipulátory, roboti, diskové paměti a další.

Způsob řízení

- Ovladač krokového motoru slouží k řízení pohybu a režimu chodu krokového motoru tím, že aktivuje fáze vinutí krokového motoru v přesně definované časové posloupnosti.
- Pokud jde o zvýšení počtu kroků motoru, lze použít speciální režimy řízení, což se nazývá drobení kroku nebo mikrokrokování.
- Princip drobení kroku spočívá v napájení dvou sousedních statorových fází zároveň. V důsledku toho se výsledná rovnovážná poloha rotoru nachází uprostřed mezi původními polohami, což umožňuje plynulejší a přesnější pohyb motoru. [9]

Mikrokrokování (microstepping)

- V některých aplikacích je požadováno velice jemné krokování.
- U většiny krokových motorů má 200 kroků na otáčku, kdy jeden krok odpovídá úhlu $1,8^\circ$.
- Tento jeden krok jde však rozdělit až na 256 dalších kroků, tímto způsobem lze získat až 51200 kroků na otáčku.
- Mikrokrokování navíc snižuje hlučnost motoru a jeho vibrace

3.3.2 Řízení

Integrované drivery

V praxi se pro řízení krokových motorů běžně používají integrované drivery. Tyto drivery integrují do jednoho pouzdra řídicí logiku, obvody pro generování pulzů a výkonové tranzistory. Nabízí tak kompaktní a snadno použitelné řešení pro řízení krokových motorů.

Hlavní výhody

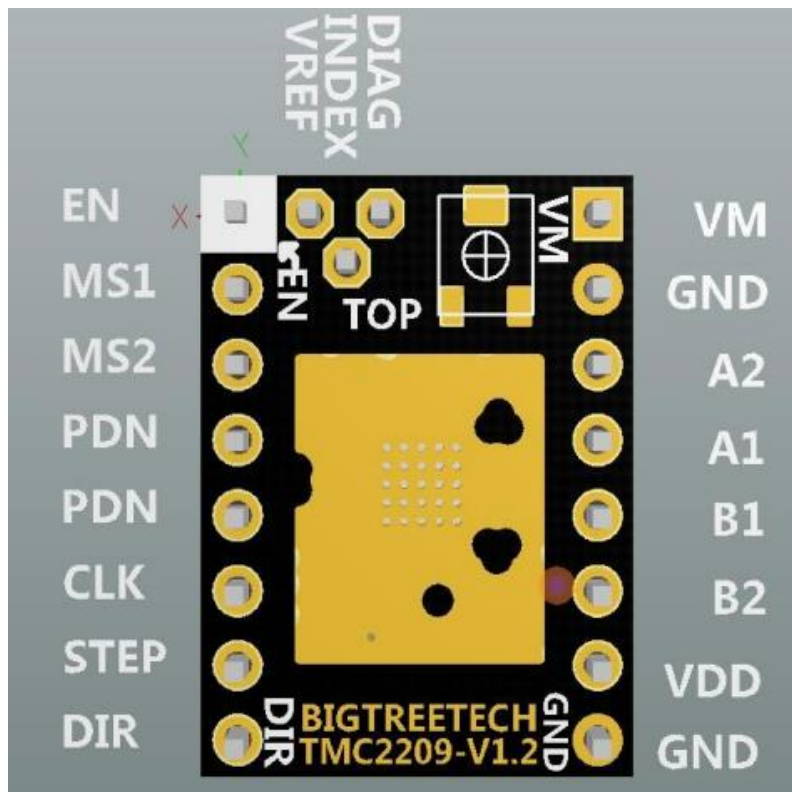
- Kompaktní rozměry: Integrované drivery jsou obvykle malé a lehké, čímž se stávají ideální volbou pro použití v prostorách s omezeným místem.
- Snadné použití: drivery vyžadují pouze několik signálů pro řízení jako jsou krokové pulzy, směr otáčení a napájení.
- Ochrana motoru: drivery často obsahují ochranné funkce jako je ochrana proti přepětí, proudové přetížení a tepelná ochrana. Tyto funkce chrání motor před poškozením.
- Pokročilé funkce: Některé integrované drivery nabízí pokročilé funkce jako je mikrokrokování, interpolace a zpětná vazba polohy, které umožňují plynulý a přesný pohyb motoru.
- V mém projektu budu pro řízení krokového motoru používat integrovaný driver TMC2209.

Parametry

- *Driver je vhodný pro řízení dvoufázových krokových motorů s proudem cívky až do 2,8 A (peak) a efektivní hodnotou proudu 2 A (RMS).*
- *Driver využívá rozhraní STEP/DIR pro řízení motoru pomocí kroků a směru otáčení. Umožňuje nastavení mikrokrokování s rozlišením 8, 16, 32 nebo 64 kroků na jeden krok motoru, což vede k plynulejšímu pohybu.*
- *Technologie MicroPlyer™ umožňuje interpolaci mezi kroky a dosažení až 256 mikrokroků na jeden elektrický krok motoru. Výsledkem je ještě plynulejší a tišší chod motoru.*
- *Funkce StealthChop2™ zajišťuje tichý provoz motoru minimalizací hluku vznikajícího při přepínání cívek.*
- *Technologie SpreadCycle™ optimalizuje řízení proudu v motoru, což umožňuje dynamickou akceleraci a deceleraci.*
- *Funkce StallGuard4™ umožňuje bezsenzorovou detekci zátěže a zastavení motoru. To je užitečné pro ochranu motoru před přetížením a detekci překážek v dráze.*
- *Technologie CoolStep™ řídí proud v motoru efektivněji, čímž dochází k výrazné úspoře energie (až o 75 %).*
- *Driver pracuje s napájecím napětím v rozsahu od 4,75 V do 29 V stejnosměrného proudu. [10]*

Já v mém projektu používám funkci StallGuard pro bezsenzorovou detekci zastavení kurníkových dvířek. Tato funkce mi umožní detekovat překážky v dráze dvířek a zabránit tak jejich poškození nebo zranění drůbeže.

Bohužel funkce StallGuard nelze používat současně s funkcí StealthChop, protože funkce StallGuard se spoléhá na analýzu zpětného EMF (elektromotorické síly) motoru pro detekci zastavení. StealthChop však aktivně potlačuje EMF, čímž znemožňuje StallGuardu fungovat správně.



Obrázek 14: Označení jednotlivých pinů ovladače
krokových motorů TMC2209 [20]

Tabulka 1: Vysvětlení funkcí jednotlivých pinů ovladače TMC2209 [11]

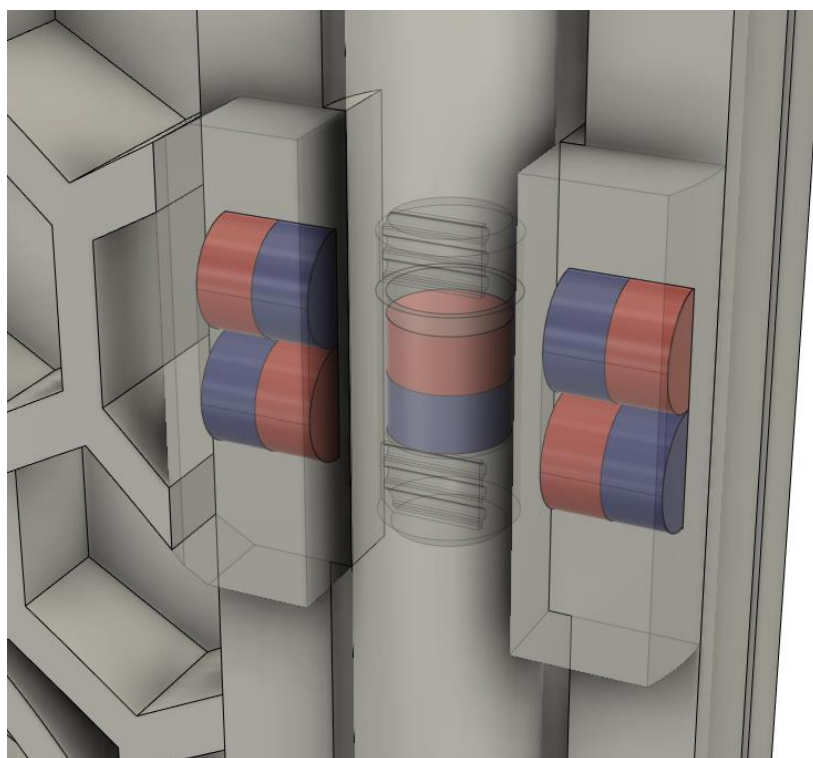
J1	Pin	Funkce	J2	Pin	Funkce
1	EN	Zapnutí	1	VM	Napájecí napětí
2	MS1	Nastavení mikrokroku	2	GND	Země
3	MS2	Nastavení mikrokroku	3	A2	Fáze A
4	PDN	UART	4	A1	Fáze A
5	PDN	UART	5	B1	Fáze B
6	CLK	Čas	6	B2	Fáze B
7	STEP	Pulzní vstup	7	VDD	Logické napětí
8	DIR	Vstup směru	8	GND	Země
DIAG	Diagnostický a StallGuard výstup selhání motoru nebo jednotky				
VREF	Analogové referenční napětí				
INDEX	Konfigurovatelný výstup index				

Tabulka 2: Konfigurace mikrokroků na ovladači TMC2209 [11]

MS2	MS1	Nastavení mikrokroků
GND	GND	8 mikrokroků
GND	VDD	32 mikrokroků
VDD	GND	64 mikrokroků
VDD	VDD	16 mikrokroků

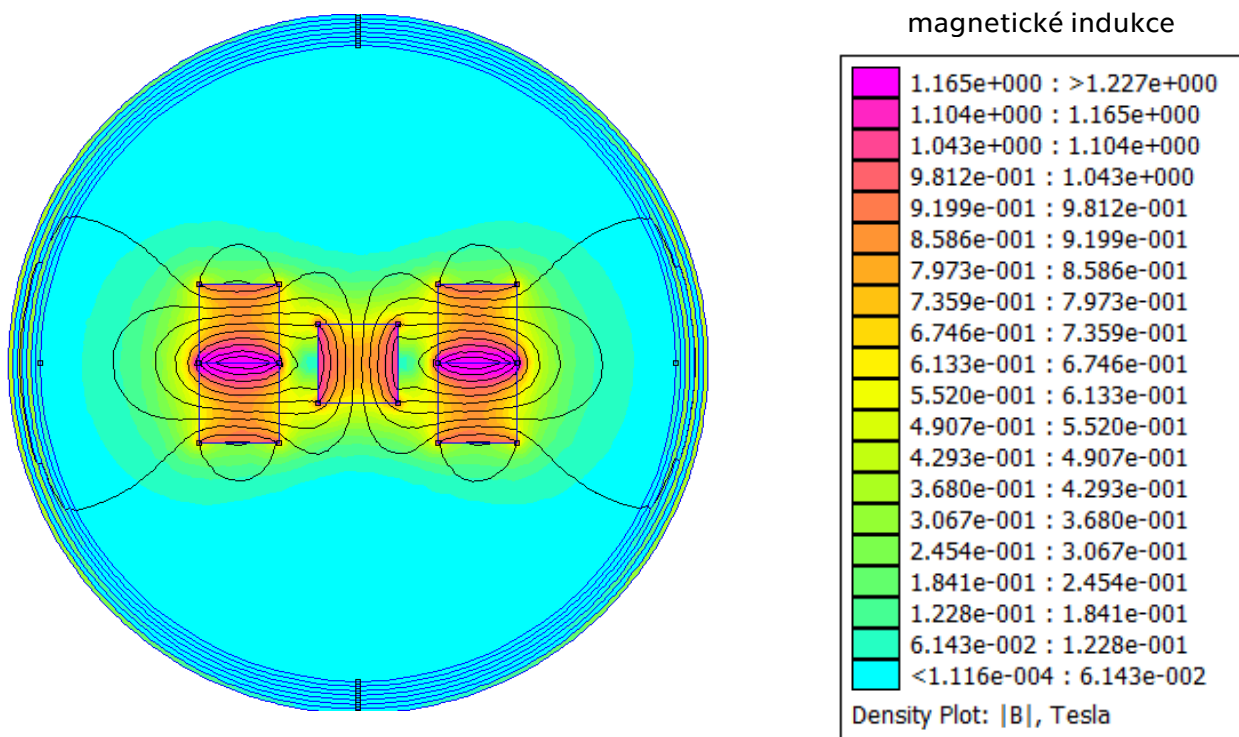
3.4 Mechanika pohybu dvířek

V mém projektu jsem zvolil pro pohyb dvířek lineární koncepci, která se obecně používá v mnoha aplikacích v průmyslu. Lineární mechanismy jsou robustní a odolné proti opotřebení. Zároveň nezabírají tolik místa v prostoru, jako například dvířka s výklopným pohybem dolů nebo do strany. Pro držení samotných dvířek na lineárních pojezdech jsem vytvořil unikátní systém pomocí neodymových magnetů, které hýbou s dvířky podle toho, jak je potřeba. Systém se skládá ze dvou částí, z vnitřního magnetu, který je umístěn uvnitř hliníkové trubky, takže je chráněn před vnějšími vlivy a nečistotami, a ze čtyřech vnějších magnetů, které jsou zapuštěné do samotného rámu dvířek. Vnitřní magnet je napojen na řemen, s kterým hýbe krokový motor dvířek. Tento magnet je držen uvnitř čtyřech vnějších magnetů magnetickými silami. Magnetické silové čáry vnějších magnetů tlačí severní pól středního magnetu dolů a jeho jižní pól nahoru, čímž ho udržují v centrální poloze. Tedy při pohybu vnitřního magnetu uvnitř trubky se společně s ním pohybují i celá dvířka. Tento mechanický princip je znázorněn na obrázku 15, kde je vidět umístění magnetů a jejich póly. Na obrázku 16 je vidět simulace tohoto principu, kde jsou znázorněny siločáry magnetického pole a intenzita v podobě magnetické indukce. Data v simulaci zahrnují hodnoty magnetické indukce (B) v Teslách (T) v každém bodě mřížky. Toto rozložení magnetů se podle mého testování a simulace jeví jako nejlepší volba z důvodu, aby vnitřní magnet nevyklouzl a byl co nejpevněji držen vnějšími magnety. Podle tabulky 3 v simulaci je vidět, že vazba mezi vnějšími magnety a vnitřním magnetem se nachází v rozmezí od 0,6133 Tesly do 0,6746 Tesly. Simulace byla prováděna v open source programu FEMM 4.2.



Obrázek 15: Princip funkce mechanismu pro pohyb dvířek

Tabulka 3: hodnoty intenzity magnetické indukce



Obrázek 16: Simulace magnetického pole v okolí mechanismu pro pohyb dvířek

3.5 Ovládání

V mém návrhu automatických kurníkových dvířek jsem pro ovládání zvolil kombinaci LCD displeje a rotačního enkodéru. Toto řešení skýtá oproti alternativním možnostem, jako jsou tlačítka, dotykové displeje, nebo joysticky, hned několik výhod:

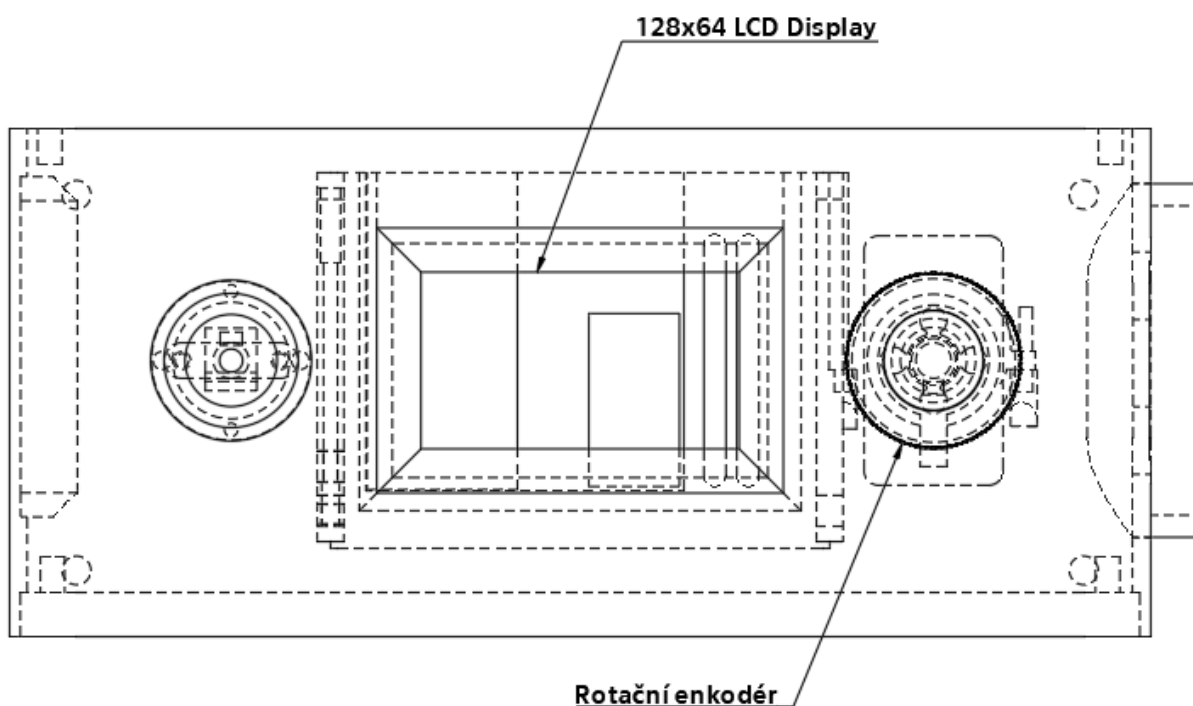
- **Intuitivní a snadné ovládání:** Rotační enkodér umožňuje intuitivní a snadné ovládání menu a funkcí dvířek. Otáčením enkodéru se uživatel pohybuje v menu a stisknutím tlačítka potvrzuje výběr. Toto intuitivní rozhraní je snadno pochopitelné i pro méně zkušené uživatele.
- **Mechanická odezva:** Rotační enkodér poskytuje uživateli mechanickou odezvu, která usnadňuje ovládání a snižuje riziko nechtěných změn nastavení. Oproti dotykovým displejům, kde chybí hmatová odezva, rotační enkodér uživateli jasně indikuje, zda byl jeho požadavek zaregistrován.
- **Možnost zobrazení informací:** LCD displej umožňuje zobrazovat různé informace o stavu dvířek jako je aktuální čas, datum, intenzita osvětlení, nastavený čas otevírání a zavírání a další. To usnadňuje uživateli kontrolu a ovládání dvířek a zároveň mu poskytuje přehled o jejich funkčnosti.

- **Vodotěsnost:** Vzhledem k tomu, že pro ovládání dvířek používám rotační enkodér, musel jsem vyřešit jeho vodotěsnost. Nechtěl jsem investovat do drahých vodotěsných rotačních enkodérů na trhu, které by zbytečně navýšily cenu celého projektu. Proto jsem se pustil do vlastního vývoje enkodéru, který by splňoval mé požadavky na funkčnost, odolnost a vodotěsnost. Toto téma více rozebírám v kapitole: Rotační enkodér. Samotný LCD displej je také utěsněn a chráněn proti vniknutí vody a prachu.
- **Nízká cena:** V porovnání s dotykovými nebo E-Ink displeji jsou LCD displeje a rotační enkodéry cenově dostupnější. To je důležitý faktor pro chovatele, kteří hledají spolehlivé a cenově dostupné řešení pro ovládání kurníkových dvířek.

