



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



Návrh systému pro inteligentní ovládání dvířek

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Lukáš Hliněný**
Vedoucí práce: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

System design of smart door control

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Information and Control Systems
Author: **Lukáš Hliněný**
Supervisor: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Hliněný**

Osobní číslo: **M16000076**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**

Název tématu: **Návrh systému pro inteligentní ovládání dvířek**

Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte problematiku mikroprocesorů s ohledem na nízkou spotřebu.
2. Vytipujte motorek a koncová čidla pro ovládání dvířek.
3. Navrhněte schéma a plošný spoj řídicí elektroniky. Hlavní prioritou je autonomní provoz s možností nastavení pomocí klávesnice a displeje. Systém navrhněte tak, aby jej bylo možno v budoucnu rozšířit o vzdálený monitoring. Uvažujte také o možnosti solárního napájení.
4. Realizujte funkční vzorek.



Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Webster J., G., Eren H.: Measurement, instrumentation, and sensors handbook, Two-volume set (Electrical Engineering Handbook), 2014, ISBN: 9781439848838.
- [2] Pinker, J.: Mikroprocesory a mikropočítače, BEN Praha, 2011, ISBN 978-80-7300-353-1.
- [3] Katalogové a aplikační listy elektronických součástek firem ST, TI a Analog Devices.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2019**

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

15. 4. 2019



Lukáš Hliněný

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Lubomírovi Slavíkovi, Ph.D. za trpělivé vedení mé bakalářské práce a také za cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce. Zároveň bych rád poděkoval své rodině a nejbližším přátelům za podporu při realizaci této práce.

Abstrakt

Cílem práce je seznámit čtenáře s problematikou návrhu a realizace systému automatického řízení dvířek pro chov drůbeže s využitím vývojové desky ST Nucleo. Zároveň pak seznámit s možnostmi napájení systému pomocí solárního panelu o nízkém výkonu.

Klíčová slova

STM32 Nucleo, LT3652HV, H-můstek, stejnosměrný motor, solární panel, jazýčkové kontakty, klávesnice 4x4, LCD displej RC1602B

Abstract

The aim of this work is to introduce the reader to the design and implementation of automatic door control system for poultry breeding using the development board ST Nucleo. At the same time, you will be familiar with the power supply options of the system using a low power solar panel.

Key words

STM32 Nucleo, LT3652HV, H-bridge, DC motor, solar panel, reed contacts, 4x4 keyboard, RC1602B LCD

Obsah

Seznam obrázků	12
Seznam grafů	15
Seznam tabulek	15
1 Úvod.....	17
2 Analýza trhu.....	18
2.1 Systém od výrobce ADEKA s.r.o.	18
2.2 Systém ChickenGuard.....	19
2.3 Systém od výrobce MALAPA	19
3 Teoretický rozbor.....	21
3.1 Mikrokontroléry s nízkou spotřebou	21
3.1.1 Výběr architektury mikrokontroleru	21
3.1.2 Srovnání mikrokontrolerů s ohledem na spotřebu a výkon	23
3.1.3 Srovnání vývojových desek s ohledem na spotřebu	23
3.2 Senzory polohy.....	24
3.3 Elektromotory	26
3.4 Mechanika pohybu dvířek.....	27
3.4.1 Přímý posuvný pohyb nahoru a dolů	27
3.4.2 Výklopný pohyb dolů	27
3.4.3 Výklopný pohyb nahoru	28
3.4.4 Posuvný pohyb do strany	28
3.5 Možnosti napájení	29
3.5.1 Olověný akumulátor	29
3.5.2 Nikl-metal hydridový akumulátor	29
3.5.3 Lithium-polymerový akumulátor.....	30
3.5.4 Solární články	30
4 Postup a realizace.....	32
4.1 Blokové schéma	32
4.2 Vývojová deska NUCLEO.....	33
4.3 Elektromotor	34

4.4	Senzory a koncová čidla.....	35
4.5	Displej a klávesnice.....	36
4.5.1	Displej	36
4.5.2	Klávesnice.....	37
4.6	Solární napájení.....	37
4.6.1	Výběr akumulátoru	37
4.6.2	Solární nabíječka olovnatých akumulátorů s obvodem LT3652HV	38
4.7	Montážní krabičky	46
4.8	Návrh schématu.....	47
4.8.1	Napájení	47
4.8.2	Vývojová deska Nucleo	48
4.8.3	Zapojení H-můstku	49
4.8.4	Připojení displeje a klávesnice.....	50
4.9	Návrh plošného spoje	51
4.10	Model posuvných dvířek	54
4.11	Sestavení řídicí jednotky	58
4.12	Naprogramování	60
	Závěr	62
	Použitá literatura	63
	Přílohy.....	64
I.	Tabulka naměřených hodnot.....	64
II.	Kompletní schéma zapojení	65
III.	Kalkulace – Solární nabíječka.....	66
IV.	Kalkulace – Dřevěný model.....	66
V.	Kalkulace – Základní deska + krabička	67
VI.	Obsah přiloženého CD	68



Seznam symbolů, zkratek a termínů

AKU	Akumulátor
DC	stejnoseměrný (Direct Control)
DPS	Deska Plošných Spojů
GPIO	Univerzální vstup / výstup (General-purpose input/output)
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
FV	Fotovoltaika
LCD	Displej z tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
MCU	Mikrokontrolér
MIPS	Milion instrukcí za sekundu (Million Instructions Per Second)
MPPT	Maximální sledování výkonu (Maximum Power Point Tracking)
OZ	Operační zesilovač
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci (Radio Frequency Identification)
RISC	Redukovaná instrukční sada (Reduced Instruction Set Computer)
TUL	Technická univerzita v Liberci

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Příklad domku pro drůbež (tzv. kurník) (zdroj: https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz)	17
Obrázek 2 - Systém od ADEKA s.r.o. (zdroj: https://www.adeka.cz/detail/adk104-komplet-automaticky-navijak-s-soupacimi-dvirky-a-solarnim-panelem)	18
Obrázek 3 - Systém ChickenGuard (zdroj: https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/chickenguard-extreme-automaticke-otevirani-a-zavirani-kurniku-svetelny-senzor-bez-dvirek-p34193/)	19
Obrázek 4 - Solární automatický otvírač dveří SO60 (zdroj: http://www.malapa.cz/produkty/solarni-energie/SO60)	19
Obrázek 5 - Solární automatický otvírač dveří SO60 – vnitřek (zdroj: http://www.malapa.cz/produkty/solarni-energie/SO60)	20
Obrázek 6 - Základní blokové schéma	21
Obrázek 7 - Vývojová deska Arduino Uno (zdroj: https://www.kondik.cz/ARDUINO-UNO)	22
Obrázek 8 - Vývojová deska NUCLEO-L053R8 (zdroj: https://www.kondik.cz/NUCLEO-L053R8)	23
Obrázek 9 - Příklad reflexní světelné závory (zdroj: https://www.puhy.cz/reflexni-opticka-zavora-panasonic-cx493pz-dosah-5-m-konektor-m8-18843.html)	24
Obrázek 10 - Kapacitní senzor přiblížení (zdroj: https://velkoobchod.conrad.cz/kapacitni-senzor-priblizeni-m30-nezarovnananpn-pepperl-fuchs.k506690)	24
Obrázek 11 - Jazýčková čidla řady KMS (zdroj: https://www.tme.eu/html/CZ/jazyckova-cidla-rady-kms/ramka_2202_CZ_pelny.html)	25
Obrázek 12 - Indukční snímač (zdroj: https://www.vsepro3dtisk.cz/p/indukcni-snimac-pnp-no-lj12a3-4-z-by)	25
Obrázek 13 - Funkce stejnosměrného motoru (zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor)	26
Obrázek 14 - Ukázka stejnosměrného motoru (zdroj: https://www.kondik.cz/motorek-130-SIZE-6V)	26
Obrázek 15 - Automatická kurníková dvířka Chickdoor (zdroj: http://chickdoor.com/)	27
Obrázek 16 - Posuvný systém pro interiérové dveře (zdroj: https://www.grimax.cz/posuvny-system-izyda-pro-interierove-posuvne-dvere)	28



Obrázek 17 - Bezúdržbový olověný akumulátor 12 V 7,2Ah (zdroj: https://www.kondik.cz/akumulator-Pb-12V-7Ah).....	29
Obrázek 18 - Akumulátor Ni-MH, velikost AA (zdroj: https://www.kondik.cz/aku-GP-220AAH).....	29
Obrázek 19 - Li-pol akumulátor (zdroj: https://arduino-shop.cz/arduino/3059-li-pol-akumulator-3-7v-1200mah-9x35x41mm.html)	30
Obrázek 20 - Solární panel 10 W (zdroj: https://www.kondik.cz/solarni-panel-10W) ..	30
Obrázek 21 - Solární systém (zdroj: https://www.abctech.cz/solarni-system-50wp-12v-55ah-set50_d36759.html)...	31
Obrázek 22 - Navržené blokové schéma	32
Obrázek 23 - Vývojová deska Nucleo L053R8 (zdroj: https://www.kondik.cz/NUCLEO-L053R8)	33
Obrázek 24 - Vývojová deska Nucleo L053R8 – popis (zdroj: https://docs.zephyrproject.org/latest/boards/arm/nucleo_l053r8/doc/nucleol053r8.html)	33
Obrázek 25 - Použitý motor FIT0489-D (zdroj: https://www.kondik.cz/motor-FIT0489-D).....	34
Obrázek 26 - Rozměry použitého motoru (zdroj: https://www.dfrobot.com/)	35
Obrázek 27 - Použitá koncová čidla KMS-30 (zdroj: https://www.kondik.cz/cidlo-KMS30).....	35
Obrázek 28 - Displej RC1604A-BIW-ESV od výrobce RAYSTAR OPTRONICS (zdroj: https://www.tme.eu/cz/details/rc1604a-biw-esv/alfanumericke-lcd-displeje/raystar-optronics/)	36
Obrázek 29 - Klávesnice QWERTY QW-01 (https://www.kondik.cz/klavesnice-QW-01)	37
Obrázek 30 - Vybraný olověný akumulátor (zdroj: https://www.kondik.cz/akumulator-Pb-12V-4-5Ah)	38
Obrázek 31 - Schéma zapojení solární nabíječky	38
Obrázek 32 - Návrh plošného spoje pro solární nabíječku	40
Obrázek 33 - Realizace solární nabíječky.....	40
Obrázek 34 - Schéma měření solární nabíječky	41
Obrázek 35 - Měření solární nabíječky multimetry UNI-T	41
Obrázek 36 - Umístění solárního panelu	42
Obrázek 37 - Krabice pro elektronickou část FIBOX PC M 95 G (zdroj: https://www.kondik.cz/krabicka-PCM95G)	46

Obrázek 38 - Krabice pro motor PAWBOL S-BOX 206 (zdroj: https://www.kondik.cz/krabicka-BOX206)	47
Obrázek 39 - Schéma zapojení DC/DC měniče.....	47
Obrázek 40 - Schéma zapojení – GPIO na Nucleu.....	48
Obrázek 41 - Doporučené zapojení pro řízení motoru (zdroj: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf)	49
Obrázek 42 - Zapojení H-můstku a operačního zesilovače pro měření proudu	49
Obrázek 43 - Schéma zapojení displeje	50
Obrázek 44 - Připojení klávesnice	50
Obrázek 45 - Návrh DPS (vrchní část - TOP)	51
Obrázek 46 - Návrh DPS (spodní část - BOTTOM)	52
Obrázek 47 - Výsledná DPS (vrchní strana).....	53
Obrázek 48 - Výsledná DPS (spodní strana)	53
Obrázek 49 - Výroba modelu, stěna s otvorem	54
Obrázek 50 - Výroba modelu, upevnění pojízdné lišty a dvířek	54
Obrázky 51 - Výroba modelu, umístění ozubnice na dvířka, krabice pro motor	55
Obrázek 52 - Generování ozubeného kolečka v Autodesk Inventor 2019	55
Obrázek 53 - Tisk ozubeného kolečka.....	56
Obrázek 54 - Výroba modelu, osazení motoru s ozubeným kolečkem	56
Obrázky 55 - Instalace koncových čidel.....	57
Obrázek 56 - Výroba modelu, zalištování kabeláže od koncových čidel	57
Obrázek 57 - Hotový model posuvných dvířek	58
Obrázek 58 - Upravené víko krabice	58
Obrázek 59 - Kompletní krabice.....	59
Obrázek 60 - Nastavení mikrokontroleru v STM32CubeMX	60
Obrázek 61 - Vývojový diagram	61
Obrázek 62 - Kompletní schéma zapojení	65

Seznam grafů

Graf 1 - Vývoj vstupního výkonu v čase proložený funkcí 3. řádu	42
Graf 2 - Vývoj výstupního výkonu v čase proložený funkcí 3. řádu	43
Graf 3 - Vývoj účinnosti v čase proložený funkcí 3. řádu	43
Graf 4 - Vývoj výstupního napětí v čase proložený funkcí 3. řádu	44
Graf 5 - Vývoj výstupního výkonu na vstupním proložený funkcí 1. řádu	44
Graf 6 - Vývoj účinnosti na vstupním výkonu proložený funkcí 3. řádu	45

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Srovnání mikrokontrolérů s ohledem na spotřebu a výkon.....	23
Tabulka 2 - Srovnání vývojové desky Arduino a Nucleo	23
Tabulka 3 - Parametry vybraného motoru	34
Tabulka 4 - Parametry použitého akumulátoru.....	39
Tabulka 5 - Hodnoty z měření solární nabíječky.....	64
Tabulka 6 - Kalkulace - Solární nabíječka.....	66
Tabulka 7 - Kalkulace - Výroba modelu	66
Tabulka 8 - Kalkulace - Výroba funkčního vzorku	68



1 Úvod

Mnoho zahrádkářů, kteří chovají různá domácí zvířata, například slepice, neodjíždějí často na dovolenou z důvodu, že by se jim o drahé slepičky neměl kdo postarat. Hlavně by musely být celou dobu zavřeny v tzv. kurníku, aby jim neublížil predátor. Proto vznikla potřeba celý proces otevírání a zavírání dvířek, případně krmení, spolehlivě automatizovat, protože jak je známo spokojená slepice snáší ta nejlepší vajíčka.



Obrázek 1 - Příklad domku pro drůbež (tzv. kurník) (zdroj: <https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz>)

Cílem práce je návrh a výroba funkčního systému pro automatizované otevírání a zavírání dvířek. Práce má seznámit čtenáře s problematikou výběru mikrokontroléru s ohledem na nízkou spotřebu. Dále pak s výběrem potřebných komponentů jako je motor nebo koncová čidla pro ovládání dvířek. Nedílnou součástí je samotný návrh řídicí elektroniky, kde hlavní prioritou je autonomní provoz s možností nastavení pomocí klávesnice a displeje. Navržený systém musí být připraven na budoucí rozšíření o vzdálený monitoring, například pomocí chytrého mobilního telefonu. Tato práce se zabývá i možnostmi solárního napájení pro zaručení energetické nezávislosti celého systému. Pro otestování celého navrženého řešení bude postaven funkční vzorek včetně části domku pro drůbež, jakožto modelu pro testování otevírání a zavírání dvířek.

2 Analýza trhu

Před zahájením jakéhokoli vývoje jsem učinil průzkum trhu, přičemž jsem zjistil, že v nabídce je několik komerčních řešení. Nabízená zařízení pracují často na podobném principu, nicméně mají své nedostatky, které uvedu v následujících podkapitolách. Průzkum trhu jsem provedl prostřednictvím internetu, konkrétně zadáním výrazu „automatické otevírání dvírek“ do vyhledávače Google a Seznam.

2.1 Systém od výrobce ADEKA s.r.o.

Prvním nalezeným komerčním řešením, který by alespoň částečně odpovídal našim požadavkům byl systém „ADK104 – Komplet automatický naviják s šoupacími dvírký a solárním panelem“ od českého výrobce ADEKA s.r.o.



Obrázek 2 - Systém od ADEKA s.r.o.

(zdroj: <https://www.adeka.cz/detail/adk104-komplet-automaticky-navijak-s-soupacimi-dvirky-a-solarnim-panelem>)

Toto řešení využívá primitivního způsobu navíjení provázku, kdy dvířka jezdí nahoru a dolu ve vodících lištách, upevňovací šrouby tvoří zároveň i dorazy. Tento způsob otevírání a zavírání má řadu nevýhod, které budou rozebrány v kapitole 3.4 – Mechanika pohybu dvírek. Systém je plně automatický, otevírání a zavírání je prováděno na základě soumrakového spínače (nebo solárního panelu, ze specifikace není tato informace jasná) bez možnosti nastavení. Panuje názor, že otvor pro provázek nebo lanko zbytečně snižuje stupeň krytí systému na IP20. Systém napájí solární panel, který nabíjí čtyři Ni-MH akumulátory o neznámé kapacitě.

Tento systém má řadu zmíněných nevýhod, nicméně výhodou je jeho jednoduchost a nízká pořizovací cena, která se pohybuje okolo 4.000, - Kč.

2.2 Systém ChickenGuard

Dalším nalezeným komerčním řešením je zahraniční výrobek „ChickenGuard“, který vůči předchozímu řešení nabízí možnost nastavení vlastního času otevírání nebo zavírání dvířek, nebo pomocí světelného senzoru (soumrakového spínače), což je výhodné. Nevýhodou tohoto systému je samotné napájení, buď pomocí čtyř AA baterií (výdrž cca 6 měsíců), nebo pomocí USB kabelu (baterie musí být vyjmuty, nelze je tak dobíjet).



Obrázek 3 - Systém ChickenGuard (zdroj: <https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/chickenguard-extreme-automaticke-otevirani-a-zavirani-kurniku-svetelny-senzor-bez-dvirek-p34193/>)

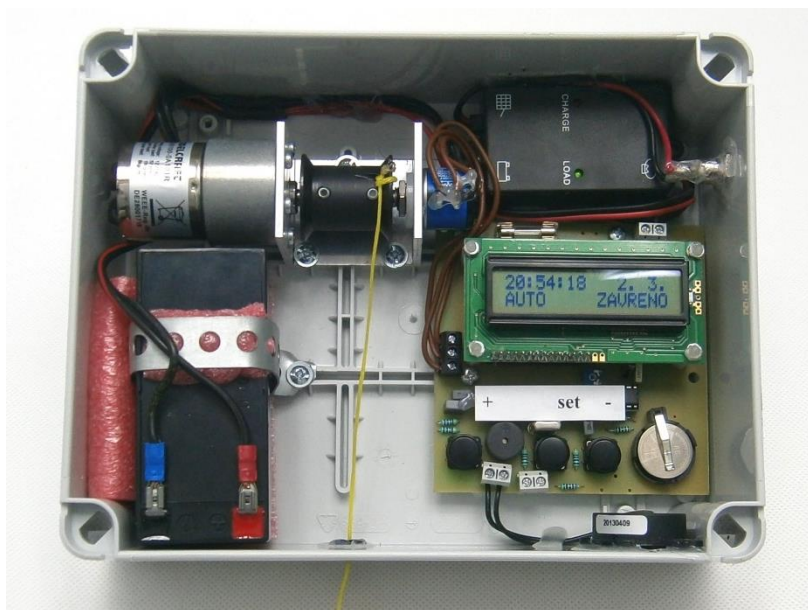
Tento systém využívá stejného principu otevírání a zavírání dvířek, jako předchozí od výrobce ADEKA, s tímto řešením jsou spjaté zmíněné nevýhody. Systém obsahuje dvouřádkový LCD displej pro potřeby nastavení. Cena tohoto systému, jehož součástí není nabíjení solárním panelem, ani balení dvířek, činí 5.022, - Kč.

2.3 Systém od výrobce MALAPA

Dalším českým komerčním řešením je „Solární automatický otvírač dveří SO60“ od výrobce MALAPA. Tento systém sdružuje výhody, ale i některé nevýhody předešlých systémů, ovšem vzhledem k našim požadavkům se jako řešení přibližuje nejvíce.



Obrázek 4 - Solární automatický otvírač dveří SO60 (zdroj: <http://www.malapa.cz/produkty/solarni-energie/SO60>)



Obrázek 5 - Solární automatický otvírač dveří SO60 – vnitřek
(zdroj: <http://www.malapa.cz/produkty/solarni-energie/SO60>)

Systém má nezávislé napájení díky solárnímu panelu, jehož energie se ukládá do akumulátoru (12 V / 1,2 Ah). Možnost naprogramování času pro otevření nebo zavření dvířek, nebo řízení pomocí soumrakového snímače v datumové podobě. Bezkontaktní snímače polohy. Zajímavým řešením je možnost vysílat akustický signál, na který se drůbež sama naučí zalézat vždy, když uslyší tento zvukový signál.

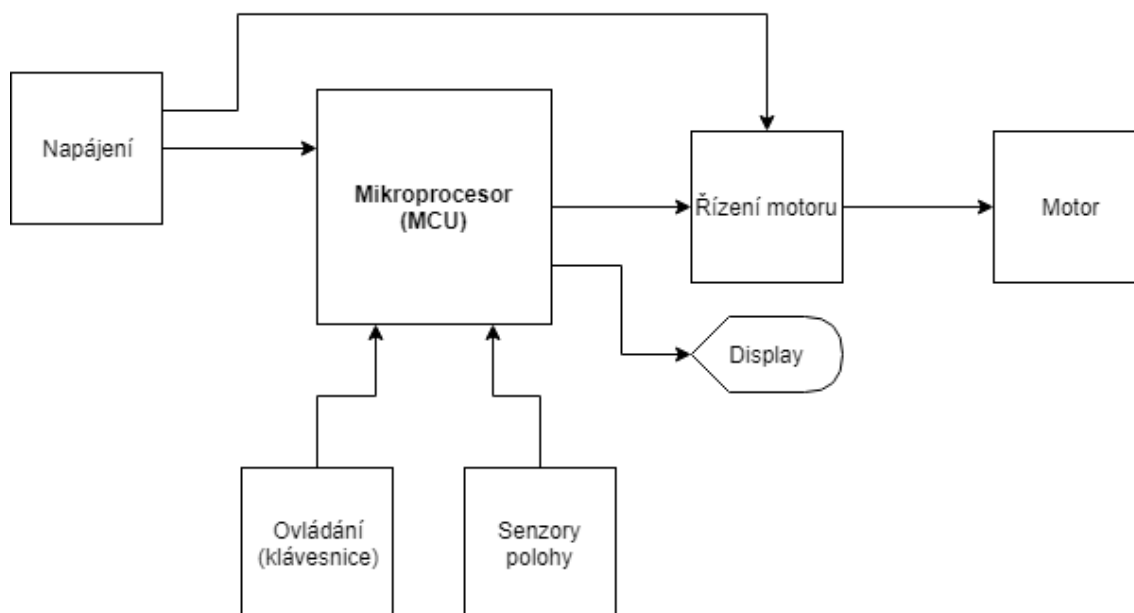
Nevýhodou jako u předešlých řešení je otevírání pohybem dvířek nahoru a dolů pomocí navíjení a odvíjení provázku. V toto případě může otvor pro provázek způsobit vnik vlhkosti a poškodit poměrně citlivou řídicí elektroniku. Nevýhodné se může také jevit nastavení systému pouze po sejmutí ochranného krytu.

Tento systém se z uvedených jeví jako nejlepší, ovšem také má své nevýhody. Hlavní výhodou je opět jednoduchost systému a vzhledem k poměru kvalita / výkon i jeho příznivá cena, která za celý komplet včetně dvířek a panelu pohybuje okolo 5.905, - Kč.

Existuje mnoho dalších komerčních řešení, například systém „ChickDoor“ od Ing. Vojtěcha Kolomazníka z VUT. Ovšem všechna tato komerční řešení fungují většinou na jednoduchém principu pohybu dvířek nahoru pomocí navíjení provázku. Pouze řídicí jednotky a způsoby napájení těchto řešení jsou rozdílné.

3 Teoretický rozbor

Celá práce vychází z dnes již běžného standardu pro menší aplikace, kterým je řízení všech prvků jedním centrálním mikrokontrolérem. Teoretickou aplikaci pro daný úkol znázorňuje následující blokové schéma.



Obrázek 6 - Základní blokové schéma

V následujících kapitolách rozebereme jednotlivé části (komponenty) blokového schéma podrobně.

3.1 Mikrokontroléry s nízkou spotřebou

Pro zařízení, které bude napájeno akumulátorem je minimalizace spotřeby důležitým faktorem pro prodloužení doby do nutnosti nabíjení. Dosažení minimální spotřeby není však závislé pouze na mikrokontroléru. Zapotřebí je komplexnějšího přístupu, protože k výraznému snížení spotřeby může přispět optimalizace kódu nebo vhodný výběr dalších komponent připojených k mikrokontroléru. Všechny tyto optimalizace nebo komponenty přispívají do celkové spotřeby systému. Hlavní zátěží je ale právě mikrokontroler, jehož spotřebu můžeme ovlivnit jeho vhodným výběrem.

3.1.1 Výběr architektury mikrokontroleru

Výběr mikrokontroleru s nízkou spotřebou tzv. low power začíná volbou jádra. Existuje mnoho typů mikroprocesorových jader. Při výběru je nutné zvážit dva faktory: výkonnost a energetickou účinnost. S vyčíslením těchto veličin pomáhá metoda CoreMark nebo ULPMark.

3.1.1.1 Mikrokontrolery AVR

Označení AVR je pro rodinu 8bitových mikrokontrolerů typu RISC (redukovaná instrukční sada) s harvardskou architekturou. Tyto mikrokontrolery vyrábí společnost Microchip (Atmel). Asi nejznámějším zástupcem těchto mikrokontrolerů je typ ATmega328, který se osazuje i do hojně využívaných vývojových desek Arduino Uno.