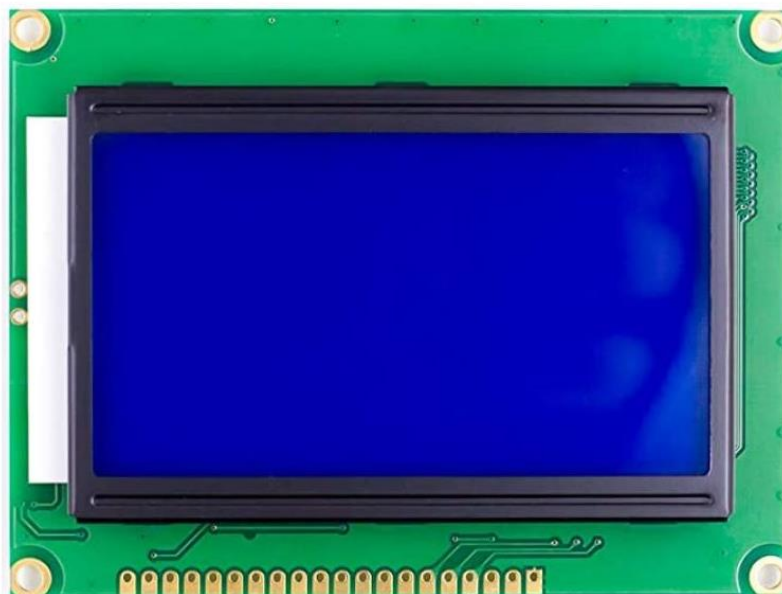
Z hlediska ovládání jsem zvažoval i alternativní možnosti jako jsou kapacitní tlačítka, která by umožňovala jednoduché utěsnění proti vodě. Přesto jsem se nakonec rozhodl pro rotační enkodér, především z důvodu mechanické odezvy, jednoduchosti a intuitivnosti na používání.

V mém návrhu jsem zvolil 128x64 grafický LCD displej, který nabízí dostatečný prostor pro zobrazení všech relevantních informací a zároveň je cenově dostupný.

Přemýšlel jsem také při návrhu o použití E-Ink displeje, které jsou atraktivní z hlediska estetiky a čitelnosti na slunci, ale pro toto použití jsou příliš drahé.



Obrázek 17: Ukázka ovládacího prvku a displeje na horním krytu zařízení



Obrázek 18: 128x64 LCD Displej [21]

3.6 Napájení

V mém projektu jsem zvolil síťové napájení, a to hned z několika důvodů. Tím hlavním důvodem je cena. V případě, že bych zvolil napájení z baterie, stoupla by cena celkového zařízení z důvodu vysoké ceny lithiových článků a nutnosti použití BMS (Battery Management System), který by monitoroval jednotlivé články v bateriovém packu. Samozřejmě se nabízí i možnost napájení z tužkových baterií, ale to by si vyžádalo rozsáhlé úpravy konstrukce zařízení a jeho optimalizaci pro maximální energetickou úspornost. Zároveň samotná baterie snižuje životnost celého zařízení.

Pro převod ze síťového napětí na stejnosměrných 12 V jsem zvažoval použití spínaného nebo lineárního zdroje. Obecně platí, že spínané zdroje přeměňují elektrickou energii s vysokou účinností a jsou podstatně menší než lineární zdroje. Na druhou stranu mají také své nevýhody, zejména složitější konstrukci a generování rušivých signálů.

Vzhledem k převažujícím výhodám jsem se rozhodl pro použití spínaného zdroje. Konkrétně jsem vybral 20 W izolovaný spínaný zdroj od společnosti Shenzhen Hi-Link Electronics, který disponuje ochranou proti přetížení a zkratu, čímž zajišťuje vysokou spolehlivost a bezpečnost v mém projektu.

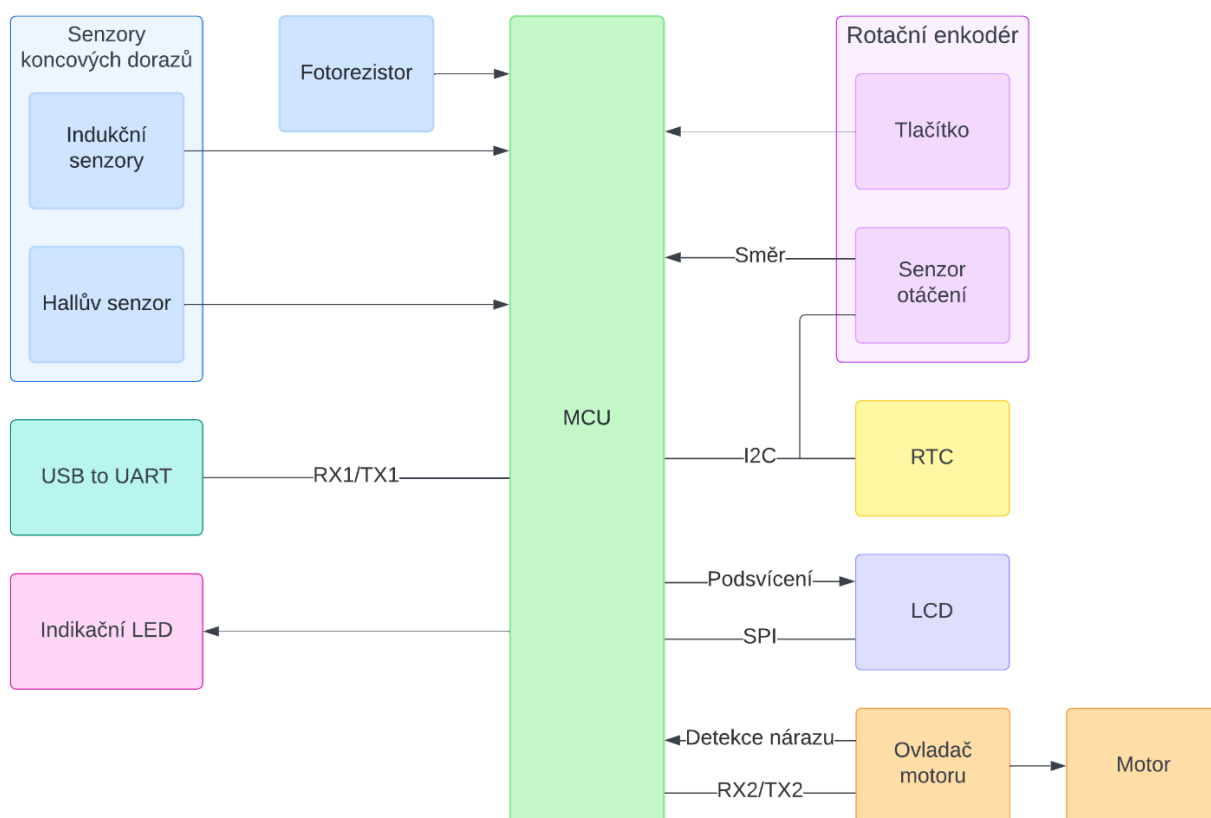
Napětí ze spínaného zdroje používám k napájení krokového motoru. Pro napájení ostatních částí zařízení je však potřeba napětí ještě snížit. K tomu jsem použil step-down měnič, také známý jako buck měnič, který snižuje napětí ze spínaného zdroje na 7 V. Tento měnič jsem zvolil kvůli jeho relativně vysoké účinnosti i při velkých změnách vstupního napětí, což jsem podrobně rozebral v kapitole 4.2.1.

Pro udržení stabilního výstupního napětí na úrovni 5 V a 3,3 V jsem použil lineární regulátory. Tyto regulátory mají sice nižší účinnost než například spínané regulátory, ale nabízejí jednoduchou konstrukci a vysoký činitel stabilizace. Účinnost a další parametry lineárního regulátoru blíže rozebírám v kapitole 4.2.2.

4 POSTUP A REALIZACE

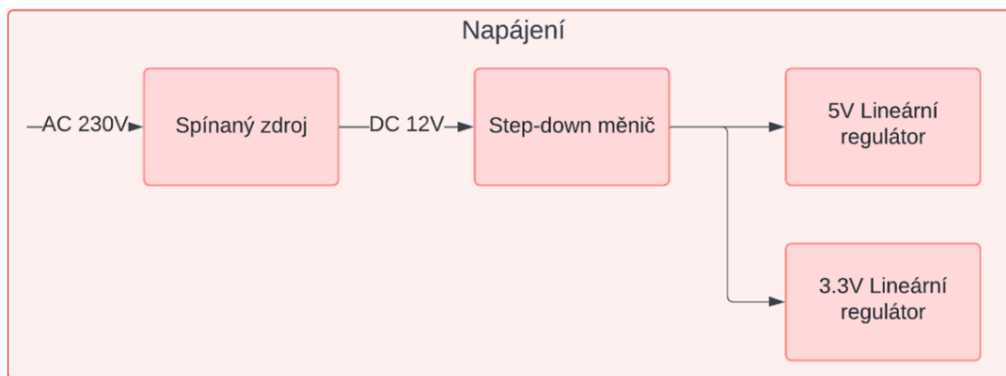
4.1 Blokové schéma

Blokové schéma (Obr. 19), které zobrazuje jednotlivé komponenty mého zařízení včetně typu komunikace mezi nimi. Modře jsou označeny senzory, které se dělí na senzory polohy pro splnění funkce koncových dorazů, jejichž úkolem je vyhodnotit v jaké poloze se dvířka nacházejí, a senzor intenzity světla (fotorezistor) pro splnění funkce zavírání dvířek dle osvětlení. Oranžově je označen krokový motor společně s jeho ovladačem, který s MCU komunikuje v obou směrech. Prostřednictvím rozhraní DIR/STEP jsou řízeny kroky motoru a směr otáčení. Dále je u ovladače využita sériová komunikace RX/TX pro nastavení parametrů motoru. Samotný ovladač do MCU také posílá data v podobě analogového signálu pro detekci nárazu. Mezi další periferie komunikující s MCU se řadí LCD displej, který komunikuje skrze rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface) a pomocí pinu BLK nastavuje podsvícení displeje.



Obrázek 19: Blokové schéma jednotlivých komponent a komunikace mezi nimi

Pro ovládání zařízení se zde nachází rotační enkodér, který jsem rozdělil na tlačítko a senzor otáčení. Samotný senzor komunikuje skrze rozhraní I2C (Inter-Integrated Circuit) stejně jako hodiny reálného času RTC (Real Time Clock) a pomocí DIR pinu který určuje směr rotace enkodéru. Tlačítko enkodéru je realizováno Hallovým senzorem, z kterého je snímána a vyhodnocována jeho analogová hodnota. Dále je v blokovém schématu znázorněno komunikační rozhraní USB to UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), které slouží k převodu datové komunikace mezi USB (Universal Serial Bus) portem a sériovým portem UART. Toto rozhraní se používá k propojení PC a samotného zařízení. No a poslední periferií je indikační LED, která slouží k indikaci stavu zařízení.



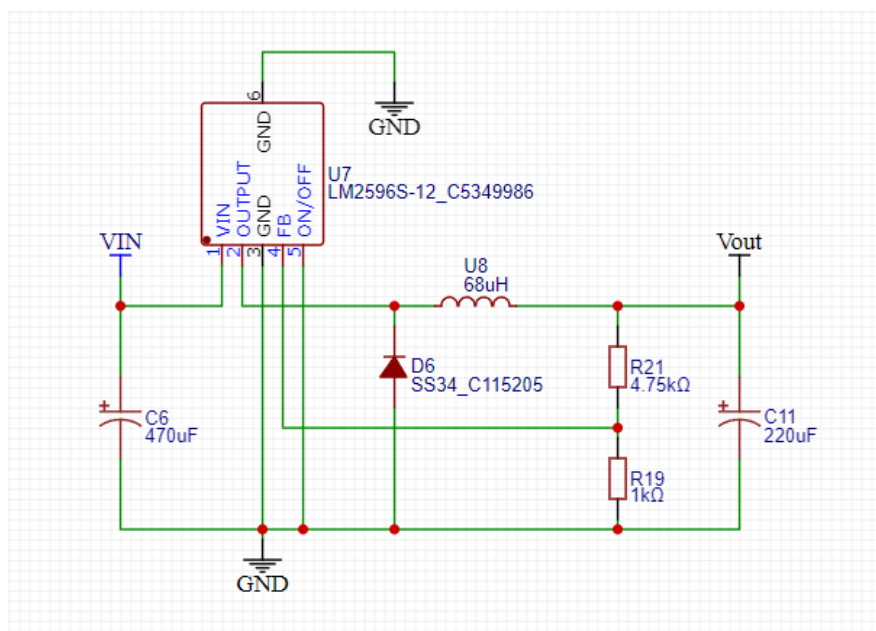
Obrázek 20: Blokové schéma napájecí části zařízení

Neméně významnou část blokového schématu tvoří napájení, které se skládá ze spínaného zdroje, jenž síťové napětí transformuje na stejnosměrné napětí 12 V a napájí tak krokový motor. Toto napětí se poté pomocí Step-down měniče sníží na 7 V a následně se prostřednictvím dvou lineárních regulátorů stabilizuje. 5 V lineární regulátor napájí převážně periferie, které nepoužívají napětí 3,3 V. Druhý lineární regulátor napájí samotné ESP32.

4.2 Návrh schématu

4.2.1 Step-down měnič

Pro snížení napětí ze spínaného zdroje jsem použil integrovaný obvod LM2596S od společnosti Texas Instruments, který v obvodu slouží jako snižující měnič. Tento obvod umožňuje nastavení výstupního napětí, které jsem v mém případě nastavil na 7 V. Buck měniče se vyznačují jejich vysokou účinností při převodu elektrické energie. Energie tedy není ztracena ve formě tepla.



Obrázek 21: Schéma Step-down měniče

Výpočet nastavujících odporů ve zpětné vazbě

Pro výstupní napětí měniče platí vztah:

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right) \quad (7)$$

$$V_{REF} = 1,23 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = 7 \text{ V}$$

Zvolím hodnotu $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right) = 1000 \Omega \cdot \left(\frac{7 \text{ V}}{1,23 \text{ V}} - 1\right) = 4691 \Omega$$

Tedy nejbližší hodnota odporu je 4,7 kΩ

S dosazením vypočítaných odporů výstupní hodnota napětí vychází podle vzorce (7)

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1,23 \text{ V} \cdot \left(1 + \frac{4700 \Omega}{1000 \Omega}\right) = 7,01 \text{ V}$$

Výpočet účinnosti

$$V_{IN} = 12 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = 7 \text{ V}$$

(Naměřil jsem na výstupu Buck měniče 7,33 V což se lehce liší od teoretické hodnoty. Tato odchylka může být způsobena nepřesnými hodnotami odporů R21 a R19, které slouží jako odporový dělič pro vytvoření napětí do zpětné vazby regulátoru. V mém případě tato odchylka ale nehraje nijak zásadní roli, jelikož se hned za měničem nachází regulátor, který napětí stabilizuje.)

$$\text{Změřený výstupní proud měniče: } I_{OUT} = 150,8 \text{ mA}$$

$$\text{Změřený vstupní proud do měniče: } I_{IN} = 122,4 \text{ mA}$$

$$\text{Výstupní výkon měniče: } P_2 = V_{OUT} \cdot I_{OUT} = 7,33 \text{ V} \cdot 150,8 \text{ mA} = 1,1054 \text{ W}$$

$$\text{Příkon měniče: } P_1 = V_{IN} \cdot I_{IN} = 12 \text{ V} \cdot 122,4 \text{ mA} = 1,4688 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{1,1054 \text{ W}}{1,4688 \text{ W}} \cdot 100\% = 75,3 \%$$

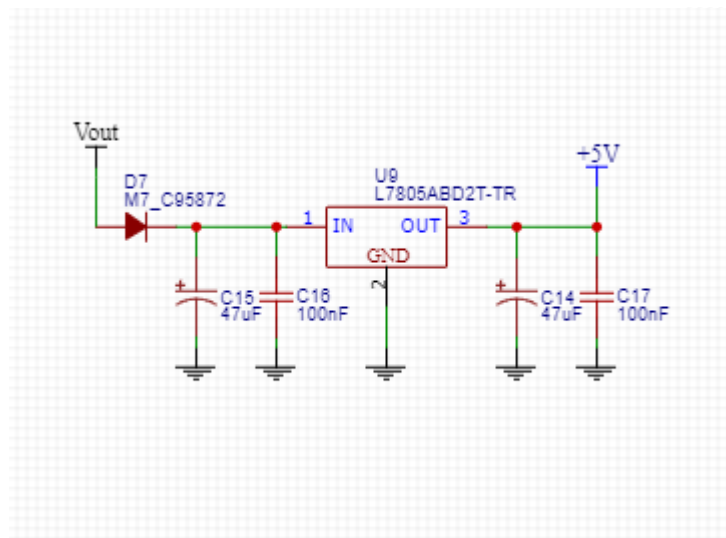
4.2.2 Lineární regulátory

Pro zajištění stabilního napájení v mém projektu jsem zvolil lineární regulátory, známé také jako LDO (Low Drop-Out) regulátory. Motivací pro výběr těchto regulátorů byla jejich schopnost udržet vysokou kvalitu výstupního napětí, minimalizovat šum a snižovat rušení v systému. Tento typ regulátorů jsem zvolil i pro jejich jednoduchou implementaci a relativně nízkou cenu.

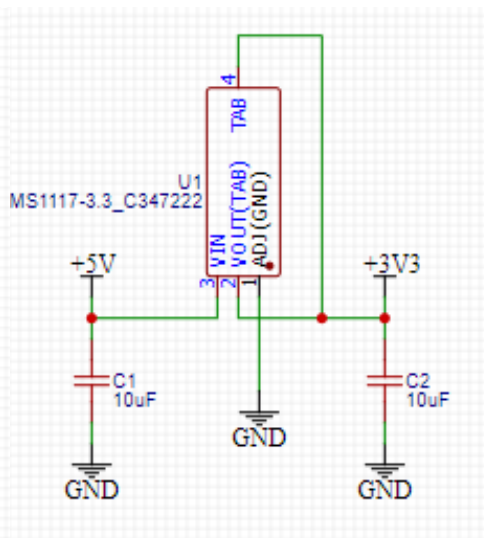
Lineární regulátory mají však své omezení v účinnosti, což znamená, že část energie je ztracena ve formě tepla. Tato nevýhoda je však v mém konkrétním případě, kde zařízení je napájeno ze sítě, zanedbatelná.

Pro dosažení požadovaných napěťových úrovní jsem použil dva lineární regulátory. První zajišťuje stabilní 5V napětí pro napájení periférií zařízení (Obr. 22), zatímco druhý reguluje napětí na 3,3 V pro napájení samotného mikrokontroléru (Obr. 23). Pro tyto účely jsem vybral lineární stabilizátory LM7805 a AMS1117, které jsou stále v současné době široce využívány.

Je však nutné dbát na to, aby rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím nebyl příliš velký, abychom udrželi tepelné ztráty na přijatelné úrovni.