Obrázek 7 - Vývojová deska Arduino Uno (zdroj: <https://www.kondik.cz/ARDUINO-UNO>)

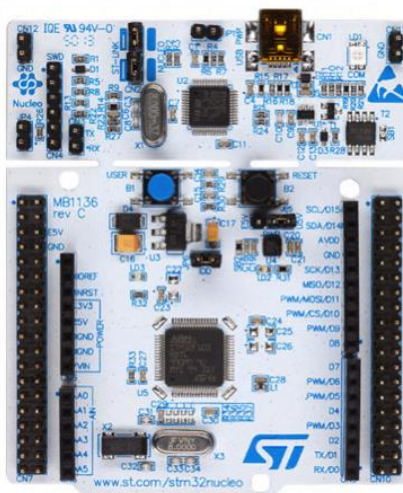
Arduino bylo už při vývoji určeno pro studenty, a proto je velmi vhodné pro začátečníky. Pro komplikovanější aplikace může být Arduino výkonově nedostatečné a optimalizace pro nízkou spotřebu může být náročná. Tato platforma postupně zastarává, což může být i výhodou, protože je k dispozici více knihoven a vše je odladěné.

Pro náročnější aplikace je lepší zvolit 32bitový ARM například od výrobce STMicroelectronics, který nabízí svoji vývojovou desku Nucleo. Tato platforma pro svoji náročnost není úplně vhodná pro začátečníky.

3.1.1.2 Mikrokontrolery ARM

Mikrokontrolery ARM jsou známou 32bitovou architekturou pro svoji nízkou spotřebu elektrické energie. Vlivem velkého rozmachu mobilních zařízení se tyto mikrokontrolery staly v roce 2013 nejpočetněji zastoupenou architekturou. Existuje mnoho typů mikrokontrolerů ARM, ale pro začátek je vhodné zvolit Cortex-M0, protože jsou podporovány mnoha výrobci, kteří poskytují podporu, zdroje informací včetně zdrojových kódů a příkladů.

Zajímavou volbou se může stát například mikrokontroler STMicroelectronics STM32L053, který lze zakoupit a otestovat na vývojové desce NUCLEO-L053R8. Tento mikrokontroler dosahuje ve srovnání výkonnosti CoreMark/MHz výsledek 2,35 (zdroj: EEMBC), čímž se stává velmi efektivním. Navíc jsou tyto mikrokontrolery optimalizovány pro low power aplikace s minimálním počtem ladících prvků. Ovšem jak už bylo zmíněno v předchozí podkapitole, Nucleo není pro svoji náročnost úplně vhodné pro začátečníky.



Obrázek 8 - Vývojová deska NUCLEO-L053R8 (zdroj: <https://www.kondik.cz/NUCLEO-L053R8>)

3.1.2 Srovnání mikrokontrolerů s ohledem na spotřebu a výkon

Typ	Rodina	Šířka slova	Pracovní kmitočet	Napájecí proud v aktivním módu	Napájecí proud v spícím módu
ATmega128	AVR	8 bitů	4 MHz	5,5 mA	25 μ A
ATmega328	AVR	8 bitů	4 MHz	2,5 mA	2,6 μ A
AT89C51CC03	80C51	8 bitů	4 MHz	9,6 mA	100 μ A
PIC24FJ128GA	PIC	16 bitů	8 MHz	1,25 mA	13,7 μ A
STM32F401	ARM	32 bitů	20MHz	7,3 mA	260 μ A
STM32L053	ARM	32 bitů	2 MHz	0,24 mA	4,7 μ A

Tabulka 1 - Srovnání mikrokontrolérů s ohledem na spotřebu a výkon

3.1.3 Srovnání vývojových desek s ohledem na spotřebu

Typ	MCU	Jádro	Napětí	Napájecí proud
Arduino UNO	ATmega328	AVR	5 V	max. 50 mA
Nucleo L053R8	STM32L053R8	ARM Cortex M0	3,3 V	max. 100 mA

Tabulka 2 - Srovnání vývojové desky Arduino a Nucleo

3.2 Senzory polohy

Přesnost lineárních a rotačních posunů mnohdy závisí na vhodném výběru senzorů polohy. Většina strojů a jim podobných zařízení využívají pro zjištění polohy lineární, rotační nebo úhlový senzor. Důležitými parametry těchto senzorů je jejich přesnost a rozlišení, dále pak posuzujeme rozměry senzoru, jeho složitost a často i cenu.

Typ senzoru vybereme podle typu detekce, případně podle podmínek prostředí. V případě výběru podle typu detekce vybíráme mezi senzory dotykovými a bezdotykovými. Samozřejmě je zapotřebí zohlednit plno dalších parametrů, například napájení (AC, DC, žádné), typ výstupu (tranzistorový, analogový anebo binární), citlivost, vzdálenost detekce, přesnost, aj.

Velmi často bývají v průmyslové automatizaci uplatňovány optoelektronické senzory a laserové senzory. Takové bezdotykové senzory se používají zejména tam, kde je potřeba odměřovat větší vzdálenosti, klidně i desítky metrů. Do této kategorie senzorů spadají samozřejmě i hojně využívané světelné závory (jednocestné a reflexní). Světelné závory mají celou škálu využití, ale nejčastěji se používají jako bezpečnostní prvek.



Obrázek 9 - Příklad reflexní světelné závory

(zdroj: <https://www.puhy.cz/reflexni-opticka-zavora-panasonic-cx493pz-dosah-5-m-konektor-m8-18843.html>)

Běžně se také můžeme setkat s kapacitními senzory, které dělíme na dotykové (dvou a více elektrodový systémy) a bezdotykové (VF RC oscilátor, změna kapacity). Tyto senzory reagují na kovové i nekovové materiály. Velmi často se používají pro měření výšky hladiny v nádržích nebo jako senzor přiblížení. Značnou nevýhodou je vysoká pořizovací cena.



Obrázek 10 - Kapacitní senzor přiblížení

(zdroj: <https://velkoobchod.conrad.cz/kapacitni-senzor-priblizeni-m30-nezarovnan-npn-pepperl-fuchs.k506690>)

Velké uplatnění v praxi mívají také analogové odporové senzory, které řadíme do kategorie pasivních senzorů. Měřená neelektrická veličina (např. pozice jezdce) je spojitě převáděna na změnu odporu. Běžně dostupnou součástí pracující na tomto principu je potenciometr (tahový nebo rotační). Tyto senzory využívají můstkové metody pro vyhodnocení hodnoty odporu. Tyto senzory jsou ovlivňovány teplotním koeficientem odporu, životností, rozlišovací schopností, aj.

Mezi odporové senzory řadíme i kontaktové, které využívají skokové změny odporu při změně polohy. Pro správnou funkci musí být zajištěn malý přechodový odpor a sensor musí být uložen ve vhodném pouzdře. Kontakty jsou ovládány mechanicky nebo magnetickým polem. Změnu magnetického pole využívají Hallovy sondy a jazýčkové kontakty (jazýčková relé). Velice cenově dostupným senzorem polohy jsou právě jazýčkové kontakty, které využívají zapouzdření ve skleněné baňce, mnohdy dále umístěny v plastovém pouzdře. Působením vnějšího magnetického pole se kontakty přitáhnou a vznikne vodivý spoj.



Obrázek 11 - Jazýčková čidla řady KMS

(zdroj: https://www.tme.eu/html/CZ/jazyckova-cidla-rady-kms/ramka_2202_CZ_pelny.html)

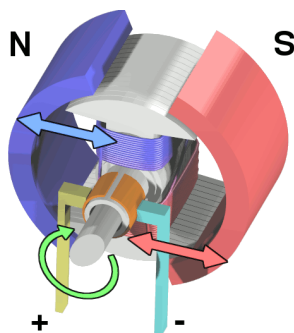
Mezi senzory polohy patří i indukčnostní senzory, které jsou podobné těm kapacitním, ovšem jak už z jejich názvu vyplývá měřená veličina je převáděna na změnu indukčnosti. Indukčnost je připojena do můstkového měřicího obvodu se střídavým napájením. Nevýhodou těchto senzorů je vyšší pořizovací cena a detekce pouze kovových předmětů. Výhodou je malá spotřeba, nepodléhá rušení, odolnost vůči prachu, vibracím a vlhkosti.



Obrázek 12 - Indukční snímač (zdroj: <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/indukcni-snimac-pnp-no-lj12a3-4-z-by>)

3.3 Elektromotory

Jelikož pro danou aplikaci předpokládáme napájení z akumulátoru je vhodný výběr elektromotoru určeného pro provoz na stejnosměrný proud. Běžně dostupným je komutátorový motor s permanentními magnety a dvoupólovou kotvou. Takový nejjednodušší stejnosměrný motor se pak skládá ze statoru s permanentním magnetem a rotující kotvy tvořené elektromagnetem, který standardně má $2n$ pólů (vyšší počet pólů zvyšuje moment na hřídeli). Komutátor (nebo také rotační přepínač) mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole, který prochází kotvou dvakrát během jedné otáčky. Vlivem toho má síla působící na póly rotoru stejný směr. V okamžiku přepnutí polarity se využívá setrvačnosti.



Obrázek 13 - Funkce stejnosměrného motoru (zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>)

Výhodou těchto motorů je buzení magnetického obvodu statoru permanentními magnety. Následně kotva je přes uhlíky a komutátor napájena stejnosměrným napětím. Rychlost takového motoru regulujeme velikostí proudu a směr otáčení měníme polaritou. Pro takové řízení je pak nejlepší volbou H-můstek. Tyto motory se hojně používají v malých zařízeních, kde je kladen důraz na malé rozměry, například modelářství.



Obrázek 14 - Ukázka stejnosměrného motoru (zdroj: <https://www.kondik.cz/motorek-130-SIZE-6V>)

Pro danou aplikaci lze využít i speciálního druhu mnohápólového synchronního motoru nesoucí název krokový motor. Takový motor sice nese výhodu přesného řízení otáček a možnost nastavení konkrétní polohy rotoru, ale pořizovací cena je poměrně vysoká (při požadavku vyššího momentu síly) a jeho řízení je značně komplikovanější. Navíc hrozí přeskakování jednotlivých kroků při větším zatížení.

3.4 Mechanika pohybu dvířek

V 2. kapitole (Analýza trhu) byly znázorněny možnosti komerčního řešení daného úkolu. Všechny nalezené řešení využívají pohybu dvířek nahoru a dolů, který ne vždy může být výhodný. V následujících podkapitolách rozeberme další možnosti.

3.4.1 Přímý posuvný pohyb nahoru a dolů

Tento způsob využívá většina komerčních řešení, pohyb většinou závisí na odvíjení nebo namotávání provázku nebo lanka na hřídel motoru. Značnou nevýhodou může být výška celého řešení, protože některé domky pro drůbež (například kachny) potřebují nízký domek, v takovém případě pak nelze toto řešení použít.



Obrázek 15 - Automatická kurníková dvířka Chickdoor (zdroj: <http://chickdoor.com/>)

V případě lehkých dvířek může dojít i k nadzvednutí šelmou (například Kuna nebo Liška obecná). Okolí chovu drůbeže sebou většinou nese i spoustu nečistot, které mohou zanést U profily a zamezit tak pochybu. V poslední řadě může dojít k přetržení lanka.

3.4.2 Výklopný pohyb dolů

Tento způsob otevírání a zabírání byl znám už ve středověku, využívali jej především na hradech pro padací most. Tento systém sice řeší problém nedostatku místa nad otvorem dvířek, ale na druhou stranu zavádí plno dalších nevýhod. Jednou z nich je potřeba dvou provázků (lanek), tím pádem bude i složitější mechanika navíjení. Napnutá lanka otevřených dvířek může drůbeži vadit a mohou se o ně zranit. V poslední řadě by byla dvířka neustále značně znečištěná.

3.4.3 Výklopný pohyb nahoru

Tento způsob je obdoba padacího mostu s rozdílem, že osa otáčení dvířek je nahoře. Tato změna sice řeší některé problémy z předchozího řešení (nečistota dvířek a napnutá lanka), ovšem mechanizace pohybu je zde také náročná. Opět je nutné použití provázku nebo lanka. Pro bezpečné zavření by musel být umístěn servomotor pro zajištění dvířek proti otevření, jinak by mohlo dojít k nežádoucímu otevírání jak chovanou drůbeží, tak i nepřátelskou šelmou.

3.4.4 Posuvný pohyb do strany

Tento způsob otevírání a zavírání dvířek je obdobný pro zavěšená posuvná vrata nebo dveře u garáže nebo skříně. Výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost, funkčnost a snadná proveditelnost. Navíc jsou tímto způsobem vyřešeny prakticky veškeré problémy předchozích řešení. Posuvný pohyb zajišťuje motor s ozubeným kolečkem a ozubnice umístěná na dvířkách. U tohoto systému je nutná alespoň základní ochrana před přivřením drůbeže mezi dvířky, protože zde není žádný namotávaný provázek, který snadno povolí.



Obrázek 16 - Posuvný systém pro interiérové dveře

(zdroj: <https://www.grimax.cz/posuvny-system-izyda-pro-interierove-posuvne-dvere>)

3.5 Možnosti napájení

Jak již bylo mnohokrát zmíněno pro danou aplikaci, která je často umístěna mimo dosah rozvodu elektrické sítě je na místě použít akumulátor, který by byl optimálně nabíjen za pomoci obnovitelného zdroje elektřiny, například ze slunce. Elektrochemické akumulátory nejčastěji dělíme podle principu na olověný (Pb), Nikl-metal hydridový (NiMH), Lithium-polymerový (Li-pol), aj.

3.5.1 Olověný akumulátor

Jedná se o galvanický článek s olověnými elektrodami a kyselinou sírovou jakožto elektrolytem. Výhodou je schopnost dodat rázově vysoký proud a nízká cena. Tyto akumulátory rozdělujeme podle technologie na akumulátory se zaplavenými elektrodami (používané v automobilech) a na VRLA, což jsou ventilem řízené olověné akumulátory. V praxi se běžně můžeme setkat s gelovými VRLA (tzv. technologie GEL), kde je elektrolyt zahuštěný ve formě gelu. Používají se často jako záložní napájení pro bezpečnostní systémy. Navíc mají vyšší odolnost v cyklické zátěži oproti běžným akumulátorům čili jsou vhodné i pro nabíjení pomocí solární energie.



Obrázek 17 - Bezúdržbový olověný akumulátor 12 V 7,2Ah (zdroj: <https://www.kondik.cz/akumulator-Pb-12V-7Ah>)

3.5.2 Nikl-metal hydridový akumulátor

Jedná se o druh galvanického článku, který díky značně velké kapacitě, schopnosti dodávat poměrně velký proud a přijatelné ceně dosáhl velkého rozšíření. Omezením pro tento akumulátor je napětí 1,2V, bylo by tedy nutné jej poskládat sériově, což by pro dosažení napětí 12 V znamenalo sériově poskládat 10 těchto článků.



Obrázek 18 - Akumulátor Ni-MH, velikost AA (zdroj: <https://www.kondik.cz/aku-GP-220AAH>)

3.5.3 Lithium-polymerový akumulátor

Jedná se o poměrně nový typ akumulátorů, který byl vyvinut z Lithium-iontových akumulátorů (Li-ion). Vývojem se zlepšily některé vlastnosti, například nižší hmotnost, vyšší kapacita atd. Výroba těchto akumulátorů je velice náročná. Využívají se prakticky ve všech osobních zařízeních (například mobilní telefony). Tyto akumulátory jsou poměrně citlivé na poškození, proto je nutné je hlídat elektronickým obvodem proti přebíjení nebo naopak přílišnému vybití a v neposlední řadě přehřátí. Přitom články mají pro naše účely poměrně nevhodné napětí 3,7 V.



Obrázek 19 - Li-pol akumulátor

(zdroj: <https://arduino-shop.cz/arduino/3059-li-pol-akumulator-3-7v-1200mah-9x35x41mm.html>)

3.5.4 Solární články

Přeměna sluneční energie na elektrickou je v dnešní době prakticky nejběžnějším zdrojem volné energie. Pro tuto přeměnu se využívají fotovoltaické články s PIN fotodiodami. Nejčastěji se můžeme setkat s polykrystalickými křemíkovými články. Sice mají tyto články větší odpor, a tudíž i nižší účinnost (cca 16 %), ale oproti monokrystalickým článkům není výroba tak energeticky a časově náročná.



Obrázek 20 - Solární panel 10 W (zdroj: <https://www.kondik.cz/solarni-panel-10W>)

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI | **Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií** | Studentská 1402/2 | 461 17 Liberec 1
tel.: +420 485 353 624 | lukas.hlineny@tul.cz | www.fm.tul.cz | IČ: 467 47 885 | DIČ: CZ467 47 885



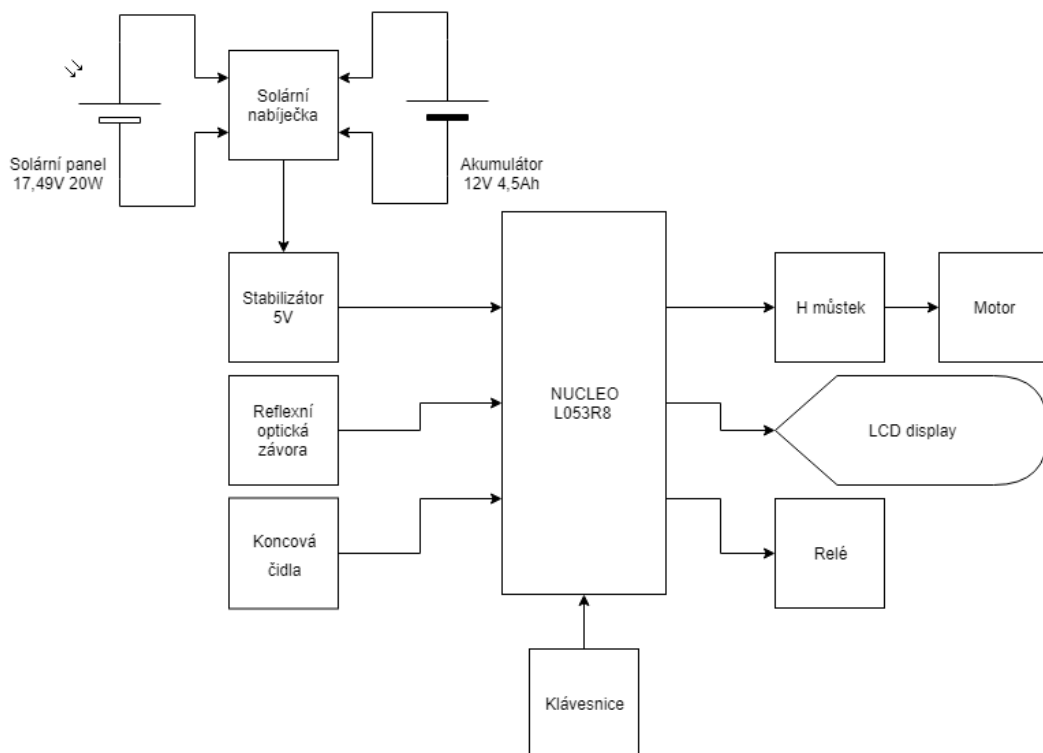
4 Postup a realizace

Pro úspěšnou realizaci je zapotřebí splnit úkoly v zadaných krocích:

- Návrh blokového schéma
- Výběr vhodného mikroprocesoru (vývojové desky)
- Výběr vhodného elektromotoru a koncových čidel (senzory polohy)
- Volba způsobu napájení
- Výběr montážních krabiček
- Návrh schématu zapojení základní desky
- Návrh DPS s ohledem na vybranou krabičku
- Realizace funkčního modelu posuvných dvířek
- Sestavení a oživení systému
- Základní naprogramování

4.1 Blokové schéma

V návaznosti na blokové schéma uvedené v teoretickém rozboru bylo provedeno několik úprav v podobě přidání konkrétních komponentů pro realizaci této práce. Výběr jednotlivých komponentů bude odůvodněn v následujících podkapitolách.

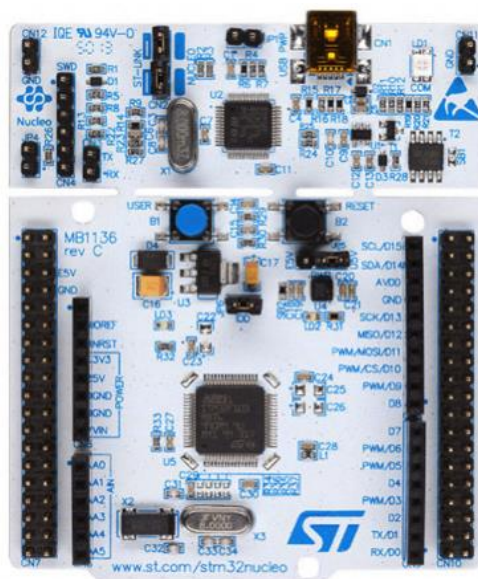


Obrázek 22 - Navržené blokové schéma

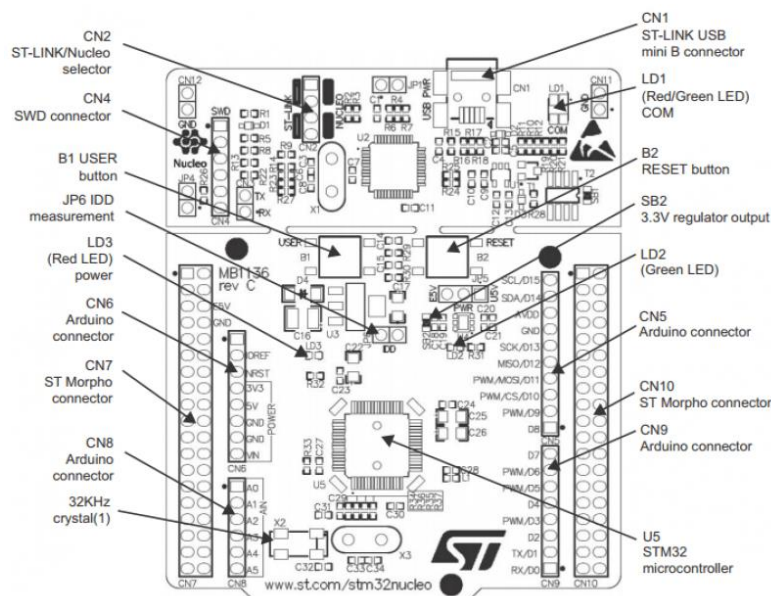
Základem práce je návrh vlastního propojovacího plošného spoje s potřebnými komponenty, do kterého bude následně vložena vývojová deska dle výběru.

4.2 Vývojová deska NUCLEO

Původním záměrem bylo použití mikrokontroleru AVR, který by byl osazen na vývojové desce Arduino Uno. Ovšem vzhledem k narůstající oblíbenosti mikrokontrolerů ARM a po dohodě s vedoucím této práce byla zvolena vývojová deska Nucleo L053R8 od výrobce STMicroelectronics. Na Nucleu je osazen MCU STM32L053R8 (pouzdro QFP64), který spadá do kategorie 32bitový ARM s nejnižší odběrem. Série L0 byla doporučována na veletrhu Embedded World v Norimberku (Německo).



Obrázek 23 - Vývojová deska Nucleo L053R8 (zdroj: <https://www.kondik.cz/NUCLEO-L053R8>)



Obrázek 24 - Vývojová deska Nucleo L053R8 – popis
(zdroj: https://docs.zephyrproject.org/latest/boards/arm/nucleo_l053r8/doc/nucleol053r8.html)

Výhodnou této vývojové desky Nucleo je konektivita v podobě možnosti připojení široké palety nabízených modulů, které jsou určeny pro Arduino Uno. Tato vlastnost může být využita pro připojení například RF modulu pro budoucí vzdálenou komunikaci s mobilním telefonem.

Každý z pinů GPIO může být konfigurován programem jako výstup (push-pull nebo open-drain), nebo jako vstup (s nebo bez pull-up nebo pull-down), nebo jako periferní alternativní funkce. Většina pinů GPIO je sdílena s digitálními nebo analogovými alternativními funkcemi.

4.3 Elektromotor

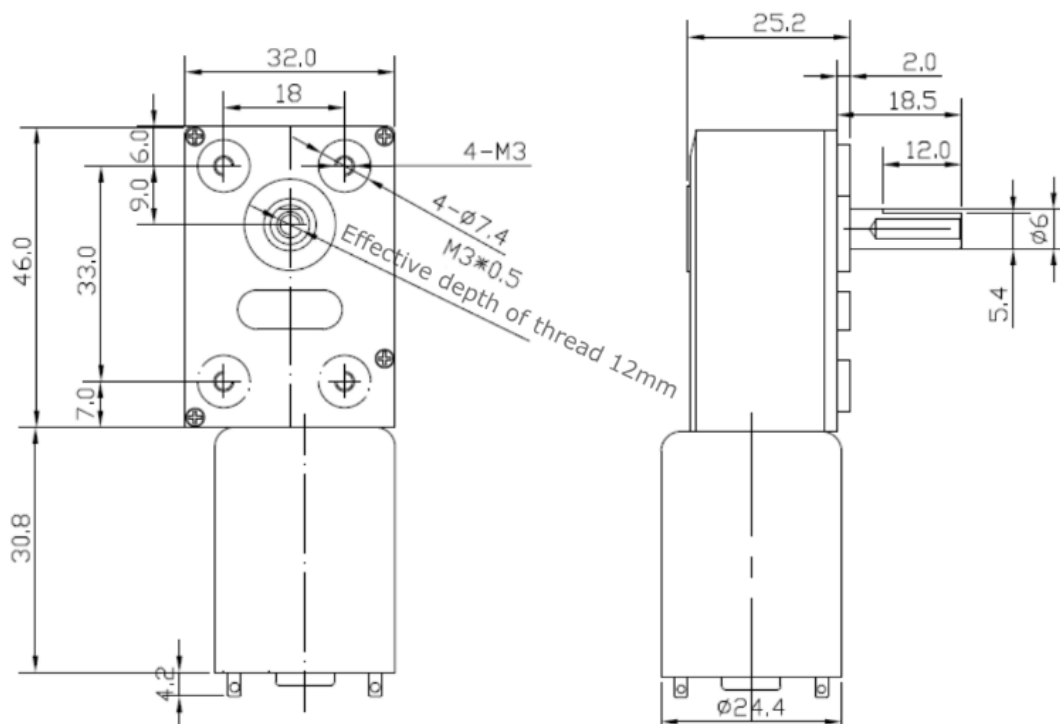
V návaznosti na kapitolu 3.3 (Elektromotory) jsem se rozhodl pro danou aplikaci použít stejnosměrný motor s permanentními magnety. Součástí tohoto motoru je i šneková převodová jednotka. Označení motoru je FIT0489-D a vyrábí jej výrobce DFROBOT. Značnou výhodou je přijatelná momentová síla, malé rozměry a nízká cena.