Obrázek 22: Schéma lineárního regulátoru 5 V



Obrázek 23: Schéma lineárního regulátoru 3,3 V

Výpočet výkonové ztráty

Změřené vstupní napětí: $V_{IN} = 7,33 \text{ V}$

Výstupní napětí: $V_{OUT} = 5 \text{ V}$

$V_{REG} = V_{IN} - V_{OUT} = 7,33 \text{ V} - 5 \text{ V} = 2,33 \text{ V}$ (dropout voltage)

$I_{IN} = I_{OUT} + I_Q$

Kde:

I_{IN} – Vstupní proud regulátoru

I_{OUT} – Výstupní proud zátěže

I_Q – Proud jdoucí do samotného regulátoru, který se skládá z proudů na chybovém operačním zesilovači (Error Amplifier), napěťové reference a zpětné vazby [12]

Vzhledem k tomu, že $I_{OUT} \gg I_Q$ tak hodnotu proudu I_Q zanedbám

Tedy platí: $I_{IN} = I_{OUT} = 150,8 \text{ mA}$

Výkonová ztráta: $P_{7805} = V_{REG} \cdot I_{OUT} = 2,33 \text{ V} \cdot 150,8 \text{ mA} = 0,35 \text{ W}$

Když tuto hodnotu vynásobíme tepelným odporem R_{JA} pro pouzdro LM7805, který se podle datasheetu rovná hodnotě: $65 \text{ }^\circ\text{C/W}$ získáme teplotu T_{REG} , které regulátor dosáhne při dané zátěži. [13]

Tedy: $T_{REG} = R_{JA} \cdot P_{7805} = 65 \text{ }^\circ\text{C/W} \cdot 0,35 \text{ W} = 22,75 \text{ }^\circ\text{C}$

Výpočet účinnosti regulátoru

$I_{IN} = I_{OUT} = 150,8 \text{ mA}$

Výstupní výkon regulátoru: $P_2 = V_{OUT} \cdot I_{OUT} = 5 \text{ V} \cdot 150,8 \text{ mA} = 0,754 \text{ W}$

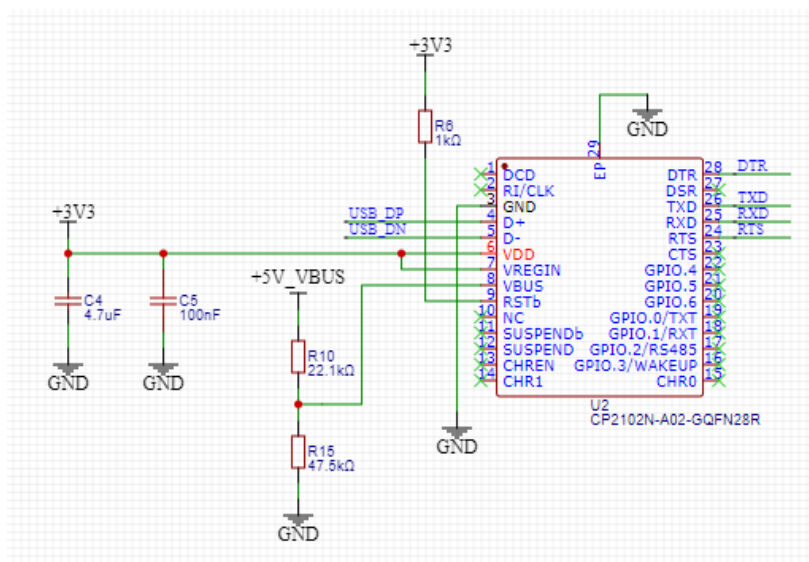
Vstupní výkon regulátoru: $P_1 = V_{IN} \cdot I_{IN} = 7,33 \text{ V} \cdot 150,8 \text{ mA} = 1,1 \text{ W}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{0,754 \text{ W}}{1,1 \text{ W}} \cdot 100\% = 68,5 \%$

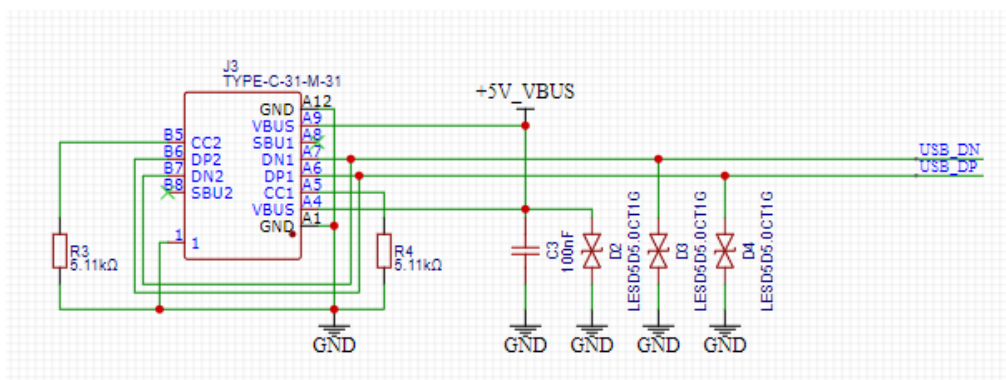
4.2.3 USB to Serial

Pro propojení zařízení s počítačem jsem implementoval USB to UART převodník pro efektivní komunikaci s mikrokontrolérem. V tomto návrhu byl využit čip CP2102N, jak je naznačeno na obrázku 24. Vlevo na schématu jsou vidět datové vodiče, které přicházejí z USB konektoru, a vpravo výstupy TXD a RXD, které jsou připojeny k mikrokontroléru. Na obrázku 25 je zapojení USB C konektoru, kde kromě samotného konektoru jsou zřetelné i ESD ochranné diody sloužící k odvádění elektrostatických nábojů.

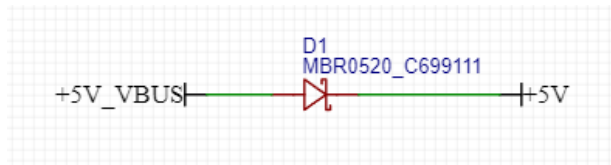
Na obrázku 26 je Shottkyho dioda, která byla implementována jako automatický selektor napájecího napětí, přičemž umožňuje efektivní přepínání mezi zdrojem z USB nebo z regulátoru. Je to jednoduché a levné řešení umožňující volbu zdroje napájení. Současně dioda v případě přítomnosti obou zdrojů blokuje zpětný proud, což eliminuje možné ovlivňování a kolize mezi těmito zdroji.



Obrázek 24: Schéma USB to serial převodníku



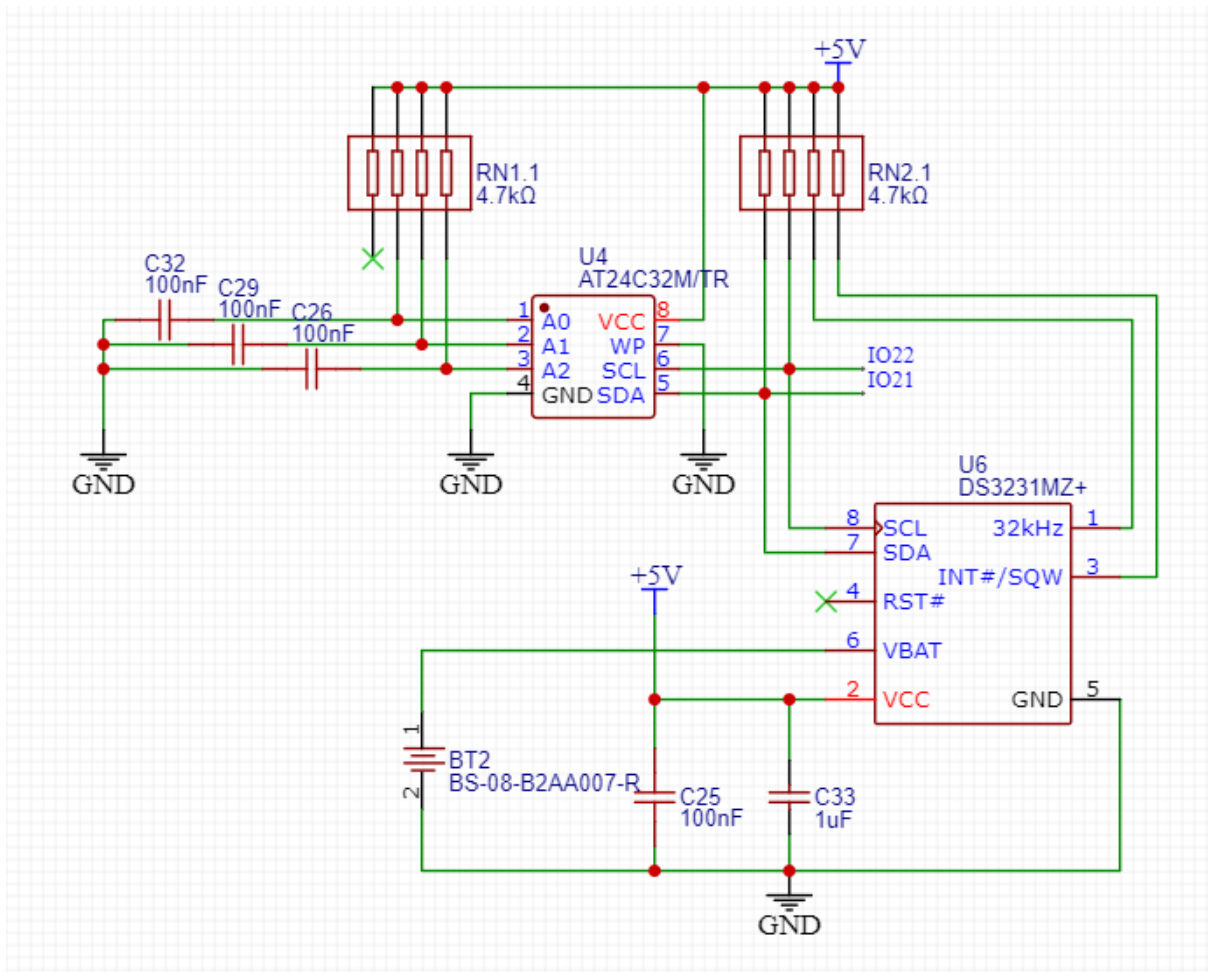
Obrázek 25: Schéma zapojení USB konektoru



Obrázek 26: Shottkyho dioda v zapojení jako 5 V selektor

4.2.4 RTC (Hodiny reálného času)

Do zařízení jsem také implementoval hodiny reálného času (RTC) s využitím integrovaného obvodu DS3231, který představuje přesné řešení pro sledování času v elektronických aplikacích. DS3231 je populární RTC obvod, který kombinuje vysokou přesnost s integrovaným teplotním kompenzátorem. Pro zachování aktuálního času i při výpadku napájení je ve schématu implementována baterie, sloužící jako záložní zdroj napájení. Pro propojení mezi RTC modulem a mikrokontrolérem byla použita I2C sběrnice.

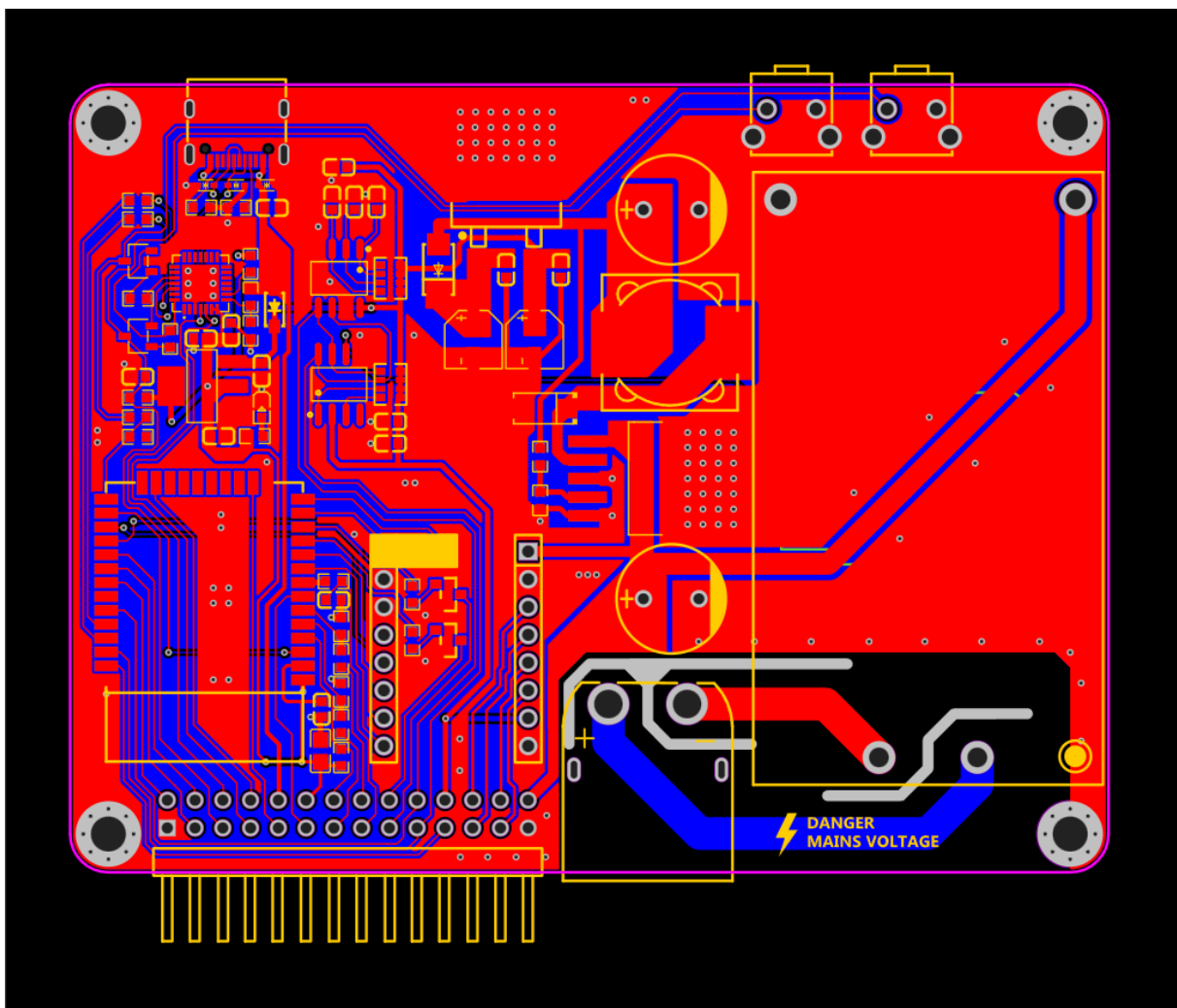


Obrázek 27: Schéma zapojení hodin reálného času

4.3 Návrh DPS

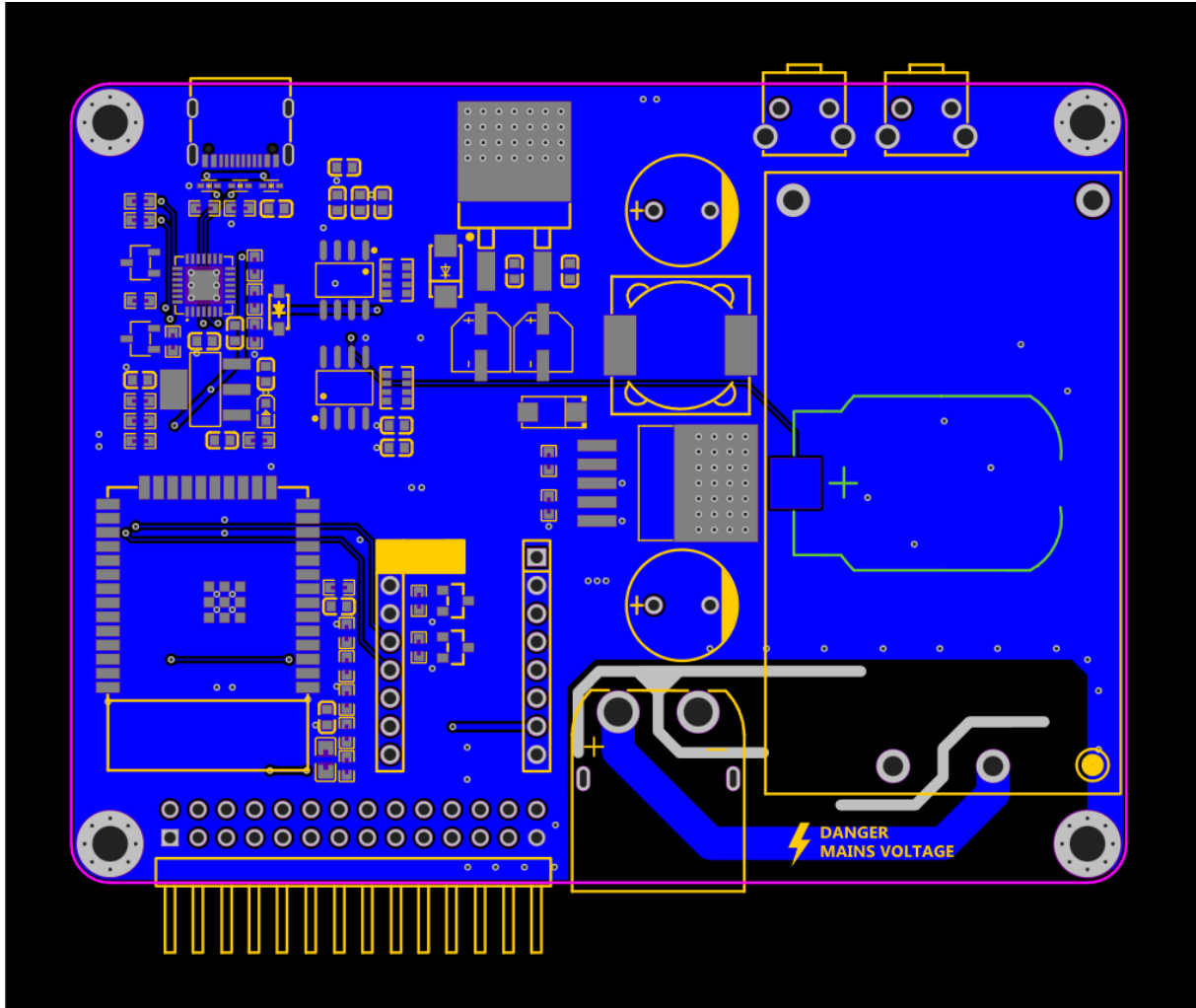
Pro realizaci návrhu desky plošného spoje jsem použil prostředí EasyEDA, ve kterém jsem nejdříve vytvořil schémata jednotlivých zapojení, která byla zmíněna v kapitole 4.2. Až poté jsem navrhl samotnou desku tištěných spojů. Jedná se o dvouvrstvou DPS, kde horní vrstva slouží k propojení jednotlivých komponent (Obrázek 28), zatímco spodní vrstva je převážně tvořena jednolitou vrstvou a je spojena s uzemněním (GND) (Obrázek 29).

Na obrázku 28 jsou jasně viditelné dva konektory. První slouží k přívodu napájení 230 V AC, zatímco druhý umožňuje komunikaci mikrokontroléru s jednotlivými periferiemi jako jsou všelijaké senzory, motor, displej enkodér atd. V pravé části desky naleznete napájecí sekci obsahující spínaný zdroj, step-down měnič a lineární regulátor. Naopak v levé části se nachází logická část s USB rozhraním, obvodem reálných hodin, mikrokontrolérem a patičí pro připojení ovladače krokového motoru.



Obrázek 28: Horní vrstva DPS

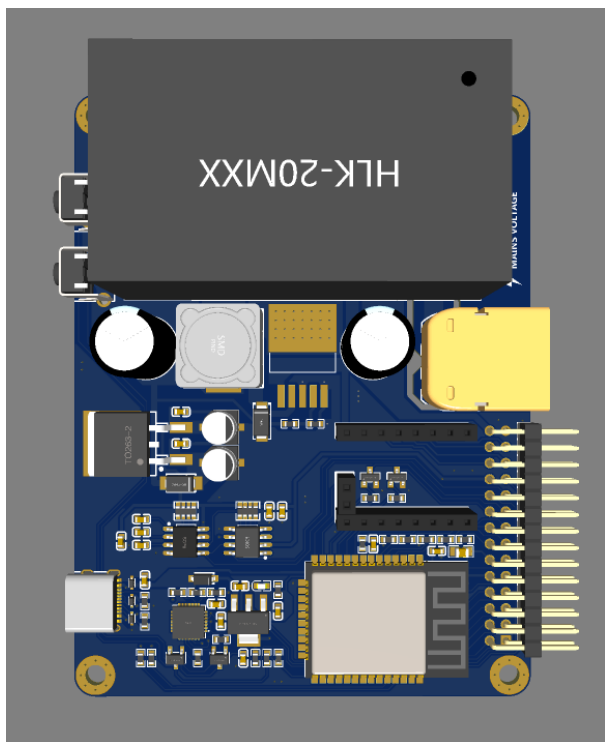
U součástek, které vyzařují odpadní teplo, jsem na DPS pomocí vias udělal propojení součástky se spodní vrstvou, která se postará o dostatečný odvod tepla. Po dokončení návrhu plošného spoje jsem vygeneroval gerber soubory a desku jsem nechal vyrobit u společnosti JLCPCB.