Obrázek 25 - Použitý motor FIT0489-D (zdroj: <https://www.kondik.cz/motor-FIT0489-D>)

Provozní (jmenovité) napětí	6÷15 VDC (12 VDC)
Rychlost bez zátěže	40 ot. / min.
Proud bez zátěže	35 mA
Pracovní (maximální) proud	180 mA (1000 mA)
Zatěžovací moment	8 kg / cm

Tabulka 3 - Parametry vybraného motoru

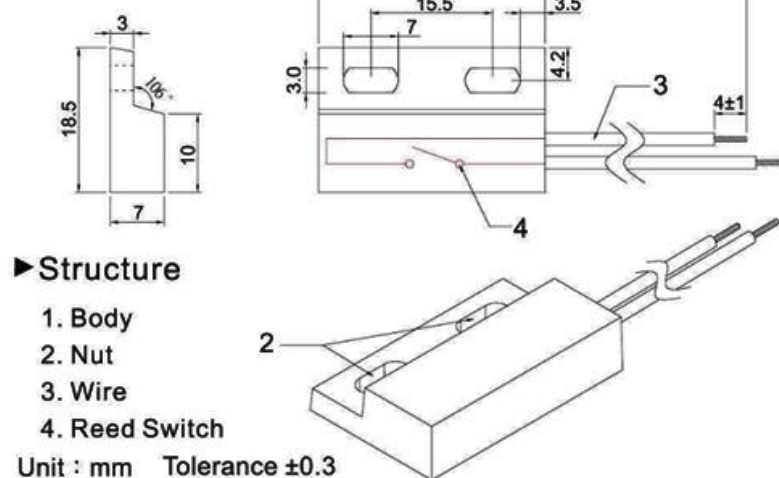


Obrázek 26 - Rozměry použitého motoru (zdroj: <https://www.dfrobot.com/>)

4.4 Senzory a koncová čidla

Pro kontrolu koncových poloh byly použity jazýčkové kontakty v plastovém pouzdru s označením KMS-30. Tyto čidla pracují z důvodu zvýšení bezpečnosti vždy v páru na každé straně. Čidla jsou na každé straně (koncové poloze) spojena paralelně, aby v případě výpadku funkčnosti jednoho čidla byl zajištěn chod systému. Důvodem volby těchto čidel byla jejich nízká pořizovací cena, jednoduchá montáž bez potřeby napájení a v neposlední řadě jednoduché vyhodnocení stavu.

30 Series



Obrázek 27 - Použitá koncová čidla KMS-30 (zdroj: <https://www.kondik.cz/cidlo-KMS30>)

Navržený systém je připraven na budoucí využití reflexní světelné závory pro zastavení pochybu v případě vzniklé překážky. Nicméně světelná závora nebyla nakonec instalována, z důvodu zvýšení celkového odběru proudu systému a také zvýšeného rizika znečištění přítomnou drůbeží. Ochrana proti přivření bude uskutečněna za pomoci programu, ale o tom až v poslední podkapitole.

4.5 Displej a klávesnice

Jednou z hlavních priorit navrhovaného systému je autonomní (samosprávný) provoz s možností nastavení pomocí klávesnice a displeje.

4.5.1 Displej

Existuje mnoho druhů displejů, ovšem pro tuto aplikaci je nejvhodnější použití alfanumerický LCD zobrazovač. Pro budoucí zobrazování informací o stavu systému, nebo možností uživatelského nastavení, by měla vyhovovat velikost 16x4 (16 sloupců a 4 řádky). Konkrétně byl vybrán displej z řady RC1604A s pasivním STN. Displej má modré pozadí a bílé LED podsvícení. Tento modul displeje má v sobě zabudovaný řadič ST7066.



Obrázek 28 - Displej RC1604A-BIW-ESV od výrobce RAYSTAR OPTRONICS
(zdroj: <https://www.tme.eu/cz/details/rc1604a-biw-esv/alfanumericke-lcd-displeje/raystar-optronics/>)

Jelikož bude displej umístěn v krabici, která musí splňovat stupeň krytí IP65, musí být nad displejem umístěn ochranný rámeček. Přímou pro tuto velikost displeje vyrábí rámečky firma Electronic Assembly, model EA017-8UKE. Rámeček je vyroben z materiálu ABS s antireflexním akrylovým sklem s odolností vůči poškrábání.

4.5.2 Klávesnice

Pro nastavování základních parametrů systému, jako například systémový čas, doba otevření nebo zavření, nebo pohyb v menu, byla zvolena membránová klávesnice. Konkrétně byla vybrána klávesnice od výrobce QWERTY, model QW-01. Taková klávesnice má 16 tlačítek v rozložení 4x4. Vývodem této klávesnice je plochý ohebný kabel s konektorem pro kolíkovou lištu. Pro budoucí rozšíření je tato klávesnice plně dostačující.



Obrázek 29 - Klávesnice QWERTY QW-01 (<https://www.kondik.cz/klavesnice-QW-01>)

4.6 Solární napájení

Jedním z úkolů této práce bylo uvážit možnosti solárního napájení. Jak již bylo zmíněno v teoretickém rozboru, pro tuto aplikaci není většinou vhodné využití napájení z rozvodné sítě. Častá výměna baterií nebo manuální nabíjení akumulátorů v zařízení by nemusela být pro případného zákazníka komfortní. Proto jsem se rozhodl využít sluneční energii k přeměně na elektrický proud, kterým budu nabíjet akumulátor.

4.6.1 Výběr akumulátoru

Pro danou aplikaci byl vybrán olověný akumulátor s technologií AGM s napětím 12 V, kapacitou 4,5 Ah a rozměry (délka x šířka x výška) 91 × 71 × 105 mm. Vybraný akumulátor je absolutně bezúdržbový, odolný proti vytečení elektrolytu a bezpečný. Důležitým parametrem je jeho zvýšená odolnost při cyklické zátěži. Značnou výhodou je pak i nízká pořizovací cena, která je v tomto případě 339,- Kč.



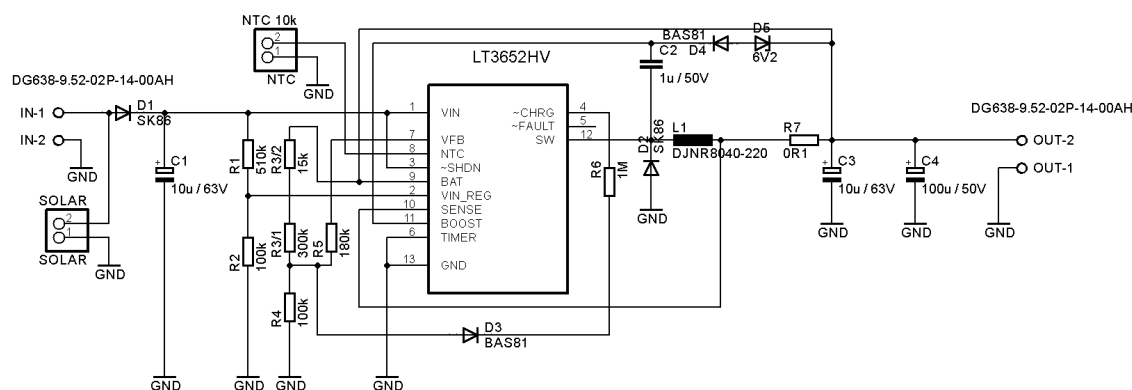
Obrázek 30 - Vybraný olověný akumulátor (zdroj: <https://www.kondik.cz/akumulator-Pb-12V-4-5Ah>)

4.6.2 Solární nabíječka olovnatých akumulátorů s obvodem LT3652HV

Pro energetickou soběstačnost celého systému otevírání a zavírání dveří bylo potřeba navrhnout a otestovat solární nabíječku akumulátorů. Pro tuto aplikaci byl zvolen integrovaný obvod LT3652HV od výrobce Analog Devices. Tento obvod je monolitický a využívá technologii MPPT, která zaručuje maximální využití energie ze solárního panelu. Nabíjecí proud lze nastavit omezovacím odporem v rozmezí $0 \div 2$ A při vstupním napětí $4,95 \div 34$ V. Pro naši aplikaci bude nabíjení akumulátoru fungovat až od vstupního napětí 16,5 V, více v podkapitole 4.6.2.2.

4.6.2.1 Návrh zapojení

Návrh zapojení vychází ze zapojení uvedeného v datasheetu obvodu LT3652HV.



Obrázek 31 - Schéma zapojení solární nabíječky

4.6.2.2 Výpočet součástek pro nastavení obvodu

Součástky byly spočítány pro použitý akumulátor s parametry uvedenými v tabulce.

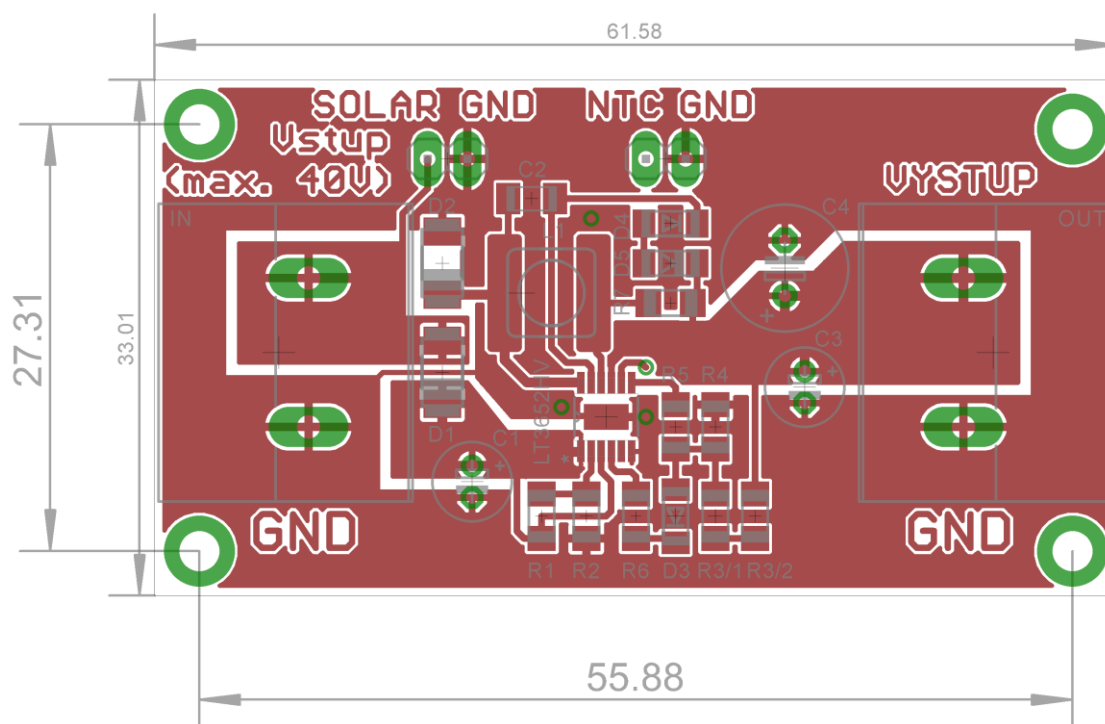
Napětí	12 V
Kapacita	4,5 Ah
Nabíjecí proud I_{CHmax}	1,05 A
Nabíjecí napětí U_{CH}	14,5 ÷ 14,9 V
Udržovací napětí U_{SB}	13,6 ÷ 13,8 V

Tabulka 4 - Parametry použitého akumulátoru

$$\begin{aligned} R_1 \text{ a } R_2: \quad & U_{IN \min} > U_{CH} + 0,75 \text{ V} + 85 \text{ V} = 16,5 \text{ V} \\ & R_1/R_2 = U_{IN \min} / 2,7 - 1 = 5,111 \\ & R_2 = 100 \text{ k}\Omega \\ & R_1 = 5,111 * 100\,000 \sim 510 \text{ k}\Omega \\ R_4: \quad & R_4 = 3,3 \text{ V} / 33 \mu\text{A} = 100 \text{ k}\Omega \\ R_3: \quad & R_4 / R_3 = 3,3 / (U_{SB} - 3,3) \\ & R_3 = 315 \text{ k}\Omega \\ R_6: \quad & R_4' = R_3 * 3,3 / (U_{CH} - 3,3) = 91,184 \text{ k}\Omega \\ & R_6 = 1 / (1 / R_4' - 1 / R_4) = 1 \text{ M}\Omega \\ R_7: \quad & R_7 = 0,1 / I_{CH \max} = 0,095 \sim 0,1 \Omega \end{aligned}$$

Nabíječka pracuje na principu dvoustavové regulace, kdy se střídají stavy nabíjení a udržování napětí na akumulátoru. Hodnotu indukčnosti je třeba odhadnout dle grafu, který je uveden v datasheetu obvodu LT3652HV.