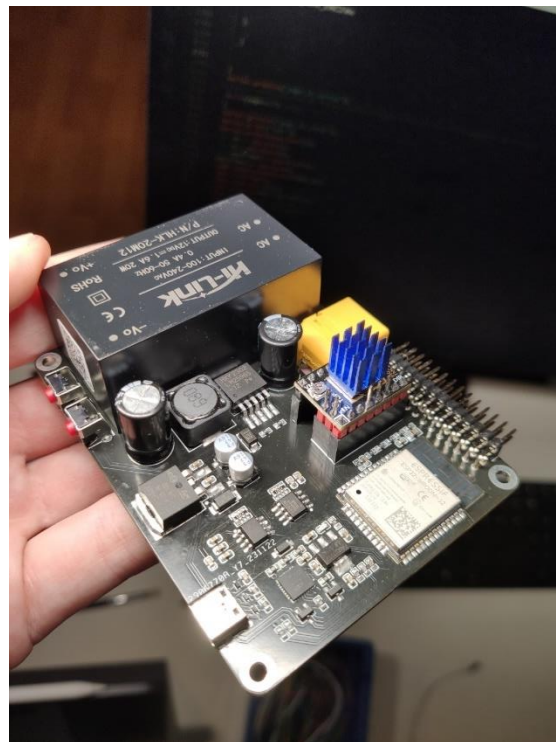
Obrázek 29: Spodní vrstva DPS

4.4 3D Model a realizace

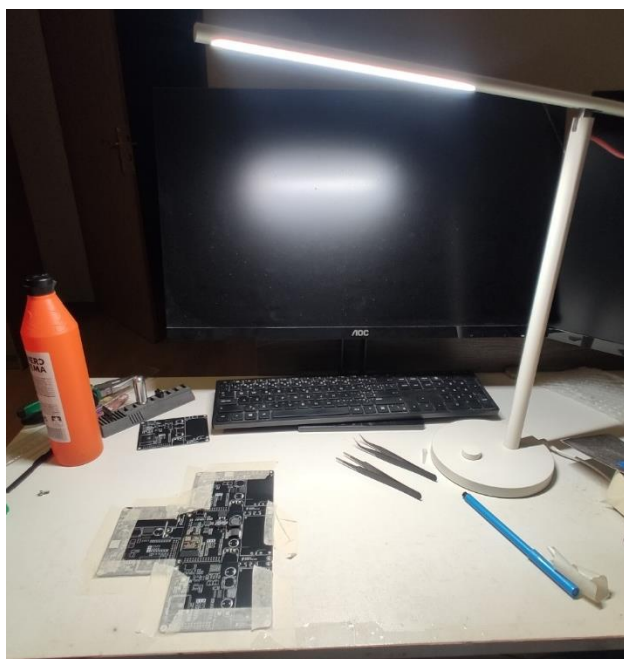
Na obrázku 30 je 3D model, který jsem vygeneroval v prostředí EasyEDA. Na obrázku 31 už je vidět hotová základní deska. Na obrázku 32 je vidět proces nanášení pájecí pasty přes šablonu na desku plošných spojů. Na obrázku 33 je vidět open source reflow pec na zapékání DPS.



Obrázek 30: 3D model základní desky



Obrázek 31: Reálná zhotovená a osazená deska plošných spojů



Obrázek 32: Nanášení pájecí pasty na DPS



Obrázek 33: Open Source Reflow pec

4.5 Program

4.5.1 Popis funkce

Program běží na dvou jádrech ESP32 a je rozdělen do dvou hlavních částí:

Jádro 1

Zajišťuje převážně výpis menu a kontroluje uživatelské vstupy

- Vypisuje se menu a kontrolují se hodnoty enkodéru a tlačítek v jednotlivých jeho částech.

V případě stisknutí tlačítka

- Zjistí se aktuální poloha enkodéru a podle ní se provede navigace v menu (vpřed/vzad). Aktualizované menu se poté znovu vypíše na displej.

V cyklu zobrazujícím informační panel

- Běží mimo jiné funkce pro kontrolu času zavírání (v závislosti na zvoleném stylu).
- Funkce pro výpočet zbývajících času do zavření/otevření dvířek.

Jádro 2

Zajišťuje sběr dat a pomocné funkce

- Načítají se hodnoty času a data.
- V cyklu je také časovač pro podsvícení displeje, tedy pokud uplyne časový limit, přepne displej do režimu spánku (spořič obrazovky).
- Načítají a zapisují se hodnoty do EEPROM paměti.
- Pro každé místo v menu se načítá a aktualizuje hodnota enkodéru.

V případě změny polohy enkodéru

- Rozsvítí se displej a aktualizují se proměnné pro navigaci v menu.

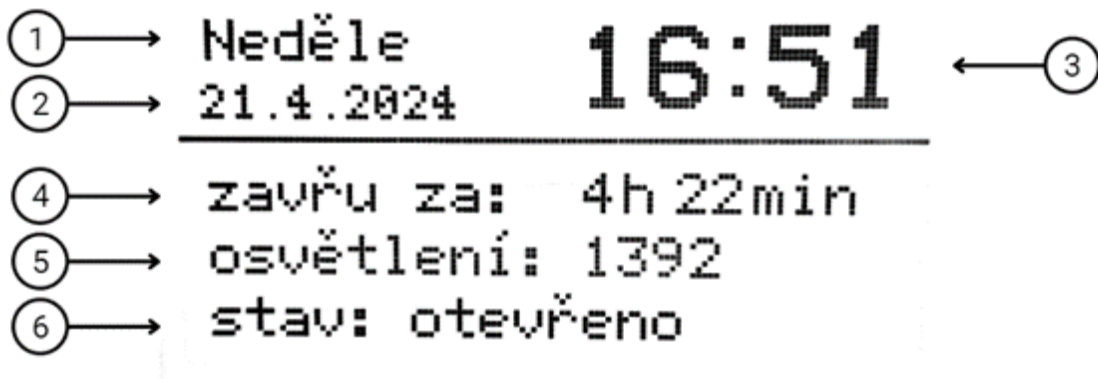
Důvod rozdělení

Toto rozdělení úloh mezi jádra jsem provedl z důvodu, že operace s displejem (vypisování a vykreslování hodnot) jsou časově náročnější než sběr dat ze senzorů a periférií (např. enkodéru). Rozdělením úloh se dosáhne plynulého a responzivního chodu programu, i když je zobrazováno menu a zároveň se sbírají data ze senzorů.

Režim spánku

Program obsahuje režim spánku, který se aktivuje po určité době nečinnosti. V tomto režimu se displej vypne a zobrazí se animace spící slepice. Pro aktivaci programu z režimu spánku stačí stisknout tlačítko nebo pohnout enkodérem. V případě, že je displej v režimu spánku a dojde k sepnutí zavírání/otevírání dvířek, displej se automaticky aktivuje a zobrazí příslušná data.

4.5.2 Informační panel



Obrázek 34: Informační panel zařízení

1. Aktuální den v týdnu
2. Datum
3. Čas
4. Odhad zbývajících času do zavření/otevření
5. Orientační hodnota intenzity světla
6. Stavový, informační řádek

4.5.3 Hierarchie LCD menu

- Informace
- Nastavení
 - Zavírání
 - Světelný senzor
 - Automatické
 - Manuální
 - Časovač
 - Senzor a časovač
 - Světelný senzor
 - Automatické
 - Manuální
 - Časovač
 - Otevírání
 - Světelný senzor
 - Automatické
 - Manuální
 - Časovač
 - Senzor a časovač
 - Světelný senzor
 - Automatické

- Manuální
 - Časovač
 - Detekce nárazu
 - Citlivá
 - Hrubá
 - Vypnout
 - Rychlost
 - Pomalu
 - Středně
 - Rychle
 - Obrazovka
 - Kontrast
 - Spořič obrazovky
 - Vrácení
 - Vypnutí
 - Čas
 - Datum
-
- Ruční ovládání
 - Otevřít
 - Zavřít
 - Kalibrace
 - Koncové dorazy
 - Reset
 - Statistiky
 - Čas zavření
 - Čas otevření
 - zařízení
 - SN
 - SW
 - MCU

4.5.4 Ruční ovládání

V režimu ručního ovládání má uživatel možnost pomocí dvou příkazů (otevřít/zavřít) ovládat dvířka dle jeho uvážení. Na obrázku 35 je vidět, že po stisknutí tlačítka se na displeji zobrazí políčko s nápisem, jaká akce se aktuálně provádí. Případné pozastavení otevírání se provádí dalším stiskem tlačítka.



Obrázek 35: Ukázka menu pro ruční ovládání (Otevírám)

Po otevření/zavření dvířek se na displeji zobrazí nápis Otevřeno/Zavřeno a opětovným stisknutím tlačítka se dostanete zpět do menu.



Obrázek 36: Ukázka menu pro ruční ovládání (Otevřeno)

4.5.5 Režim spánku

Na obrázku 37 je vidět animace, která se zobrazí po určité době nečinnosti společně se zhasnutím displeje.



Obrázek 37: Ukázka animace pro režim spánku

4.5.6 Bezdrátová komunikace ESP32 a Raspberry Pi prostřednictvím MQTT

Po dokončení Bakalářské práce v rámci zadání jsem si jako semestrální projekt v předmětu NSI (Návrh systémů IoT) zvolil implementaci bezdrátové komunikace mezi ESP32 a Raspberry Pi pomocí MQTT brokera. Cílem bylo vytvořit webové rozhraní umožňující komunikaci s těmito zařízeními přes Wi-Fi, aby bylo schopné získávat data ze zařízení a také do zařízení posílat příkazy. Tento projekt jsem si zvolil jako potenciální vylepšení mé bakalářské práce.

Podařilo se mi zprovoznit webové rozhraní (Obr. 38) a zajistit komunikaci mezi zařízeními. Nicméně narazil jsem na problém s používáním pinů ADC2 na ESP32 při aktivním Wi-Fi připojení. Toto omezení znamená, že nelze využívat jeden ze dvou analogově-digitálních převodníků, který je připojen k pinům GPIO 2, 4, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27. Z těchto pinů využívám čtyři pro analogové vstupy. Při původním návrhu základní desky jsem s tímto rozšířením nepočítal, a proto se tento problém objevil až při implementaci tohoto rozšíření.

Teoreticky by bylo možné použít ADC1 pro analogové vstupy, který by neměl být ovlivněn konfigurací Wi-Fi, ale byla by nutná úprava hardwaru. Tato verze základní desky toto rozšíření neobsahuje, ale budu se jeho implementací zabývat do budoucna.



Obrázek 38: Webové rozhraní

4.6 Konstrukce

4.6.1 Proces vývoje

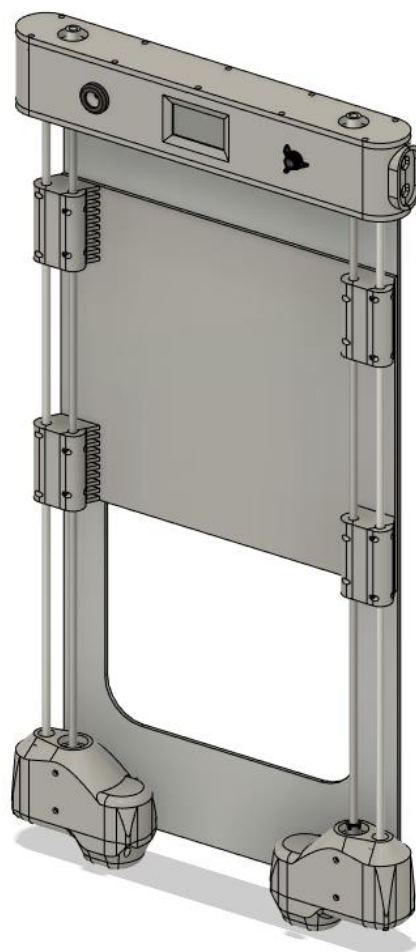
Při návrhu konstrukce automatických kurníkových dvířek jsem se zaměřil na odolnost proti nepříznivým vnějším vlivům jako je déšť, mráz a znečištění v okolí kurníku. Moje myšlenky a nápady se během vývoje postupně vyvíjely a procházely různými fázemi, než jsem dospěl k finálnímu řešení.

První prototyp

Zpočátku jsem navrhl systém s dvěma krokovými motory umístěnými v dolní části dvířek. Motory by byly poháněny závitovými tyčemi, na kterých by byla dvířka uchycena. Toto řešení slibovalo robustnost a odolnost proti vlhkosti, avšak po důkladné analýze jsem ho musel zavrhnout. Hlavním problémem se ukázala být náchylnost závitových tyčí k znečištění a zanesení během provozu, což by mohlo vést k poruchám a znemožnit spolehlivý chod dvířek. Navíc by tato varianta znamenala vysoké náklady z důvodu nutnosti pořízení dvou krokových motorů a jejich převodů.



Obrázek 39: První prototyp zařízení
zepředu



Obrázek 40: První prototyp
zařízení z boku

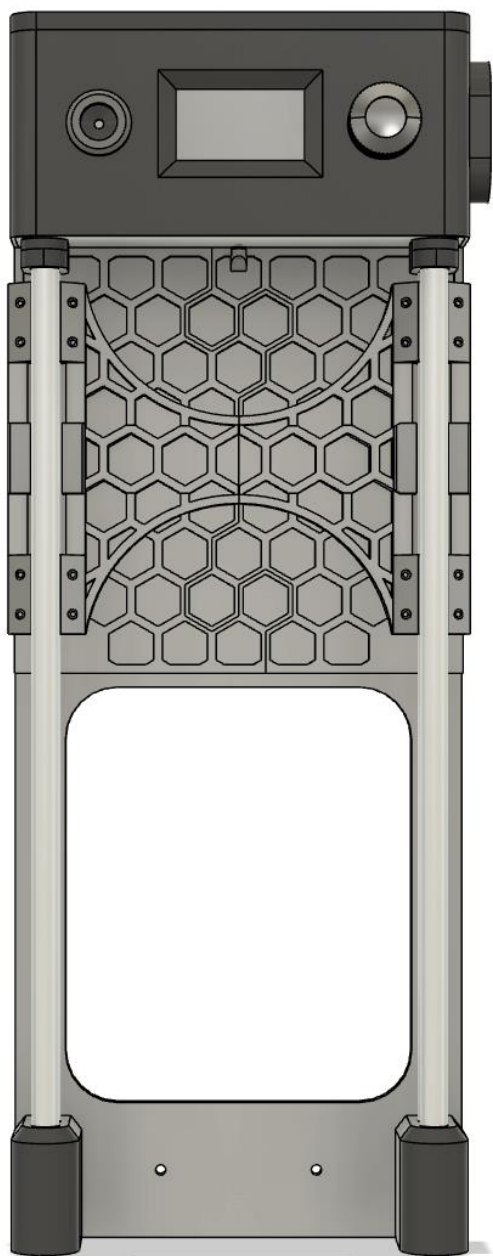
Druhý prototyp

Hledal jsem alternativní řešení a napadl mě systém s magnetickým uchycením dvířek. Magnety by držely dvířka při jejich pohybu a zároveň by zajišťovaly, aby se k mechanické části nedostala voda. V tomto duchu jsem provedl experimenty a ověřil si funkčnost magnetického principu. Nechal jsem se trochu unést představivostí a navrhl jsem hydraulický systém pro ovládání dvířek. Tento systém by fungoval tak, že by magnety byly umístěny uvnitř trubek a tlak kapaliny by je posouval, čímž by se dvířka otevírala a zavírala. Zkoušel jsem různé typy čerpadel, od peristaltických až po zubová, ale narazil jsem na technické problémy s úniky kapaliny a regulací tlaku, což by vyžadovalo množství ventilů. Zubová čerpadla by navíc znamenala vysoké náklady a velké rozměry.

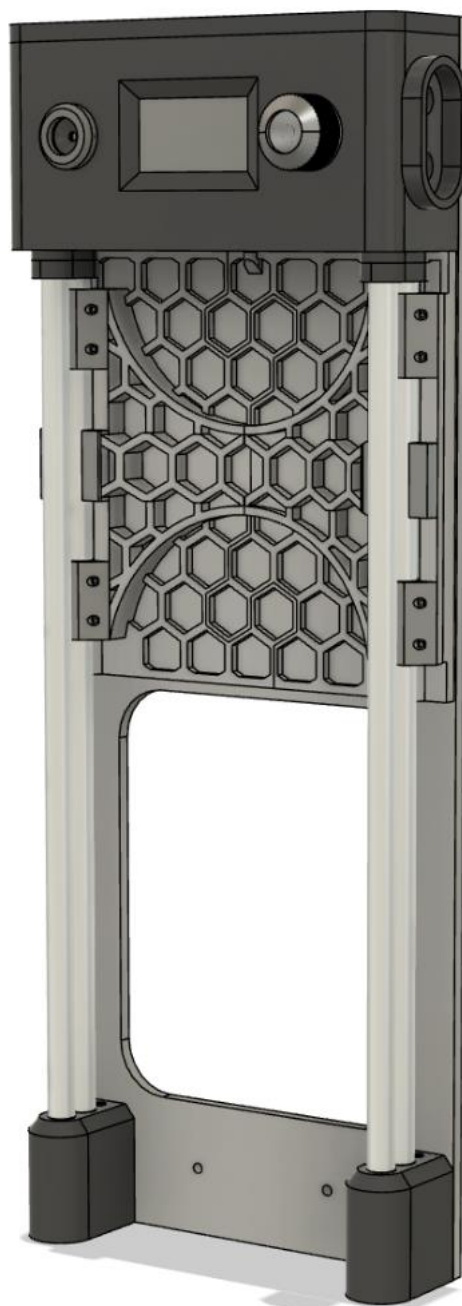
Třetí prototyp

Po sérii neúspěšných pokusů jsem zůstal u magnetického uchycení dvířek, ale s vylepšeným mechanismem. V tomto finálním řešení magnety uvnitř trubek stále drží dvířka, ale k jejich pohybu slouží řemeny poháněné jedním krokovým motorem umístěným v horní části dvířek. Řemeny zajišťují plynulý a spolehlivý pohyb dvířek a zároveň tím, že je celý mechanismus umístěn uvnitř zařízení, eliminují jeho zanesení prachem nebo zničení vlhkostí.

Zařízení jsem zhruba po třech dnech sestavil a po zapnutí jsem zjistil, že nefunguje. Měl jsem chybu v návrhu spojovacího konektoru základní desky a zároveň deska plošných spojů na enkodéru, která zajišťovala snímání jeho rotace, se vyzkratovala skrze piny na zadní části desky. Piny se totiž dotkly na přiléhajícím ložisku. Zanalyzoval jsem tedy škody způsobené touto chybou, objednal poškozené součástky a změnil jsem návrh spojovací DPS, kterou jsem následně znovu objednal. Po opětovném rozložení a složení se mi zařízení povedlo zprovoznit. Model finálního zařízení je vidět na obrázcích 41 a 42.



Obrázek 41: Třetí prototyp zařízení
zepředu



Obrázek 42: Třetí prototyp
zařízení z boku

4.6.2 Pohon

Pohon automatických kurníkových dvířek je navržen tak, aby zajišťoval plynulý a spolehlivý pohyb dvířek s minimálními nároky na údržbu. Konstrukce se skládá z následujících hlavních komponent:

Hřídel

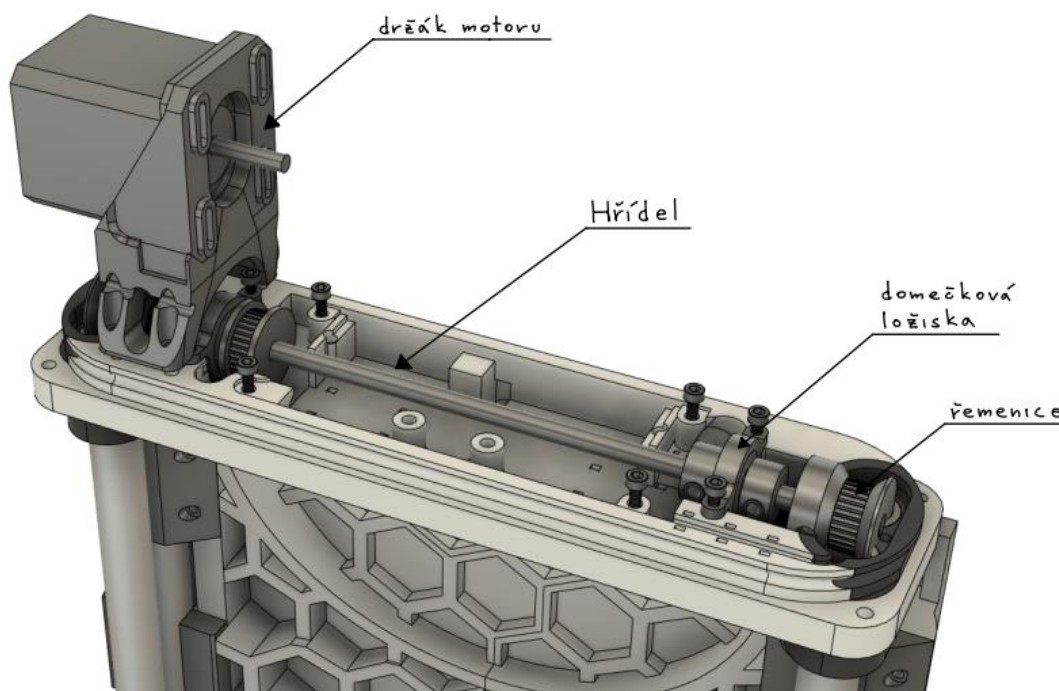
- Hřídel je umístěna v horní části zařízení a slouží jako osa pro otáčivý pohyb.
- Je vyrobena z oceli o dostatečné pevnosti a tuhosti, aby se zamezilo nechtěnému prohýbání
- Je uložena ve dvou domečkových ložiscích pro zajištění plynulého otáčení a minimalizaci tření.
- Hřídel je vymezena úchyty proti axiálnímu posunu pro zajištění stability a přesnosti pohybu.

Řemenice

- Na koncích hřídele jsou umístěny dvě řemenice pro GT2 řemen.
- Řemenice jsou vytištěny z polykarbonátu pro lepší životnost a menší opotřebení

Držák motoru

- V levé části obrázku 43 je vidět držák motoru, který navíc obsahuje antivibrační gumové prvky, nacházející se mezi držákem a motorem, ale i pod šrouby na uchycení.
- Tyto gumové prvky slouží k zabránění přenosu vibrací do těla zařízení.



Obrázek 43: Model pohonu zařízení ve Fusionu 360



Obrázek 44: Reálná ukázka pohonu zařízení

Řemen

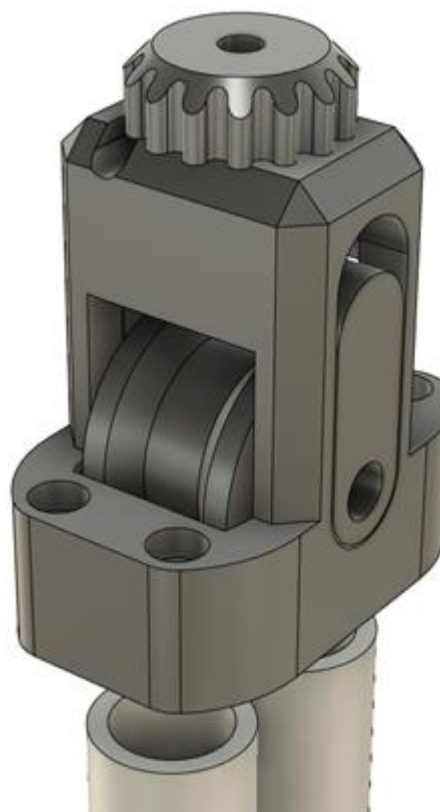
- Řemen GT2 spojuje řemenice na hřídeli s magnetem umístěným uvnitř trubek.
- Řemen prochází skrze trubky přes horní řemenice dolů k napínákům a je spojen krytem magnetu.
- Zubový profil řemene zajišťuje synchronní a plynulý pohyb dvířek.

Napínáky

- V dolní části zařízení jsou umístěny napínáky pro zajištění optimálního napnutí řemene.
- Napínáky usnadňují kompletaci pohonné části zařízení, protože řemeny se nasazují povolene a až poté se napnou na požadovanou hodnotu.
- Správné napnutí je klíčové při kalibraci řemenů.



Obrázek 45: Model napínáku ve Fusionu 360 s krytem



Obrázek 46: Model vnitřní části napínáku ve Fusionu 360

4.6.3 Dvířka

Konstrukce dvířek se skládá z následujících částí:

Plástvový vzor

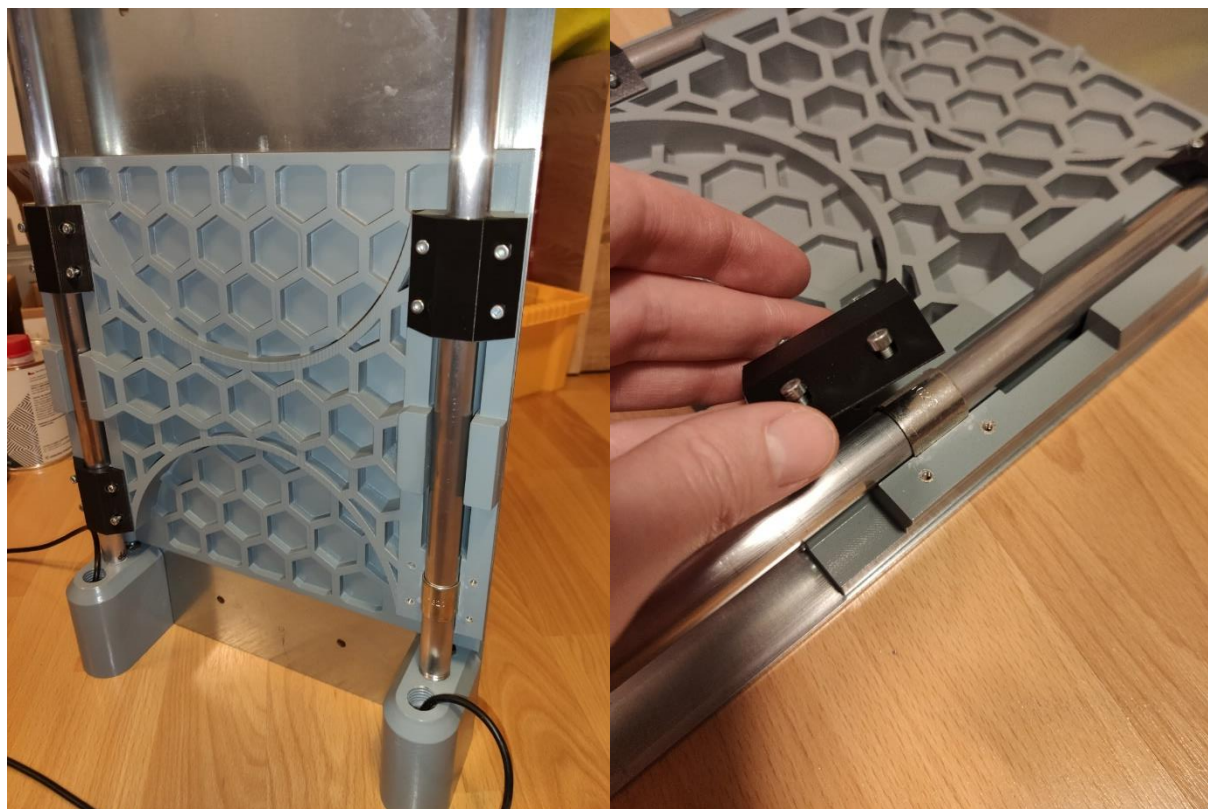
- Dvířka jsou tvořena plástvovým vzorem složeným z šestiúhelníkových panelů.

Tento vzor má několik výhod

- **Úspora materiálu:** Šestiúhelníkový vzor umožňuje efektivnější využití materiálu při tisku 3D tiskárnou, čímž se snižuje spotřeba materiálu a náklady na výrobu.
- **Lepení:** Dvířka jsou příliš velká, tedy se nevešla na tiskovou plochu 3D tiskárny vcelku. Proto jsou složena ze dvou částí, které do sebe zapadají a svazují se právě tímto plástvovým vzorem.
- **Odolnost:** Šestiúhelníkový vzor dodává dvířkům strukturální pevnost a odolnost proti deformaci.

Teflonová pouzdra

Dvířka jsou uchycena pomocí čtyřech teflonových pouzder, která jsou umístěna na obou stranách rámu. Pouzdra zajišťují suchoběžný lineární pohyb dvířek bez nutnosti mazání. To je důležité, protože mazivo by se v prašném prostředí kurníku časem zaneslo. Teflon je materiál s nízkým třením a vysokou odolností proti opotřebení, takže zajišťuje plynulý a tichý pohyb dvířek.



Obrázek 47: Ukázka dvířek a teflonových pouzder

4.6.4 Modularita

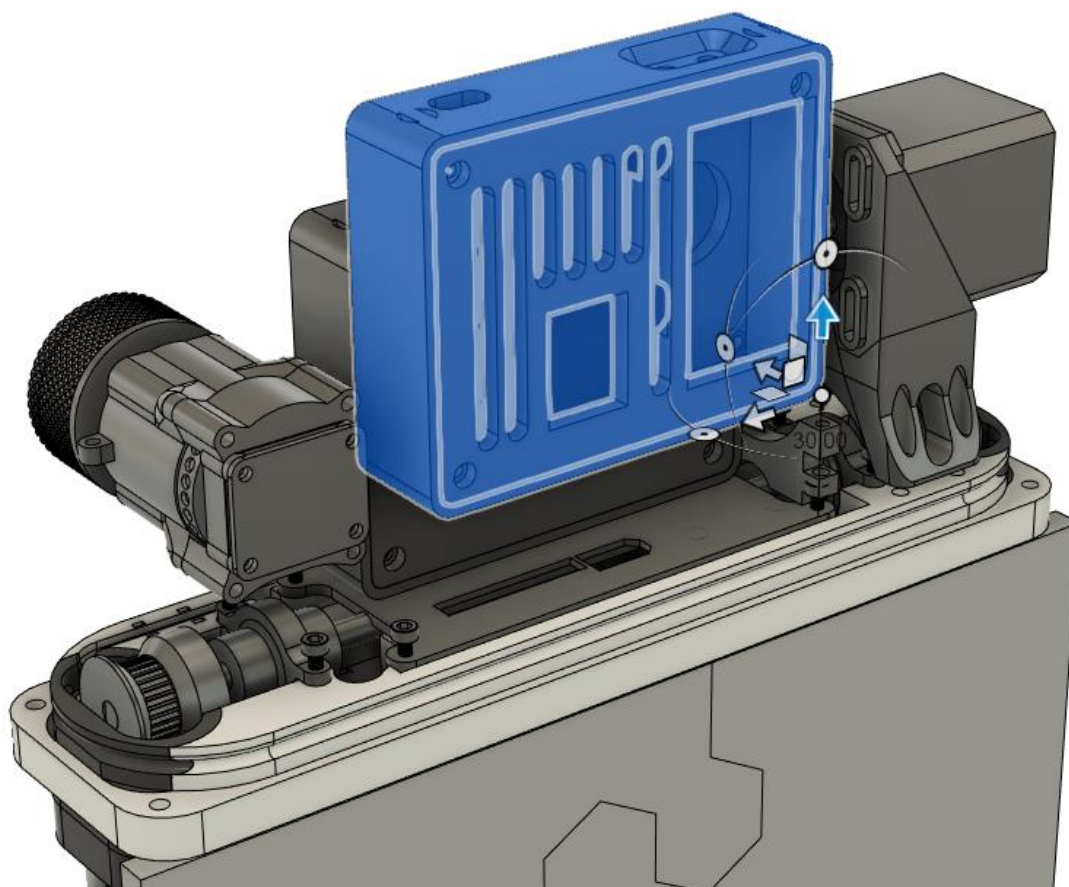
Jednou z klíčových vlastností automatických kurníkových dvířek je jejich modularita. Celá konstrukce je navržena tak, aby se dala snadno rozebrat a opravit.

Základní princip modularity

Dvířka se dají rozebrat na jednotlivé komponenty, které jsou vzájemně spojeny. To umožňuje snadnou výměnu vadných dílů bez nutnosti výměny celého zařízení

Modularita základní desky a displeje

Zvláštní pozornost je věnována modularitě základní desky a displeje. Tyto komponenty jsou umístěny v držáku, z kterého se dá modul jednoduše vysunout, podobně jako kazeta do tiskárny (Obr. 48). To umožňuje jejich snadnou výměnu i bez technických znalostí.



Obrázek 48: Ukázka modularity zařízení na modelu z Fusionu 360

4.7 Rotační enkodér

4.7.1 Motivace

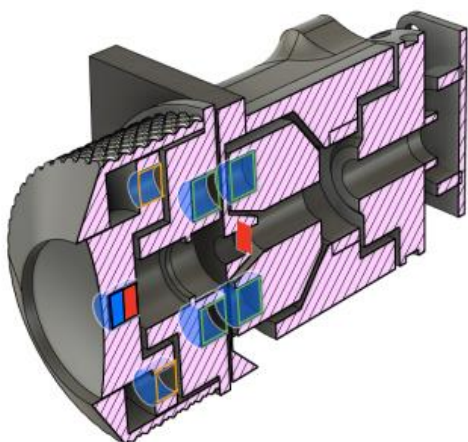
Motivace k vytvoření vlastního rotačního enkodéru spočívala v potřebě navrhnout enkodér, který bude plně vodotěsný a odolný proti prachu.

Původně jsem uvažoval o použití klasického rotačního enkodéru s gumovým těsněním umístěným na jeho hřídeli, které by mělo chránit enkodér před vnějšími vlivy. Avšak tato volba se ukázala jako nevhodná, protože těsnění bylo příliš pevné a bránilo by plynulému chodu enkodéru.

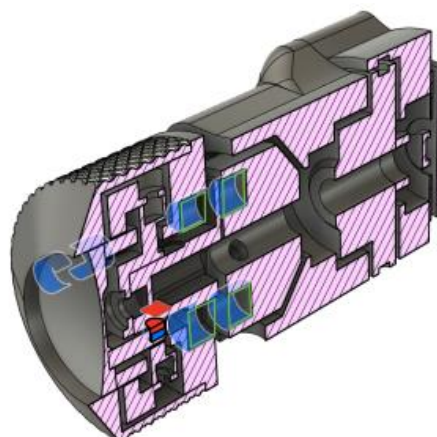
Proto jsem se rozhodl vyvinout enkodér (obrázky 49 a 50), jehož vnitřní hřídel není spojena s vnější hřídelí, což zajistí plnou vodotěsnost a odolnost proti prachu. Pro dosažení tohoto cíle jsem zvolil neodymové magnety, které umožňují rotaci enkodéru (vyznačeny zeleně). Tuto rotaci následně snímá magnetický senzor rotace, který můžete vidět na obrázku 52. Zároveň jsem se vypořádal s problémem tlačítka tak, že jsem integroval Hallovu sondu (vyznačena červeně), která detekuje stisknutí tlačítka, bez potřeby otvoru v plastovém krytu.

4.7.2 Proces vývoje

Při návrhu první verze, znázorněné na obrázku 49, jsem se setkal s výzvou spočívající v tom, že Hallova sonda (vyznačena červeně), určená k detekci stisknutí tlačítka, nechtěně zachycovala i magnetické pole magnetů navržených pro otáčení enkodéru (vyznačeny zeleně). I po přesunu magnetů dále od sondy se mi nepodařilo zcela eliminovat jejich magnetické pole, jež Hallova sonda stále detekovala. V reakci na tento problém jsem vytvořil druhou verzi (Obr. 50), kde jsem úspěšně odstranil tuto interferenci. Toho jsem dosáhl tím, že jsem otočil magnet (vyznačený modročerveně) umístěný na tlačítku a přiblížil ho ke snímači (vyznačený červeně). Současně jsem také otočil a posunul snímač blíže k magnetu.



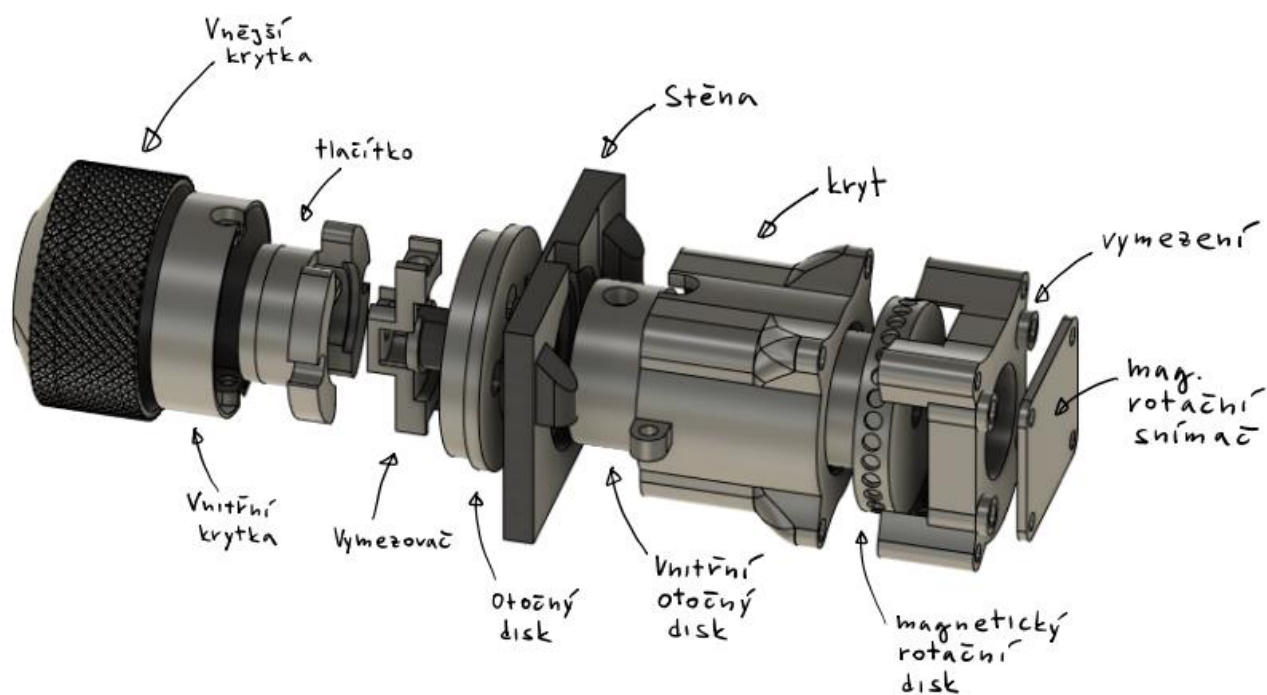
Obrázek 49: První verze rotačního enkodéru



Obrázek 50: Druhá verze rotačního enkodéru

4.7.3 Struktura zařízení

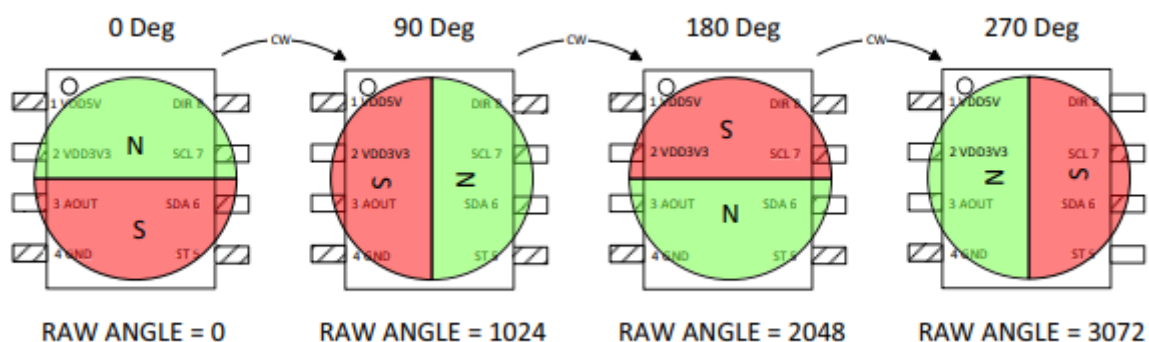
Na obrázku 51 můžete vidět strukturu rozloženého enkodéru. Ta se skládá z vnější krytky, která má na sobě vroubkování pro lepší úchop. Zároveň je spojena s otočným diskem, čímž zajišťuje jeho rotaci. Pod vnější krytkou se nachází krytka vnitřní, která je šrouby spojena s vymezovačem. V prostoru mezi nimi se pohybuje tlačítko, které je přitahováno magnety umístěnými ve vnitřní krytce. Ty nahrazují pružinku. Vymezovač je šroubem připevněn na výstupek ze stěny, kde se nachází Hallova sonda. Zároveň zajišťuje, aby se ložisko, které umožňuje rotaci otočného disku nevysunovalo. Tedy zmáčknutím tlačítka se magnet přiblíží k Hallově sondě, která vyšle signál do mikrokontroléru a provede se akce. Rotací otočného disku se přenáší pohyb prostřednictvím 4 magnetů skrze stěnu do vnitřního otočného disku. Ten je na jedné hřídeli společně s magnetickým rotačním diskem. Rotační disk zajišťuje magnetickou odezvu, tedy jednotlivé kroky enkodéru. Na konci enkodéru, tedy úplně vpravo na obrázku, se nachází magnetický rotační snímač, který snímá pohyb magnetu umístěného na konci hřídele.