4.6.2.3 Návrh plošného spoje a realizace



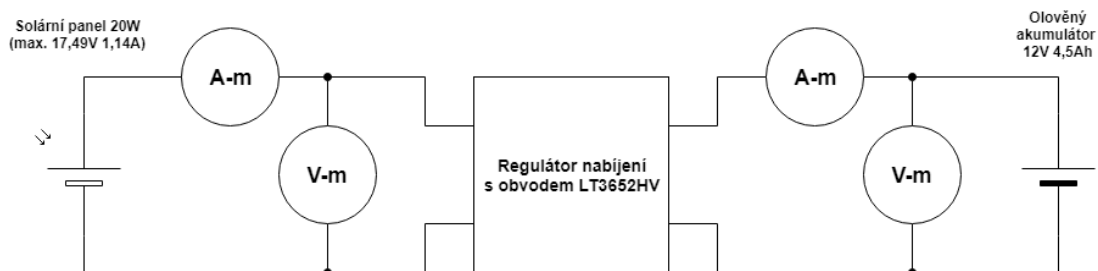
Obrázek 32 - Návrh plošného spoje pro solární nabíječku



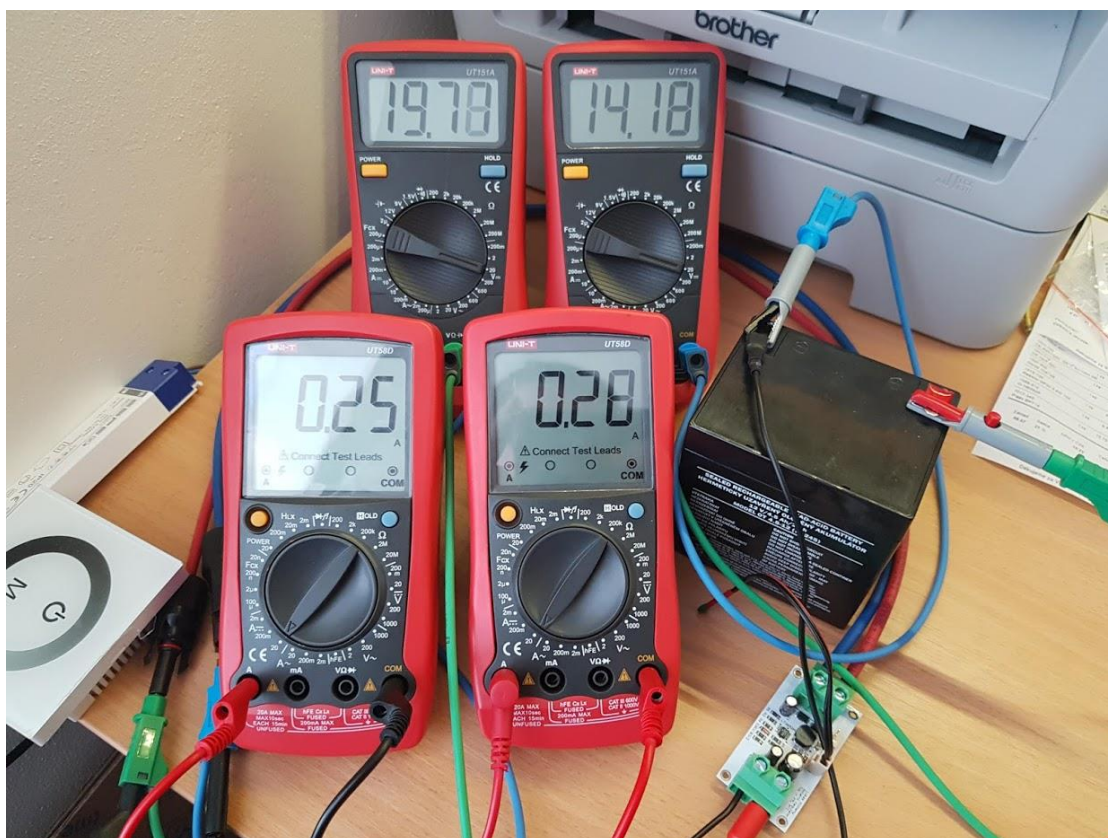
Obrázek 33 - Realizace solární nabíječky

4.6.2.4 Ověření funkčnosti měření

Dle zapojení níže bylo provedeno měření napětí na solárním panelu a proudu do obvodu nabíječky. Dalšími měřicími přístroji (multimetry) byl měřen proud z nabíječky do akumulátoru a napětí na nabíjeném akumulátoru. Výsledné grafy jsou zobrazeny v následující podkapitole. Tabulka naměřených hodnot je uvedena v příloze této práce.