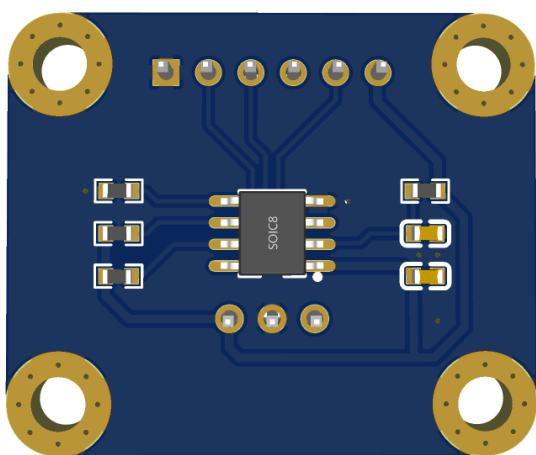
Obrázek 51: Model rozloženého rotačního enkodéru

4.7.4 Princip funkce

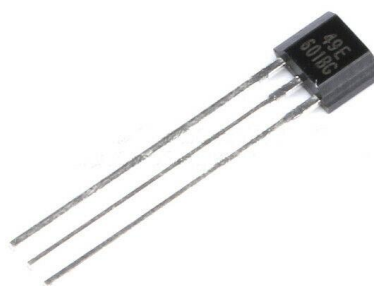
Princip rotace enkodéru spočívá v monitorování otáčení otočného disku, na jehož konci je umístěn rotační magnetický detektor AS5600 (Obr. 53) což je snímač úhlu polohy v rozsahu 360° s 12bitovým rozlišením. Tento integrovaný obvod měří absolutní polohu rotace magnetu a skládá se z Hallových senzorů, A/D převodníku a obvodu pro zpracování digitálních signálů. Informace o absolutní poloze magnetu je přímo přístupná pomocí Analog/PWM výstupu, nebo ji lze číst prostřednictvím standardního I2C rozhraní. [14]



Obrázek 52: Princip rotace enkodéru a monitorování otáčení magnetu [22]



Obrázek 53: Magnetický detektor AS5600
(model z programu EasyEDA)



Obrázek 54: Hallova sonda [23]

Enkodér dále obsahuje tlačítko, jehož stisknutí je detekováno pomocí Hallové sondy (Obrázek 54) umístěné na vnitřní stěně zařízení. Signál ze snímače je následně zpracován a poskytuje informace o stisknutí nebo uvolnění tlačítka. Na magnetickém rotačním disku (Obrázek 51) je umístěno celkem 31 magnetů. Jejich účelem je rozdělit plynulý otáčivý pohyb enkodéru v rozsahu 360 stupňů do 31 stabilních poloh. Tato rozdělená struktura umožňuje uživateli vnímat jasný a hmatatelný zpětný vjem při ovládání enkodéru.

4.8 Senzory

4.8.1 Indukční senzory pro detekci polohy dvířek

V dolní části dvířek používám dva indukční senzory, jeden na každé straně, pro spolehlivé snímání jejich polohy. Tyto senzory jsou typu PNP NO.

PNP – Výstupní signál senzoru je pozitivní. Při detekci objektu se výstupní napětí senzoru zvedne na napájecí napětí.

NO (Normally Open) – Senzor je v klidovém stavu rozepnutý. Při detekci objektu se sepne a sepne tak i obvod.

Senzory jsou umístěny v dolní části dvířek hned vedle napínáků řemene (Obr. 55). Kabeláž z nich je vedena v hliníkové trubce až nahoru do společného spojovače všech senzorů. Toto řešení má hned několik výhod:

Ochrana kabeláže

- Kabeláž je uložena v hliníkové trubce, která ji chrání před poškozením, například před husami. Totiž i v chrániče by husy kabel dokázaly přestřípnout zobákem.

Odolnost

- Hliníková trubka je odolná proti mechanickému poškození a nepříznivým vlivům prostředí.

Estetika

- Trubka skryje kabeláž a celá instalace tak bude vypadat čistěji a esteticky lépe.



Obrázek 55: Indukční senzor umístěný v dolní části dvířek



Obrázek 56: Indukční senzor [24]

V horní části zařízení se nachází již zmiňovaná DPS, která slouží jako spojovač všech senzorů (Obr. 57), a tedy jako hlavní konektor pro připojení základní desky. Na něm se také mimo jiné nachází Hallův senzor polohy A3144E, který slouží jako horní koncový doraz.



Obrázek 57: Spojovač všech senzorů



Obrázek 58: Fotorezistor umístěný v zařízení

Na obrázku 58 je Fotorezistor GL5539 o velikosti 5 mm, který zajišťuje snímání intenzity světla a podle toho se mění jeho odpor, který je následně snímán.

4.9 3D Tisk

Celou konstrukci tohoto zařízení jsem sám navrhl a vytvořil modely pro 3d tisk. Následně jsem tyto modely vytiskl na 3D tiskárně. Většina modelů byla vytištěna z materiálu známého jako ABS (Akrylonitril-butadien-styren), což je oblíbený a vysoce odolný materiál ideální zejména pro namáhané výrobky a funkční prototypy. Tento materiál má i svého nástupce ASA (Acrylic Styrene Acrylonitrile), který je odolnější proti UV záření a má menší tendenci ke kroucení a smršťování během tisku. To je sice velice pěkné, ale také je zhruba 2x dražší oproti ABS. Oba tyto materiály mají velkou výhodu v tom, že se dají slepit acetonem. Stačí totiž materiál natřít acetonem a ten se během chvilky rozleptá a vytvoří velmi pevné spojení. To umožňuje tisk modelů po částech a následné spojení dohromady.

Každý model použitý v tomto zařízení byl před montáží ošetřen acetonem, což zajistilo pevné spojení mezi jednotlivými vrstvami a zabránilo pronikání vlhkosti. Mohl jsem také použít vyhlazování acetonovými parami k dokonalému vyhlazení povrchu modelu. Avšak tento postup má také své nevýhody. Použití acetonových par může vést k nekontrolovanému rozleptání modelu v nechtěných částech, což může ovlivnit přesnost výsledného modelu. Navíc by mohlo dojít k deformaci modelu v důsledku působení acetonových par.

Modely byly tedy pečlivě ošetřeny acetonem ve vybraných oblastech a následně přestříknuty plničem, aby byly vyrovnány nedokonalosti a jednotlivé vrstvy. Poté byly některé části modelu obroušeny smirkovým papírem, odmaštěny a dokončeny aplikací finálního laku.

ABS je dobře známý materiál ve světě 3D tisku, ale má své nedostatky. Je náročný na tisk, zejména při tisku velkých modelů, kvůli tendenci k deformaci. To může vést k odlepování modelu od podložky a následnému zkřivení. Proto je doporučeno tisknout v podmínkách s vyhřívanou komorou, což minimalizuje deformaci. V mém případě byla použita vyhřívaná komora s teplotou dosahující až 55 °C. Další nevýhodou ABS je nepříjemný zápach během tisku. Je tedy vhodné pracovat v dobře větraných prostorech. Všechny modely byly vytisknuty na 3D tiskárně Prusa mk2s. Některé specifické součásti, jako jsou řemenice a uchycení pro teflonová pouzdra, byly vytisknuty z polykarbonátu, což je materiál s vysokou odolností vhodný pro mechanicky namáhané díly.

5 TESTOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

5.1 Testování zatížení dvířek

Abych ověřil maximální nosnost dvířek, provedl jsem jednoduchý test s postupným přidáváním závaží. Začal jsem s hmotností 0,5 kg, které dvířka bez problému udržela (viz obrázek 59). Následně jsem zkusil 1,25 kg (obrázek 60), s nímž dvířka lehce poklesla (zhruba o 0,5 cm), ale stále držela na svém místě. Konečný test s 1,5 kg už magnety nezvládly a dvířka spadla.

Z testu vyplývá, že maximální nosnost dvířek je 1,25 kg. To znamená, že se nemusíte obávat, že by dvířka jen tak spadla.

Pro detailnější analýzu by bylo vhodné provést test s menšími rozdíly mezi jednotlivými hmotnostmi závaží.



Obrázek 59: Zatížení dvířek hmotností
0,5 kg



Obrázek 60: Zatížení dvířek hmotností
1,25 kg

5.2 Testování funkce zastavení dvířek

Pro zjištění, jakou silou dvířka působí na překážku, jsem použil kuchyňskou váhu, kterou jsem umístil do prostoru průchodu dvířek na rovnou plochu. Poté jsem dvířka zavřel, čímž došlo k jejich nárazu do váhy, která fungovala jako simulovaná překážka. Dvířka při nárazu detekovala překážku a změnila směr svého pohybu. Pro zjištění přesnější hodnoty, jsem tento proces několikrát opakoval, jelikož doba nárazu dvířek byla opravdu krátká a hodnota na váze se za tu chvíli nedokázala ustálit. Maximální hodnota zobrazená na váze se pohybovala okolo 700 gramů. Po vynásobení této hodnoty gravitačním zrychlením získáme sílu, kterou dvířka působí na překážku. Z rovnice (8) vyplývá, že síla nárazu dvířek je přibližně 6,9 N. I přes orientační charakter této hodnoty lze závěrem tvrdit, že dvířka jsou bezpečná nejen pro lidské ruce, ale i pro slepice a jinou drůbež.

$$F = m \cdot g = 0,7 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \doteq 6,9 \text{ N} \quad (8)$$



Obrázek 61: Měření působení síly dvířek na překážku

6 EKONOMICKÁ ANALÝZA

6.1 Výrobní náklady

Na základě provedených kalkulací, dostupných v příloze G, celková výrobní cena za materiál dvířek dosahuje 3271 Kč. Ve srovnání s konkurencí je tato cena relativně vysoká. Na druhou stranu se jedná o vysoce kvalitní dvířka s mnoha funkcemi a vysokou odolností. Samozřejmě by bylo možné optimalizovat výrobní náklady. Například v této verzi je použit příliš velký krokový motor, který by mohl být nahrazen menším a levnějším modelem. Stejně tak jsou v rotačním enkodéru použita ložiska větší, než je nezbytné. U tohoto konkrétního prototypu cena vystoupala mnohem výše, než jsou uvedené výrobní náklady. U vývoje produktů hraje klíčovou roli prototypování. Zde se v praxi testují nápady a koncepty, aby se doladily detaily a ověřila funkčnost. Nicméně, ne každý prototyp se povede na první pokus. Často je potřeba zkusit různé varianty, materiály a přístupy, než se najde to pravé řešení. A právě tato cesta za dokonalostí může vést k nemalým nákladům.

6.2 Tržní potenciál

Vzhledem k trendu zvýšeného zájmu o domácí zahrádkaření a péči o zvířata může být poptávka po kvalitních kurníkových dvířkách vyšší než kdy dříve. Zákazníci hledají praktická, spolehlivá a odolná řešení pro své kurníky, která jim pomohou chránit jejich zvířata a zároveň usnadní péči. Myslím, že dvířka nabízejí výjimečnou robustnost a funkčnost, tedy je tu potenciál oslovit zákazníky, kteří ocení vyšší kvalitu a dlouhou životnost našich produktů.

6.2.1 Cílová skupina

Malochovatelé

Osoby, zabývající se chovem zvířat jako jsou slepice, kachny a další druhy drůbeže, bez ohledu na účel chovu, ať už jde o produkci masa nebo vajec. Tento produkt je vhodný pro široké spektrum chovatelů. Od těch, kteří mají drůbež pouze pro vlastní spotřebu v podobě čerstvých vajec, až po ty, kteří provozují menší farmy a chovem drůbeže se živí.

Větší farmy

Pro větší farmy a komerční chovatele drůbeže, kteří provozují rozsáhlejší závody, je toto zařízení také vhodné. Vzhledem k rostoucímu zájmu o chovy slepic ve volných výbězích a zákazu klecových chovů budou tito chovatelé nuceni řešit nějaké zabezpečení venkovních kurníků. Tento typ chovatelů je navíc schopen si více připlatit za kvalitnější produkt, protože při nefunkčnosti i jedné jednotky mohou ztráty být mnohem vyšší než právě v malochovech.

Výrobci kurníků na zakázku

Dalším možným odběratelem by mohli být výrobci luxusních kurníků na zakázku nebo výrobci automatizovaných kurníků. Navíc tito výrobci už mají svojí cílovou skupinu odběratelů, která nemá problém si zaplatit za výrobu celého kurníku. Pravděpodobně tedy nebude mít problém si připlatit za kvalitnější automatická dvířka. Příkladem tohoto typu výrobce mohou být například Lukášovy kurníky, což je výrobce, který vyrábí již zmíněné designové kurníky na zakázku. Tím by se mi usnadnila práce hledání vhodné cílové skupiny odběratelů.

Zahrádkářské a zemědělské obchody

Obchody specializující se na zahradní a zemědělské vybavení, které mohou nabízet kurníková dvířka jako součást svého sortimentu pro své zákazníky.

7 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout a realizovat vlastní technologické řešení automatických kurníkových dvířek, které je charakterizováno vysokou odolností vůči vnějším vlivům, konkrétně vodě, prachu a nečistotám v okolí kurníku. Toto zařízení kombinuje materiálovou odolnost, inovativní mechanismus a širokou funkcionalitu.

Navrhl jsem a realizoval plně utěsněnou konstrukci, která splňuje požadavky pro použití v exteriéru a zajišťuje spolehlivou ochranu zařízení přispívající tak k jeho dlouhodobé funkčnosti. Součástí tohoto řešení je i vlastní konstrukce enkodéru, který splňuje stejné nároky na voděodolnost a prachotěsnost. Tím jsem dosáhl toho, že celý systém je dobře chráněn před okolními vlivy bez kompromisů v jeho funkčnosti.

Elektroniku tohoto zařízení jsem nejdříve zapojil na nepájivém poli, kde jsem testoval různé moduly a ověřoval funkčnost zapojení. Poté jsem si celé zapojení překreslil jako schéma a navrhl DPS (desku plošných spojů). Objednal jsem potřebné součástky, na desku jsem přes šablonu nanесl vrstvu pájecí pasty a poté zapekl v reflow peci. Následně jsem zařízení sestavil a po nahrání programu zprovoznil. Zařízení je navrženo tak, aby reagovalo na intenzitu světla nebo na vestavěný časovač, což přináší další úroveň uživatelského pohodlí. Disponuje také mnoha senzory pro jeho bezpečné ovládání.

Po určitou dobu jsem také zařízení testoval z hlediska maximálního zatížení dvířek, než se uvolní z magnetických úchytů a zároveň jsem testoval bezpečnostní funkci zastavení, která zajišťuje, že nedojde ke zranění drůbeže nebo člověka. Také jsem sledoval dlouhodobou funkčnost zařízení a s celkovým výsledkem jsem velmi spokojen.

Dalším možným rozšířením tohoto projektu do budoucna by mohla být implementace bezdrátové komunikace. Tato funkce by ještě více zvýšila uživatelskou přívětivost a flexibilitu systému.

8 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Čebiš, Vladimír. *Automatický systém pro pěstování rostlin*. Praha : Bakalářská práce, ČVUT Fakulta elektrotechnická, Vedoucí práce Ing. Tomáš Teplý, 2018.
- [2] Mischianti, Renzo. ESP32-wroom-32 high resolution pinout and specs. *mischianti.org*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://mischianti.org/esp32-wroom-32-high-resolution-pinout-and-specs/>.
- [3] Horák, V. *Využití senzorů v průmyslových aplikacích*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí práce Radim Blecha, 2018.
- [4] Fakulta technologická, UTB ve Zlíně. *Hallův jev*. Zlín : Studijní materiál Fakulty technologické ve Zlíně.
- [5] Halliday D., Resnick R., Walker J. *Fyzika*. Brno : Vutium, 2000.
- [6] Fotorezistor. *eluc.ikap.cz*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/610>.
- [7] Fotorezistor. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor>.
- [8] Paštyka, Jan. Fotorezistor. *embedded.fel.cvut.cz*. [Online] 2017. [Citace: 30. Duben 2024.] https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/photodiode__photoresistor/Photoresistor.pdf.
- [9] Stanislav, Jura. *Pohony 1*. Praha : Studijní materiál SPŠE Ječná, (neveřejný zdroj), 2020.
- [10] TMC2209 Datasheet. *analog.com*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMC2209__datasheet__rev1.09.pdf.
- [11] Silent2209. *wiki.fysetc.com*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://wiki.fysetc.com/Silent2209/>.
- [12] Kaňok, Martin. *Návrh regulátoru LDO*. Praha : Diplomová práce, ČVUT Fakulta elektrotechnická, Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc., 2019.
- [13] uA7800 Series. *sparkfun.com*. [Online] [Citace: 1. Květen 2024.] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.
- [14] Magnetický rotační enkodér AS5600, I2C, PWM. *laskakit.cz*. [Online] [Citace: 1. Květen 2024.] <https://www.laskakit.cz/magneticky-rotacni-ekoder-as5600--i2c--pwm/>.
- [15] Hrubec, M. Dvířka kurníku. *dvirkakurniku.cz*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://www.dvirkakurniku.cz/>.

- [16] KOMPLET AUTOMATICKÉHO OTEVÍRÁNÍ A ZAVÍRÁNÍ KURNÍKU CHICKEN GUARD PRO 25X30. *agrofortel.cz*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://agrofortel.cz/komplet-automatickeho-otevirani-a-zavirani-kurniku-chicken-guard-pro-25x30>.
- [17] Chicken coop doors: Your Guide to Styles and Types. *run-chicken.com*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://run-chicken.com/chicken-coop-doors-your-guide-to-styles-and-types/>.
- [18] RUN-CHICKEN Door T50 (Brown) – Automatic Chicken Coop Door Opener with Timer. *run-chicken.com*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://run-chicken.com/product/run-chicken-t50-buckeye-brown/>.
- [19] Photo cell. *adafruit*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://www.adafruit.com/product/161>.
- [20] TMC2209. *bttwiki.com*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://bttwiki.com/TMC2209.html>.
- [21] Grafický LCD displej ST7920 128 x 64 - Modré podsvícení. *dratek.cz*. [Online] [Citace: 30. Duben 2024.] <https://dratek.cz/arduino/1157-graficky-lcd-display-128x64-modre-podsviceni.html>.
- [22] AS5600 Datasheet PDF. *alldatasheet.com*. [Online] [Citace: 1. Květen 2024.] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1452014/OSRAM/AS5600.html>.
- [23] Hallův senzor 49E. *dratek.cz*. [Online] [Citace: 1. Květen 2024.] https://dratek.cz/arduino/7736-halluv-senzor-49e.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0MexBhD3ARIsAEI3WHKpXzphFYkhj1BGWTPso7AKj4W0Wv5fnzaKpxMha2uwdRcnqaxmY3laAmbVEALw_wcB.
- [24] Blue Proximity Switch Inductive Proximity Sensor Detection Switch NPN/PNP NO NC 1-15mm Detection Distance Metal Sensor Switches. *aliexpress.com*. [Online] [Citace: 1. Květen 2024.] https://www.aliexpress.com/item/1005004470071504.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.5.30981802UKoYCT.

9 POUŽITÝ SOFTWARE

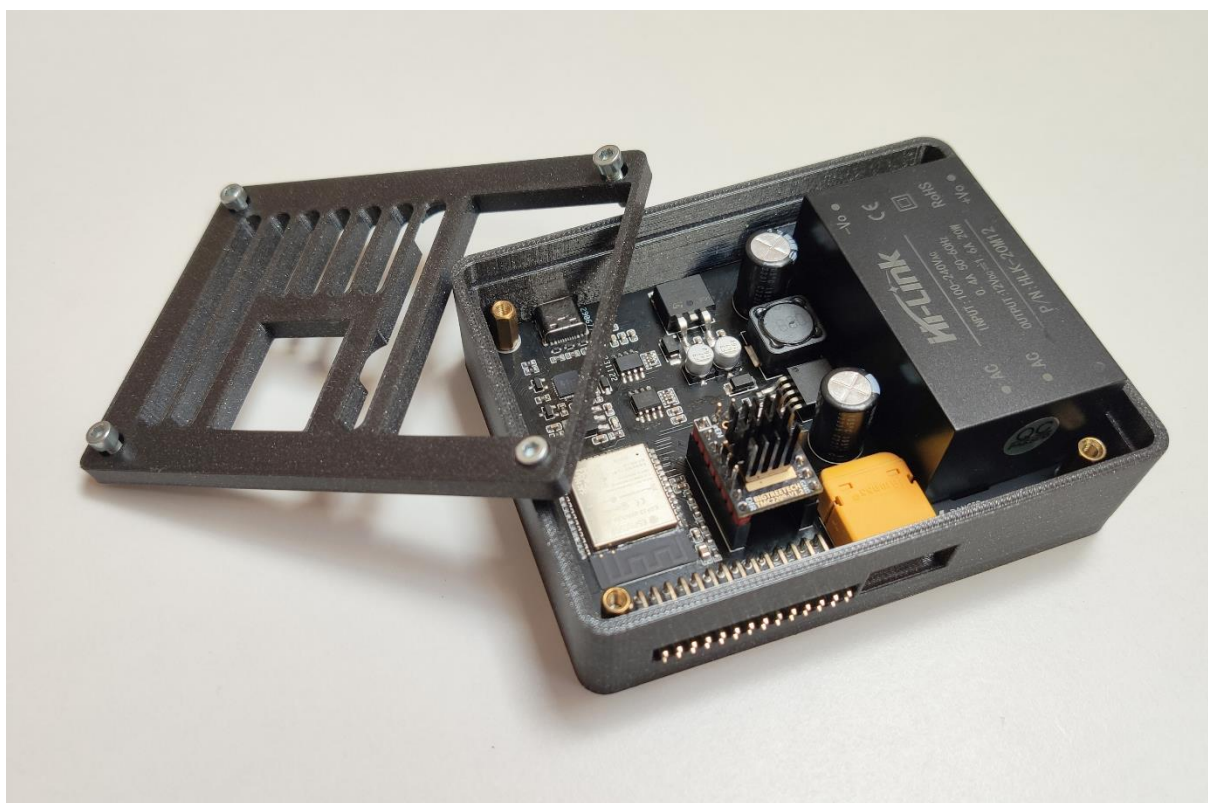
Většina použitého softwaru je volně dostupná. U Fusion 360 a Microsoft 365 je využita studentská licence.

- EasyEDA – návrh desek plošných spojů
- Autodesk Fusion 360 – 3D modelování
- FEMM 4.2 – Simulace elektromagnetických polí
- Arduino IDE – Programování mikrokontroléru ESP32
- PrusaSlicer – Příprava G-codu pro tiskárnu
- Visual Studio Code – Programování webového rozhraní
- Microsoft 365 – Psaní bakalářské práce
- Gimp 2.10.34 – Úprava fotek

PŘÍLOHA A – DISPLEJ A ZÁKLADNÍ DESKA

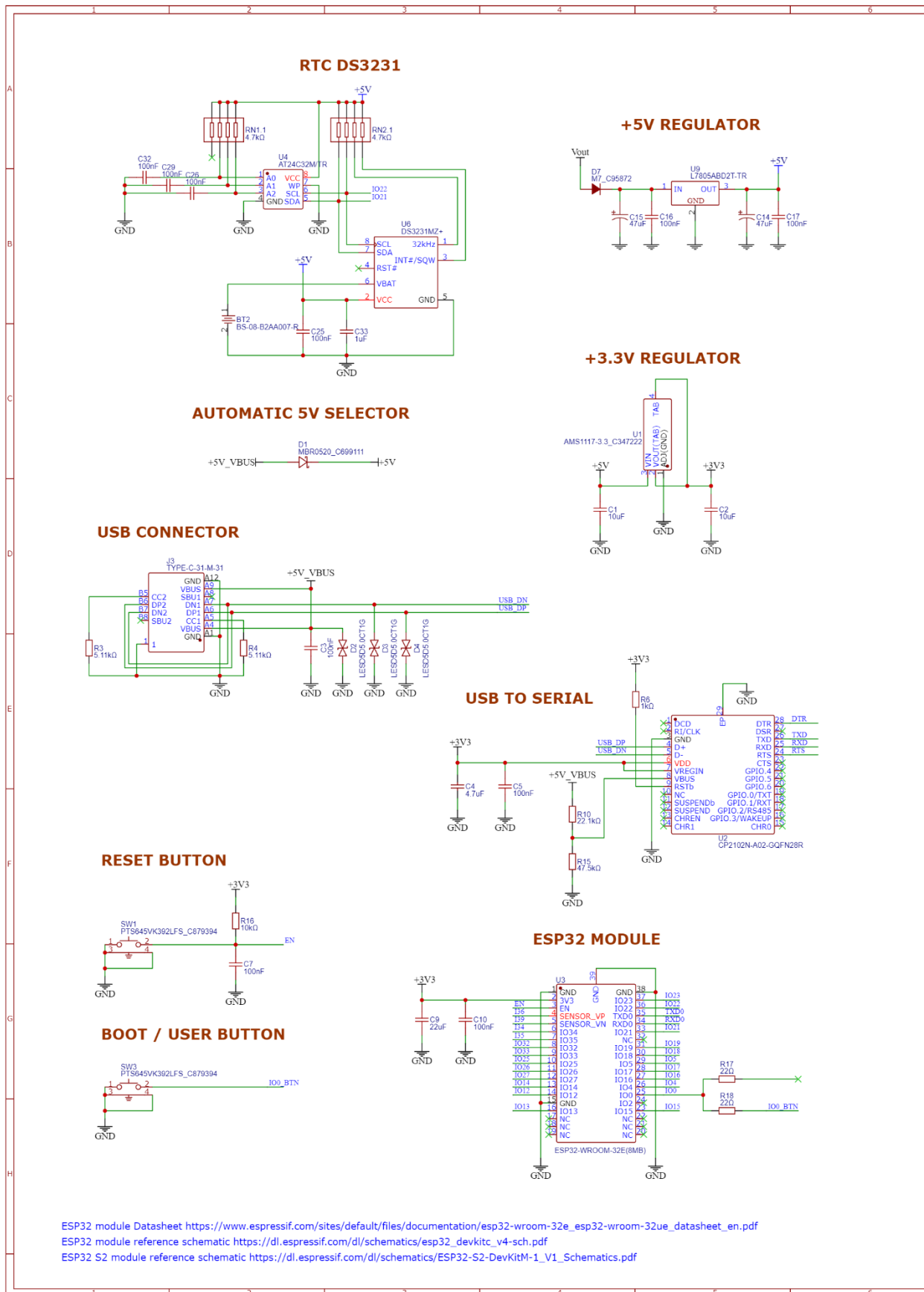


Obrázek 62: Zakrytý displej a základní deska



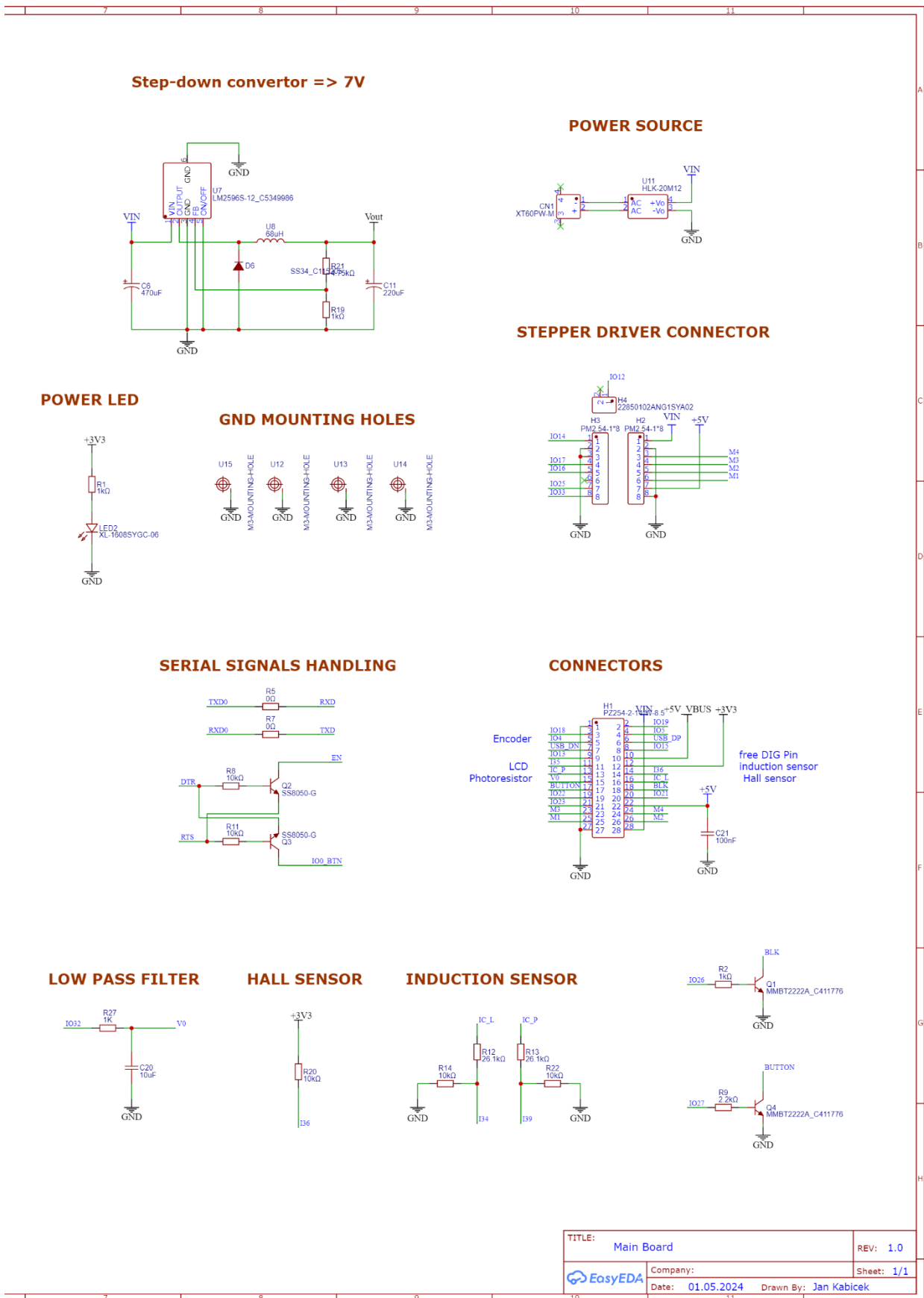
Obrázek 63: Otevřený kryt základní desky

PŘÍLOHA B – KOMPLETNÍ SCHÉMA DPS



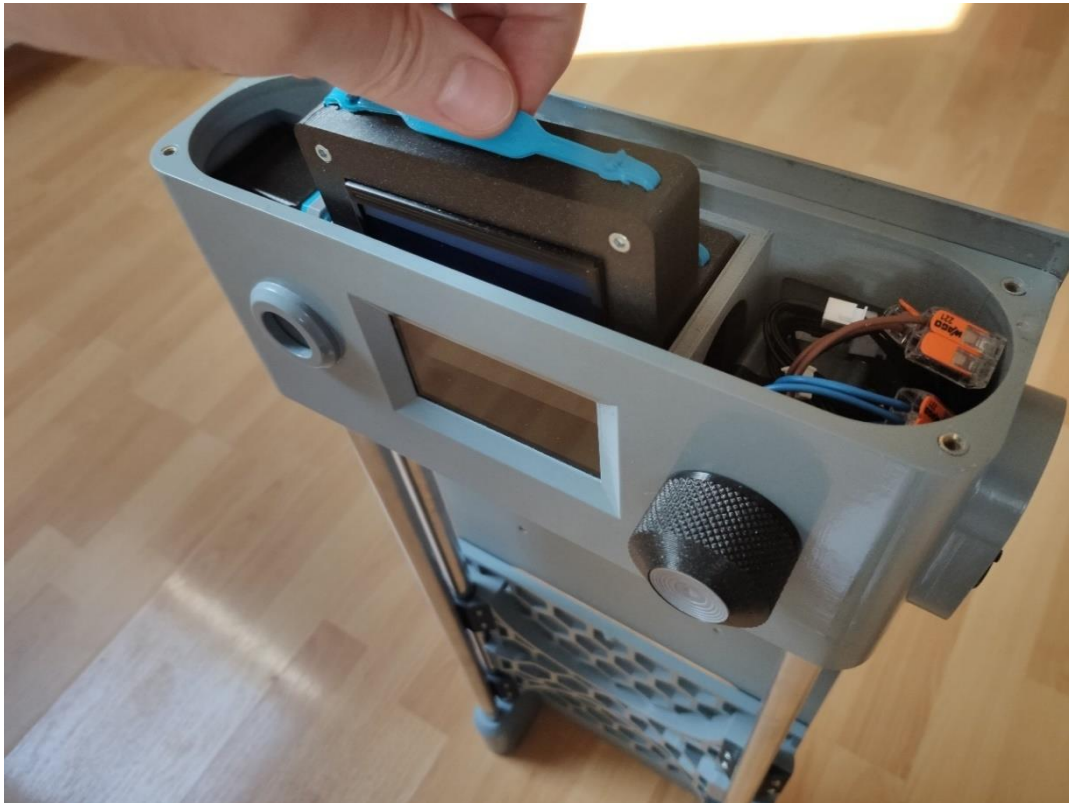
ESP32 module Datasheet https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf
 ESP32 module reference schematic https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf
 ESP32 S2 module reference schematic https://dl.espressif.com/dl/schematics/ESP32-S2-DevKitM-1_V1_Schematics.pdf