Obrázek 34 - Schéma měření solární nabíječky

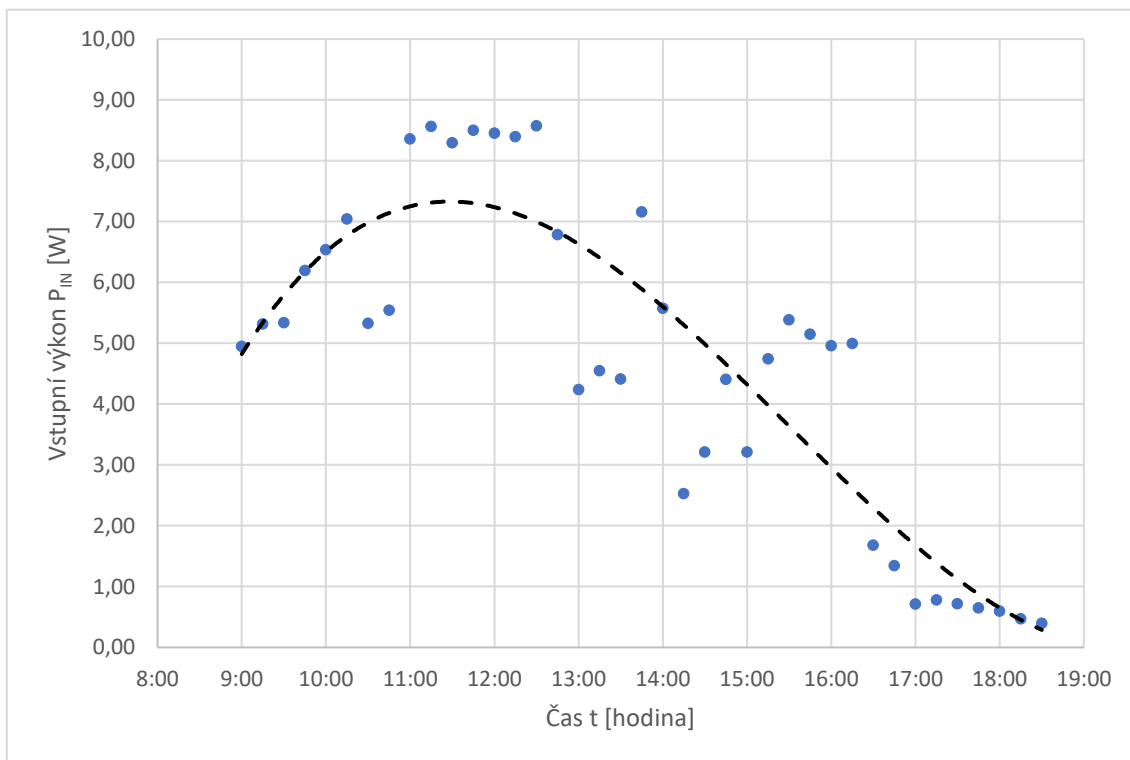


Obrázek 35 - Měření solární nabíječky multimetry UNI-T

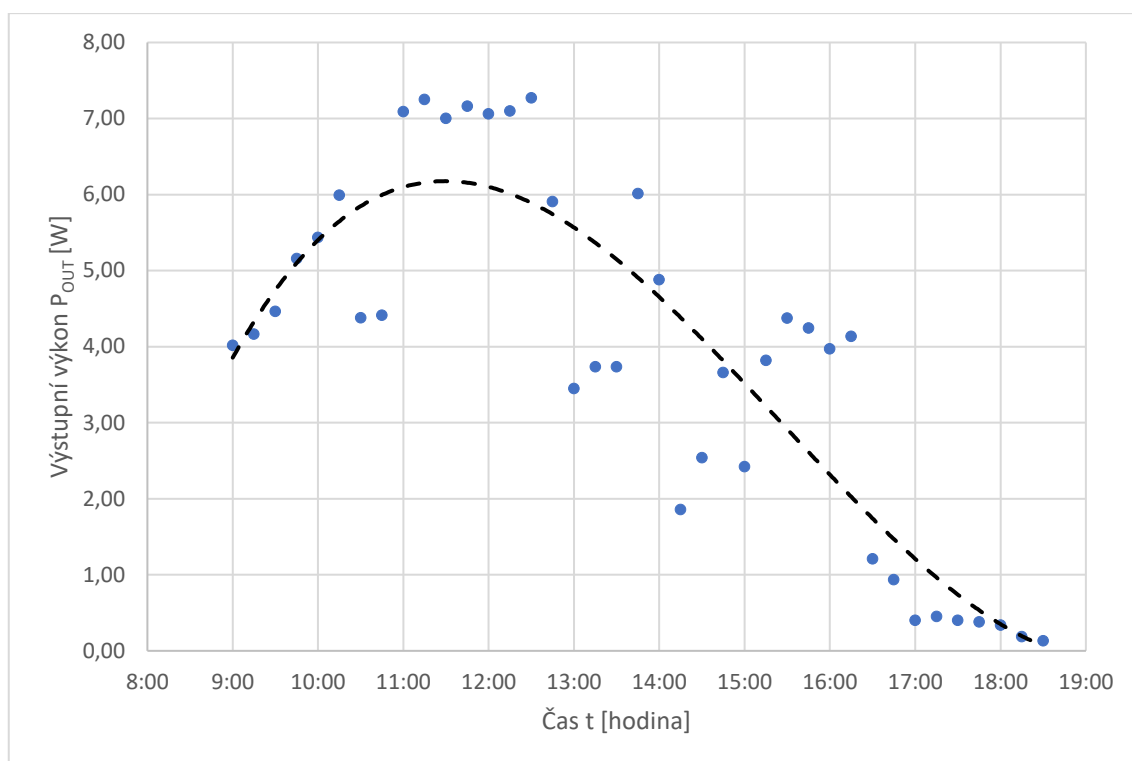


Obrázek 36 - Umístění solárního panelu

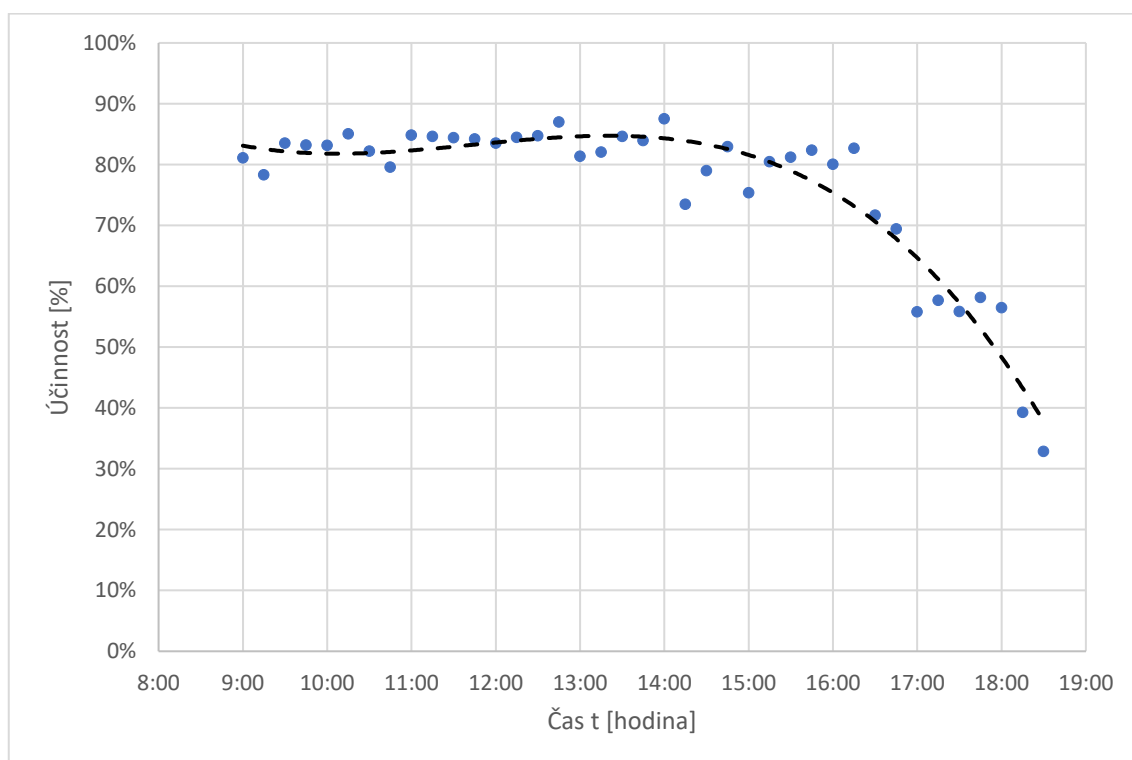
4.6.2.5 Výsledky měření



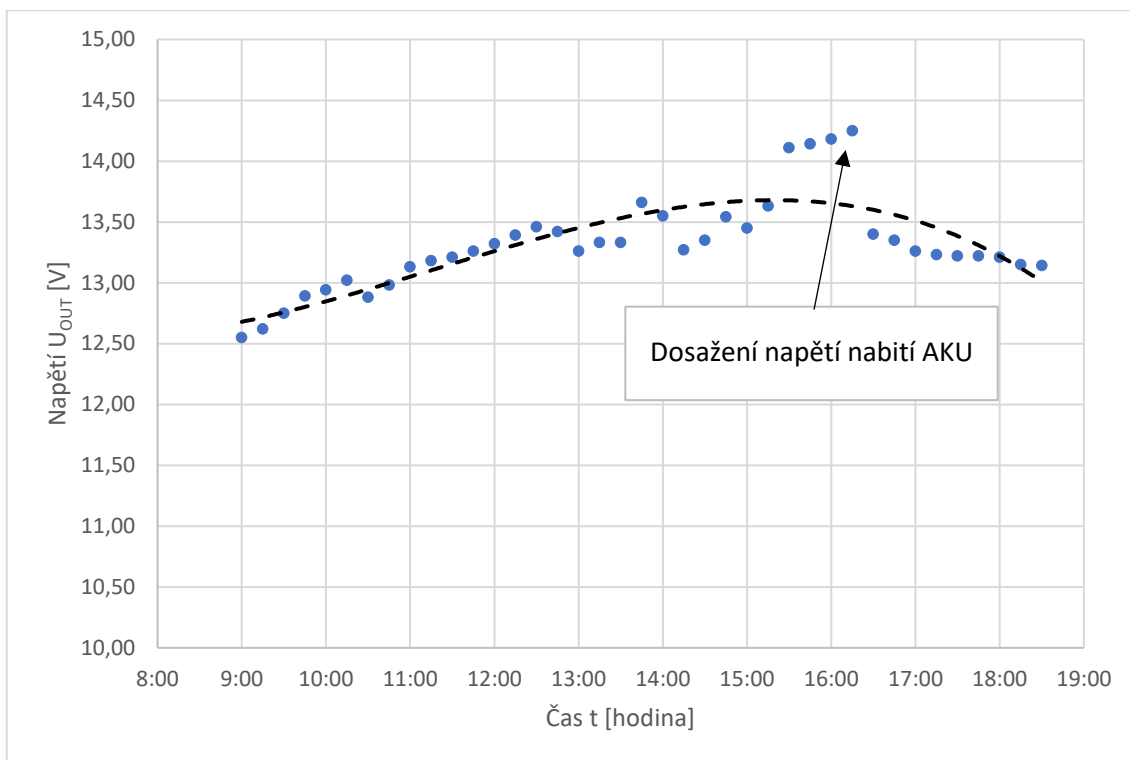
Graf 1 - Vývoj vstupního výkonu v čase proložený funkcí 3. řádu



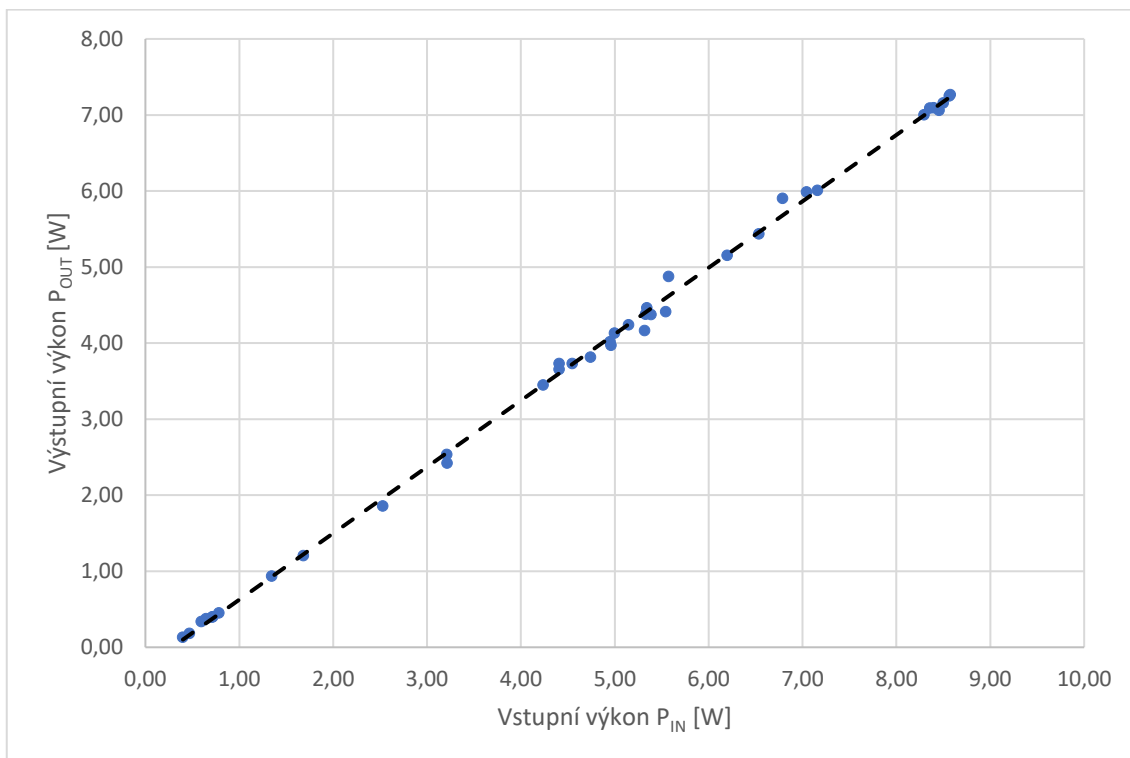
Graf 2 - Vývoj výstupního výkonu v čase proložený funkcí 3. řádu



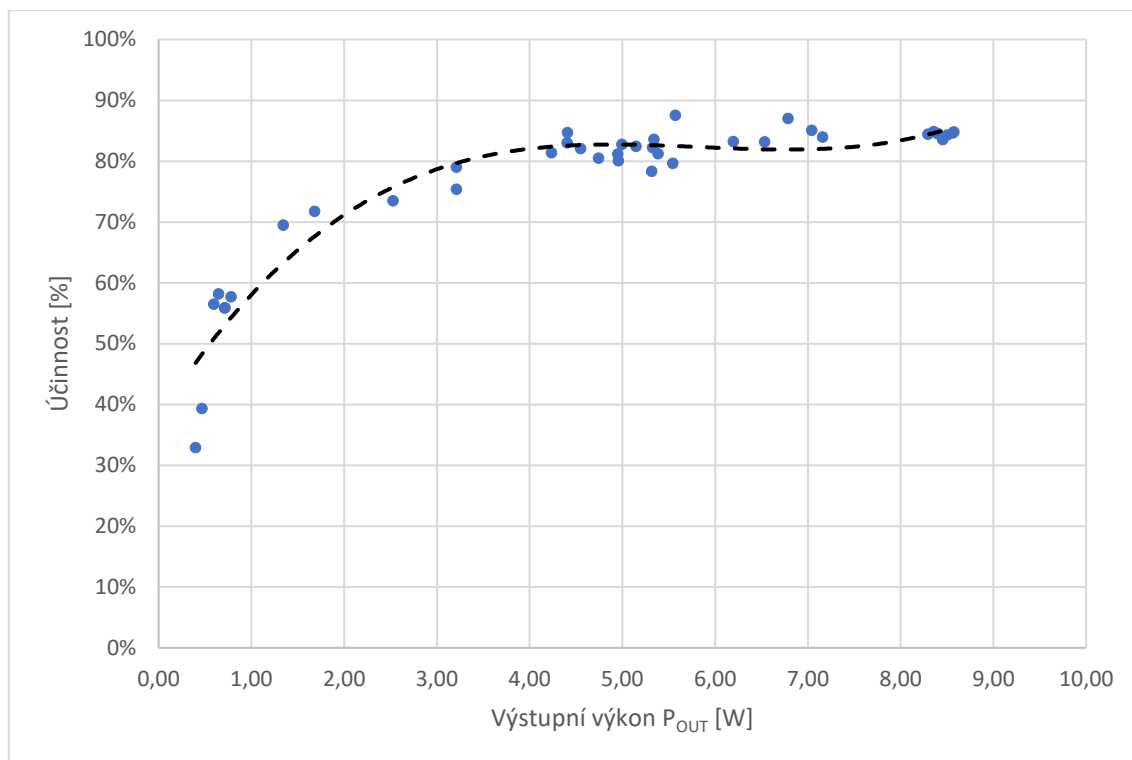
Graf 3 - Vývoj účinnosti v čase proložený funkcí 3. řádu



Graf 4 - Vývoj výstupního napětí v čase proložený funkcí 3. řádu



Graf 5 - Vývoj výstupního výkonu na vstupním proložený funkcí 1. řádu



Graf 6 - Vývoj účinnosti na vstupním výkonu proložený funkcí 3. řádu

Měření proběhlo dne 19.4.2019, kdy byl slunečný den. Napětí naprázdno na akumulátoru před započítáním měření bylo 12,12 V a po ukončení téměř 10hodinového měření 13,06 V. Pro měření byl použit polykrystalický solární panel s maximálním napětím 17,49 V a proudem 1,14 A, což je přibližně výkon 20 W, který udává výrobce. Solární panel byl připojen standardizovanými vodiči SOLARFLEX, které jsou určeny pro připojování solárních panelů.

Solární panel byl pro účely měření umístěn za oknem směrem na jih (naproti parkovišti budovy P Technické univerzity). Hodnoty se odečítali každých 15 minut od 9:00 do 18:30. Měření bylo ukončeno v 18:30 z důvodu zastínění panelu domem. Pro reálné použití doporučuji vhodně umístit na místo, kde slunce svítí po celý den. Změřená účinnost pro vstupní výkon $5 \div 9$ W se pohybovala v rozmezí $78 \div 88$ %. Odběr proudu samotné nabíječky ze solárního panelu při nabíjení je přibližně 10 mA.

Výsledkem je funkční solární nabíječka akumulátoru.

4.7 Montážní krabičky

Jelikož je znám výběr důležitých prvků (motor, čidla, displej, klávesnice, aj.), tak před samotným návrhem elektronické části je zapotřebí vybrat vhodné krabičky pro umístění komponentů. Předpokládané umístění celého systému je venkovní prostředí, kde může vlivem klimatických podmínek nastat situace od silného mrazu až po extrémní teploty při přímém slunečním svitu. Při výběru krabiček byl kladen důraz na kvalitní (robustní) provedení s vysokým stupněm krytí, nejlépe IP68. Pro zajištění bezproblémové funkce elektronické části bylo rozhodnuto pro oddělení motoru do speciální krabičky. Pro elektronickou část byla vybrána krabička od výrobce FIBOX, model PC M 95 G. Rozměry této krabičky (délka x šířka x hloubka) jsou 230 x 140 x 95 mm, krytí IP66.



Obrázek 37 - Krabice pro elektronickou část FIBOX PC M 95 G (zdroj: <https://www.kondik.cz/krabicka-PCM95G>)

Rozdělení do dvou krabiček bylo z důvodu průchodu hřídele motoru skrz krabičku, kde by nebylo možné zajistit dostatečný stupeň krytí. Zároveň bylo potřeba umístit motor poblíž dvířek, kde by nebylo vhodné mít umístěnou i elektronickou řídicí jednotku celého systému. Když do krabice s motorem vnikne tekutina, která v krajním případě způsobí zkrat, není to takový problém, protože u motoru je umístěna nadproudová pojistka, která motor odpojí. V případě jiných problémů může být motor snadno vyměněn.