Obrázek 64: Schéma DPS levá část



Obrázek 65: Schéma DPS pravá část

PŘÍLOHA C – VÝSUVNÉ MODULY



Obrázek 66: Princip výsuvného modulu s displejem

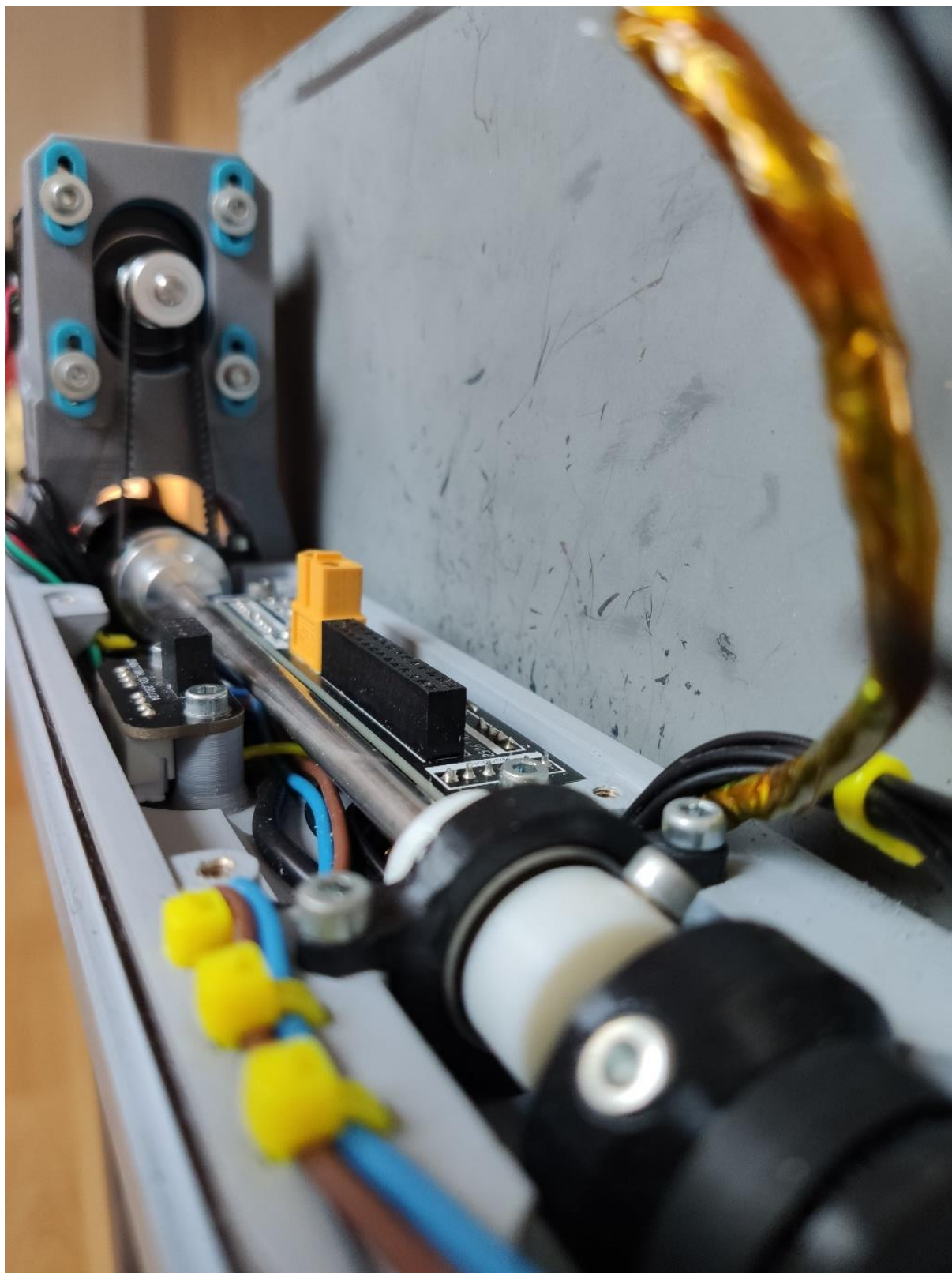


Obrázek 67: Pohled na oba moduly shora

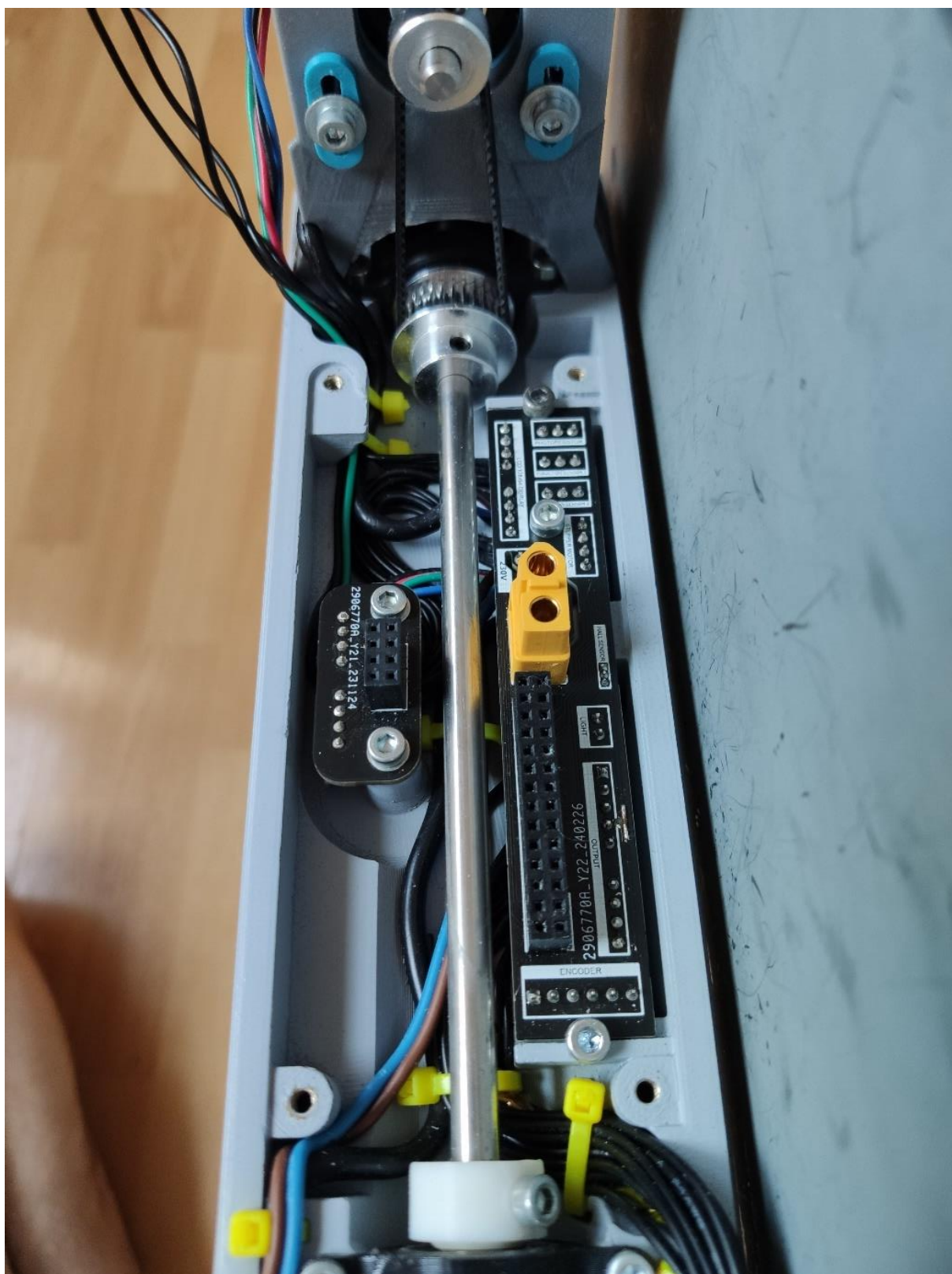


Obrázek 68: Pohled dovnitř zařízení s vyndanými moduly

PŘÍLOHA D – POHON A KONEKTORY

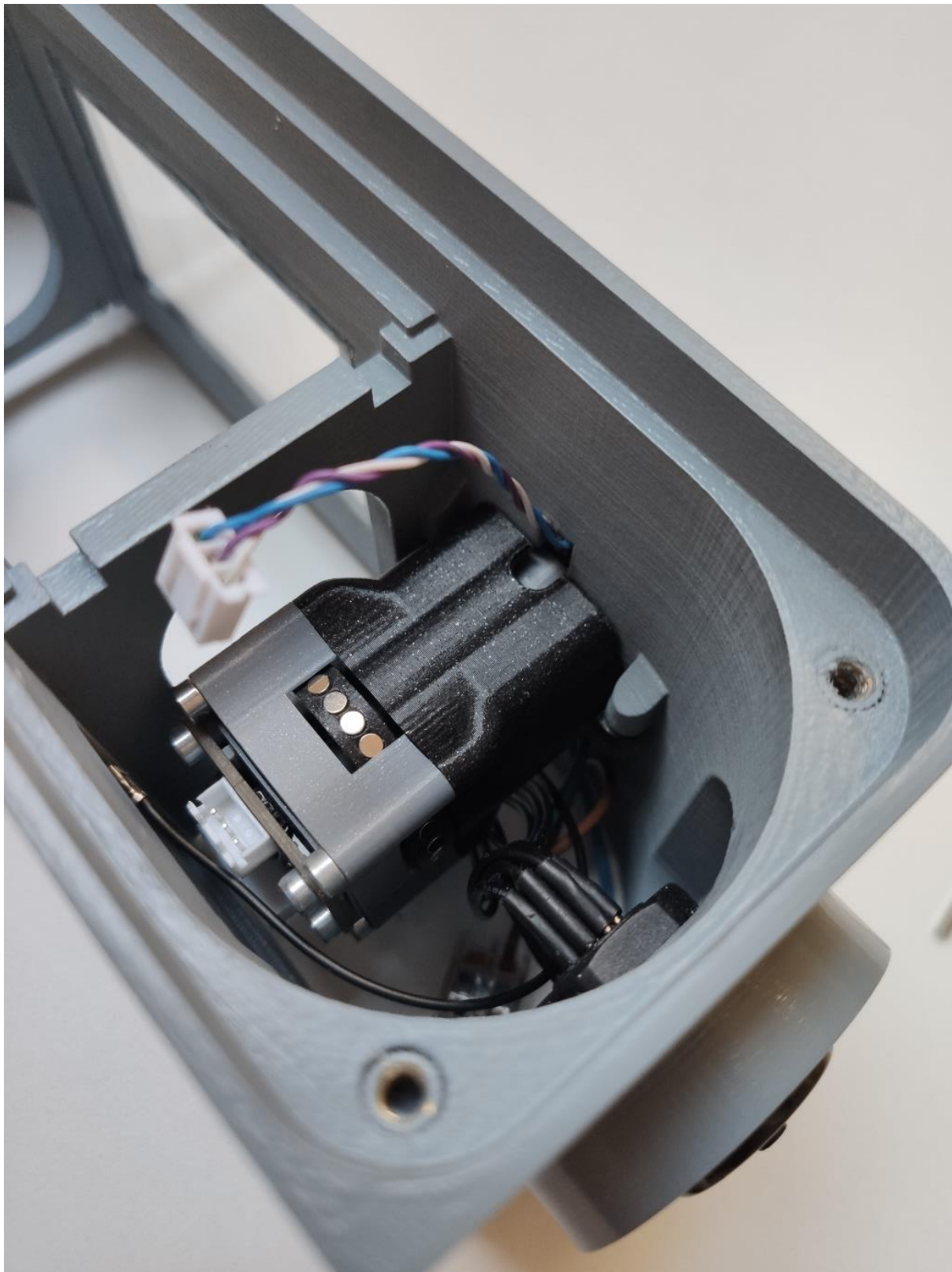


Obrázek 69: Pohonná část zařízení společně s konektory pro připojení modulů

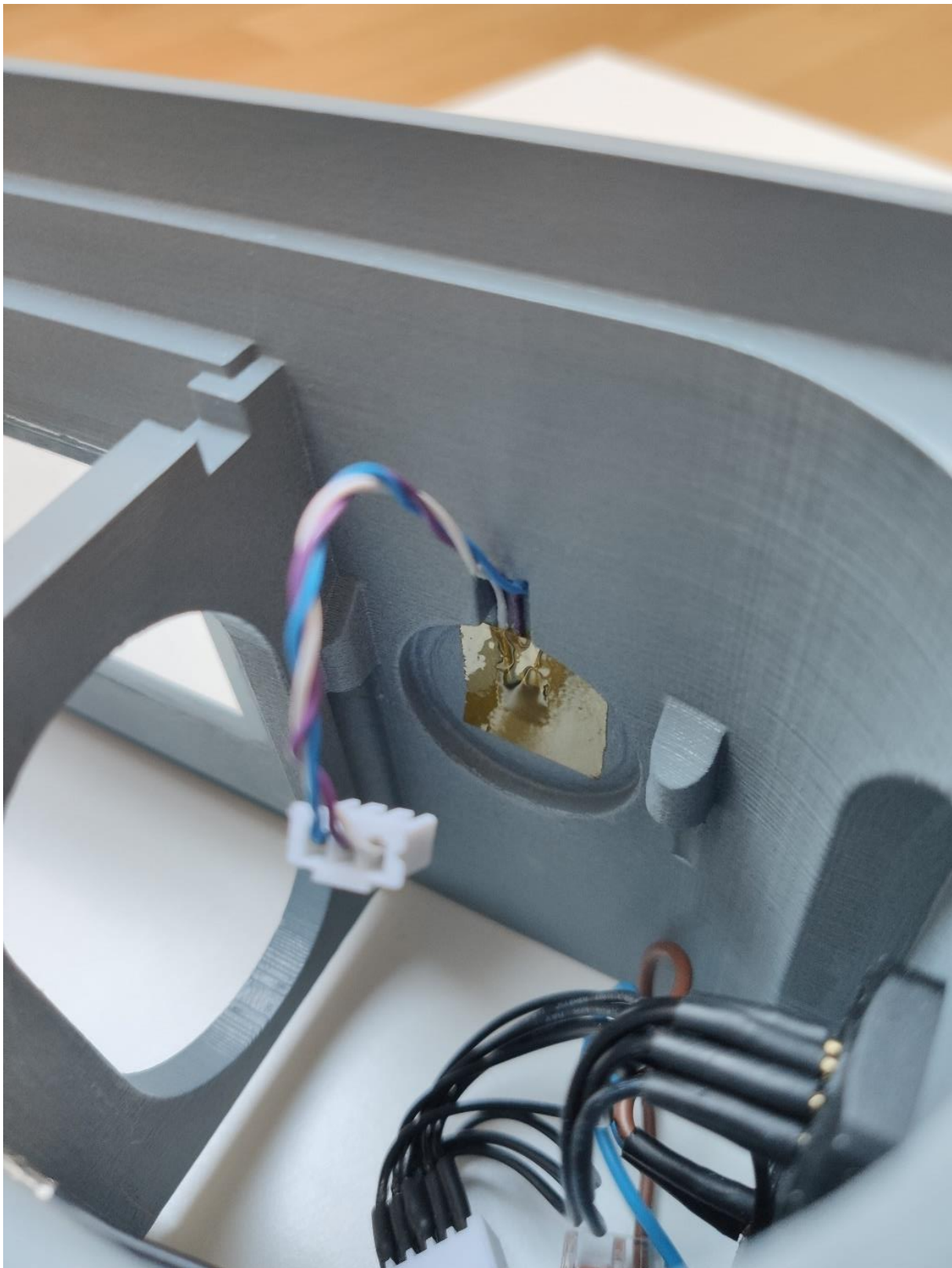


Obrázek 70: Pohonná část a konektory shora

■ PŘÍLOHA E – ENKODÉR



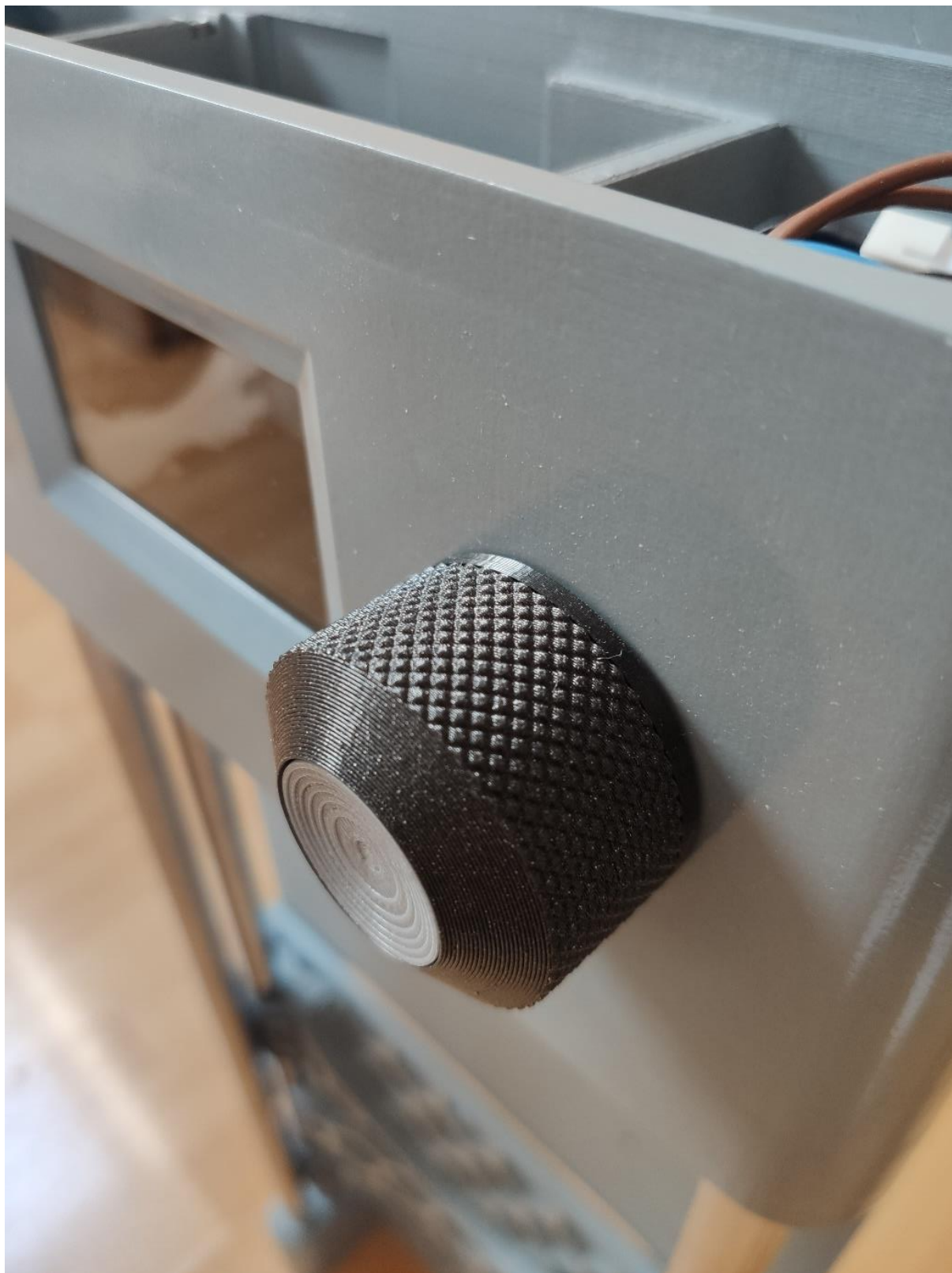
Obrázek 71: Spodní část enkodéru zevnitř



Obrázek 72: Vnitřní strana tlačítka



Obrázek 73: Rozebrané tlačítko z vnější strany



Obrázek 74: Zkompleťovaný rotační enkodér z vnější strany

PŘÍLOHA F – UCHYCENÍ POJEZDOVÝCH TYČÍ



Obrázek 75: Pohled na uchycení lineárních tyčí do horní části zařízení

PŘÍLOHA G – KOMPLETNÍ ROZPIS CENY ZAŘÍZENÍ

Tabulka 4: Detailní rozpis ceny jednotlivých komponent bez započítání elektronických součástek na základní desce

Název	Počet koupených kusů	Počet kusů na 1 zařízení	Cena za kus [Kč]	Cena za 1 zařízení [Kč]
Gembird ABS 1 kg	1	0,942	332	312,744
Flex Smartfil 93A 0,33kg	1	0,0057	399	2,28
PC Blend 0,97kg	1	0,01033	1399	14,036
Plech pozink 2 mm	1	1	349,21	349,21
hliníkové trubky 16x2	4	4	30,5	122
O-kroužek 160x3	2	2	28,1	56,2
O-kroužek 32x2	2	2	3,9	7,8
O-kroužek 16x1,5	4	4	2,8	11,2
Ložisko 686 2RS	4	4	15,25	61
Indukční čidla	2	2	25,65	51,3
Hallova sonda	10	2	1,137	2,274
Neodymový magnet 10x10	10	10	18	180
Neodymový magnet 5x5	8	8	3	24
Neodymový magnet 3x1	31	31	1	31
Ložisko 623 2Z	4	4	16,7	66,8
GT2 řemen 5 m	1	0,46	92,8	42,688
Kluzná pouzdra teflon	4	4	8,71	34,84
Krokový motor Nema 17	3	1	200	200
Ložisko 6700 2RS	1	1	38,72	38,72
Vodotěsné konektory	2	2	75,5	151
Vodotěsný vypínač	1	1	129	129
Fotorezistor	5	1	1	1
128x64 LCD	1	1	223	223
Vodiče	100	40	0,67	26,8
XH konektory	230	10	0,16	16
Skříčka	2	2	10	20
PremiumCord napájecí kabel	1	1	155	155
šroubky +matky mix	70	70	1,14	80
řemenice	2	2	30	60
řemen uzavřený	1	1	20	20
Závitové vložky M3	200	48	1,4	67,2
Závitové vložky M4	50	8	0,5	4
Závitové vložky M5	20	4	3,8	15,2
Body P360 plnič	1	0,5	200	100
Barva ve spreji	1	0,5	150	75
DPS – základní deska	5	1	16	16
Stencil	1	0	165,96	0
Ostatní malé DPS	20	5	16	80

Tabulka 5: Detailní rozpis součástek použitých na základní desce

Součástky				
Název Součástky	Počet koupených kusů	Počet kusů na 1 zařízení	Cena za kus [Kč]	Cena za 1 zařízení [Kč]
AMS1117-3.3	10	1	0,79	0,79
Resistor $\pm 1\%$ 22.1k Ω 0603	100	1	0,024	0,024
Resistor $\pm 1\%$ 5.11k Ω 0603	100	2	0,026	0,052
28P Push-Pull,P=2.54mm Pin Headers	2	1	9,03	9,03
NPN SOT-23 Bipolar Transistor	20	2	0,45	0,9
SMA(DO-214AC) Diode	50	1	0,16	0,16
Round Button 50mA Straight SPST	5	2	2,83	5,66
Step-down type Adjustable 12V 40V 3.5A	2	1	12,8	12,8
Nichicon Aluminum Electrolytic Capacitor	5	1	7,32	7,32
16V 1uF 0603 Multilayer Ceramic Capacitor	100	1	0,074	0,074
Resistor $\pm 1\%$ 47.5k Ω 0603	100	1	0,024	0,024
47uF 16V SMD Aluminum Electrolytic	10	2	1,24	2,48
2.1A 68uH SMD Inductor	5	1	5,66	5,66
10V 10uF 0603 Multilayer Ceramic Capacitor	100	3	0,13	0,39
5V SOD-523 (TVS/ESD)	50	3	0,41	1,23
L7805ABD2T-TR 1.5A Fixed 5V LDO	2	1	11,89	11,89
UART UART QFN-28-EP	2	1	54,74	54,74
4 $\pm 1\%$ 4.7k Ω 0603x4 Resistor Array	50	2	0,29	0,29
2.54mm Plugin 2.5A 8P	5	2	2,18	4,36
Resistors 75V $\pm 1\%$ 10k Ω 0603	100	6	0,021	0,126
1.5A NPN SOT-23 Bipolar Transistors	20	2	0,46	0,92
500mA SOD-123 Schottky Barrier Diode	20	1	0,65	1,3
Resistor 75V $\pm 1\%$ 0 Ω 0603	100	2	0,026	0,052
Resistor 75V $\pm 1\%$ 22 Ω 0603	100	2	0,024	0,048
Resistor 75V $\pm 1\%$ 2.2k Ω 0603	100	1	0,024	0,024
Green 120° 0603 Light Emitting Diode	100	1	0,11	0,11
Resistor 75V $\pm 1\%$ 4.75k Ω 0603	100	1	0,026	0,026
Type-C SMD USB Connector	5	1	5,18	5,18
12V 1.6A 20W Step Down AC-DC	2	1	100,47	100,47
10V 4.7uF 0603 Multilayer Ceramic Capacitor	100	1	0,13	0,13

Resistor 75V \pm 1% 1k Ω 0603	200	5	0,019	0,095
3A SMA(DO-214AC) Schottky Barrier Diode	20	1	0,62	0,62
SOP-8 EEPROM	5	1	3,31	3,31
CR2032 SMD Battery base	5	1	7,37	7,37
50V 100nF 0603 Multilayer Ceramic Capacitor	100	11	0,059	0,649
25V 22uF 0805 Multilayer Ceramic Capacitor	20	1	0,55	0,55
I2C SOIC-8 Real-Time Clock	2	1	50,52	50,52
ESP32-WROOM-32-N8	2	1	76,47	76,47
\pm 1% 26.1k Ω 0603 Chip Resistor	100	2	0,04	0,08
0 $^\circ$ ~360 $^\circ$ SOIC-8 Position Sensor	2	1	33,32	33,32
2.54mm 2x4P Plugin Female Header	5	1	3,32	3,32
2x4P 2.54mm Plugin Pin Header	10	1	0,93	0,93
15A 300V Screw terminal	5	1	3,33	3,33
470uF 35V Aluminum Electrolytic Capacitor	5	1	7,43	7,43
2x14P Plugin,P=2.54mm Female Header	2	1	9,1	9,1
2.54mm Plugin 2P Female Header	20	1	0,79	0,79
Cena celkem za 1 zařízení	3271,436 Kč			