Pro motor byla vybrána krabička, která se běžně využívá pro propojování elektroinstalačních kabelů. Jedná se o krabici od výrobce PAWBOL, model S-BOX 206. Rozměry této krabičky (délka x šířka x hloubka) jsou 120 x 80 x 50 mm, krytí IP65.



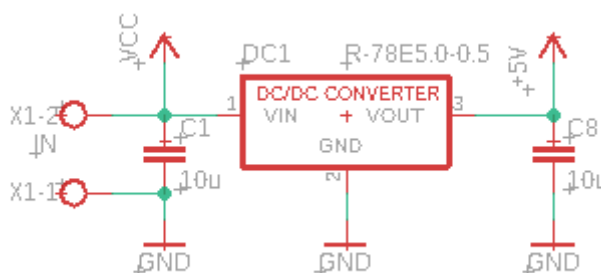
Obrázek 38 - Krabice pro motor PAWBOL S-BOX 206 (zdroj: <https://www.kondik.cz/krabicka-BOX206>)

4.8 Návrh schématu

Schéma zapojení pro základní desku není nijak komplikované, protože většina prvků je již umístěna na samotné vývojové desce Nucleo. V tomto případě se jedná tedy o realizaci potřebných propojení vývojové desky s komponenty. Pro návrh schéma byl použit software Eagle od Autodesk. Při návrhu byl kladen důraz na nízký odběr volených součástek. Kompletní schéma zapojení je uvedeno v příloze.

4.8.1 Napájení

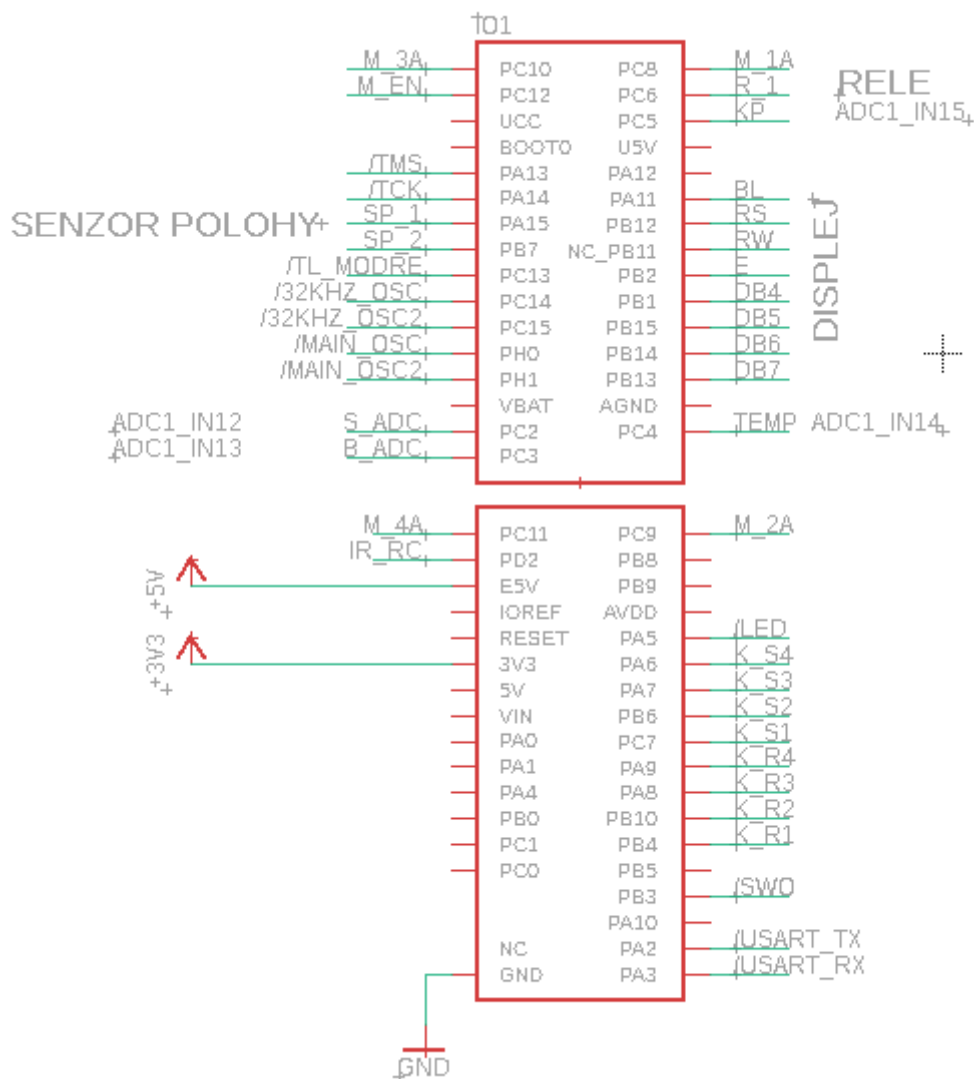
Pro stabilizaci napájení byl použit step down DC/DC měnič od výrobce RECOM, model R-78E5.0-0.5, výstupní napětí 5 VDC, maximální výstupní proud 500 mA, což je pro napájení Nuclea a displeje více než dostatečné. Výhodou tohoto měniče je vysoká účinnost 95 % a vůči konkurenčním měničům i nižší pořizovací cena.



Obrázek 39 - Schéma zapojení DC/DC měniče

4.8.2 Vývojová deska Nucleo

Pro účely návrhu bylo zapotřebí vytvořit knihovnu Nuclea. Jednotlivé GPIO (vstupy / výstupy pro všeobecné použití) jsou přiřazeny jednotlivým komponentům. Výstupy označené M_1A (PC8), M_2A (PC9), M_3A (PC10), M_4A (PC11), M_EN (PC12) jsou pro připojení H-můstku a následně motoru. Logické vstupy SP_1 (PA15) a SP_2 (PB7) jsou určeny koncovým čidlům. Výstup R_1 (PC6) je pro polovodičové relé pro případ spínání externího zařízení, například krmící jednotka. Výstupy K_S 1-4 jsou pro sloupce klávesnice a vstupy K_R 1-4 jsou pro řádky klávesnice.

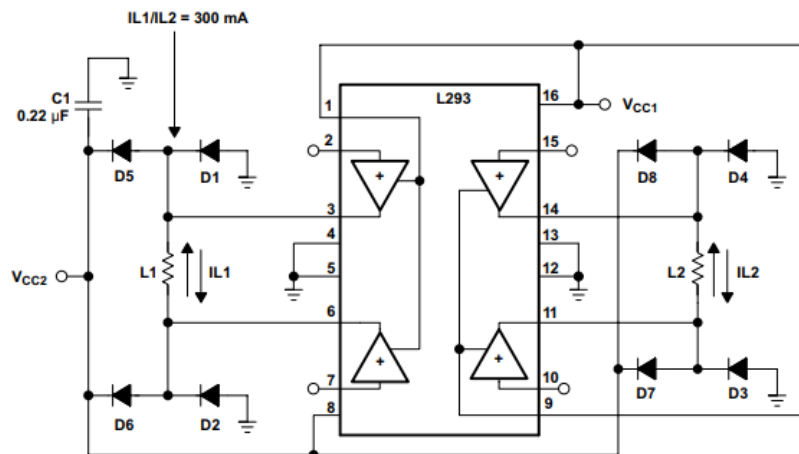


Obrázek 40 - Schéma zapojení – GPIO na Nucleu

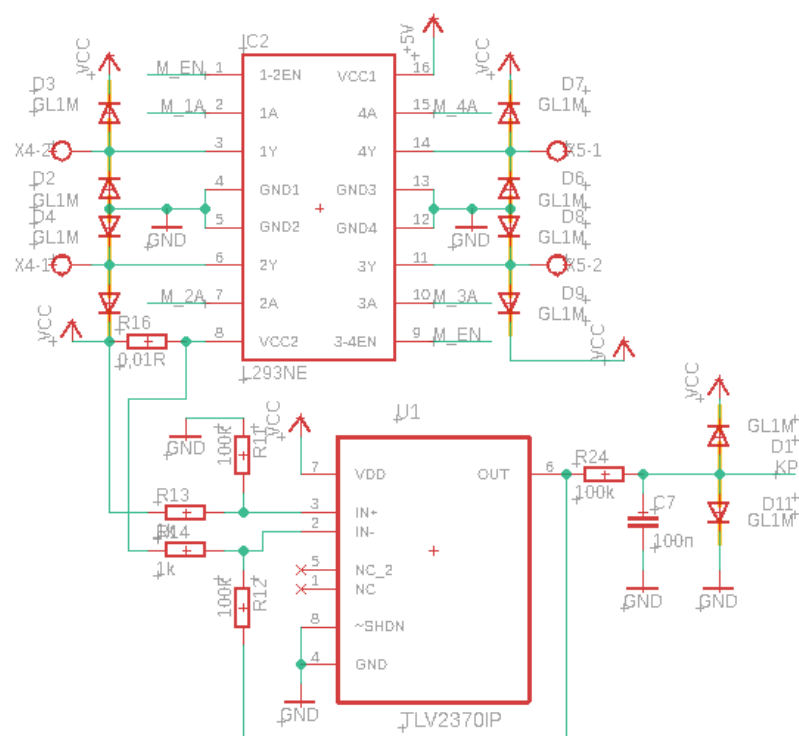
GPIO pro displej jsou vyznačena na schématu. Je zde i příprava pro 4 analogové vstupy. Vstup S_ADC je pro měření napětí na solárním panelu. Vstup B_ADC je pro měření napětí na akumulátoru. Na vstup TEMP je připojen snímač teploty MCP9700AT. Na vstup KP je přiveden výstup z operačního zesilovače, který měří proud protékající motorem, tzv. proudová pojistka.

4.8.3 Zapojení H-můstku

Pro ovládání motoru byl zvolen H-můstek L293NE od výrobce Texas Instruments. Tento H-můstek může ovládat 2 motory s obousměrným otáčením. Maximální výstupní proud může být 1000 mA, což je pro danou aplikaci dostačující.



Obrázek 41 - Doporučené zapojení pro řízení motoru (zdroj: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>)



Obrázek 42 - Zapojení H-můstku a operačního zesilovače pro měření proudu

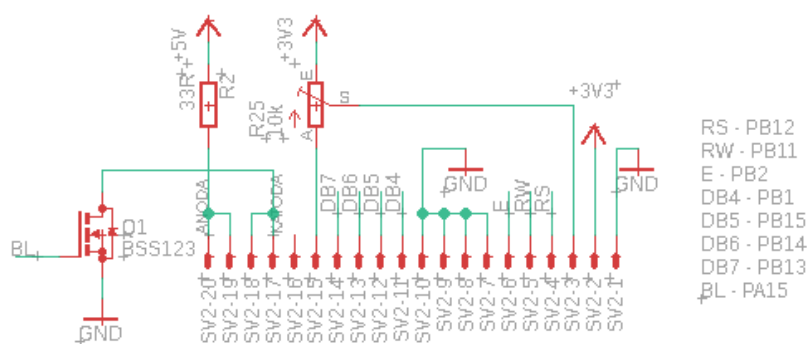
H-můstek je zapojený tak jak výrobce doporučuje ve svém datasheetu. Pro měření proudu motorem byl přidán mezi napájení VCC (12 VDC) rezistor s odporem 0,01 Ω. Vlivem protékajícího proudu vzniká na odporu úbytek napětí, které je přivedeno do operačního zesilovače TLV2370IP, který je zapojen jako rozdílový (diferenciální) OZ. Výstupem je tedy rozdílové napětí závislé na proud protékající motorem.

Operační zesilovač TLV2370IP byl vybrán pro svoji vlastnost Rail-to-Rail na vstupu i na výstupu. Bez této vlastnosti by zapojení pro měření proudu nebylo funkční anebo by nefungovalo správně. Na výstupu OZ je umístěn RC člen pro tlumení napěťových špiček a ochranné diody GL1M.

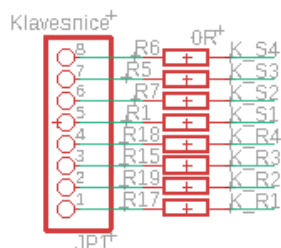
H-můstek L293NE i operační zesilovač TLV2370IP byly vybrány v provedení s drátovými vývody (THT) aby mohli být osazeny do patic a v případě poruchy nebo poškození snadno vyměněny.

4.8.4 Připojení displeje a klávesnice

Alfanumerický LCD displej RC1604A-BIW-ESV byl zapojen dle doporučeného zapojení v datasheetu. Trimer R25 ovládá kontrast. Tranzistorem BSS123 je pak ovládáno podsvícení displeje. Displej je napájen napětím 3,3 V z vývojové desky Nucleo. Displej je připojen 20žilovým vodičem s konektorem IDC.



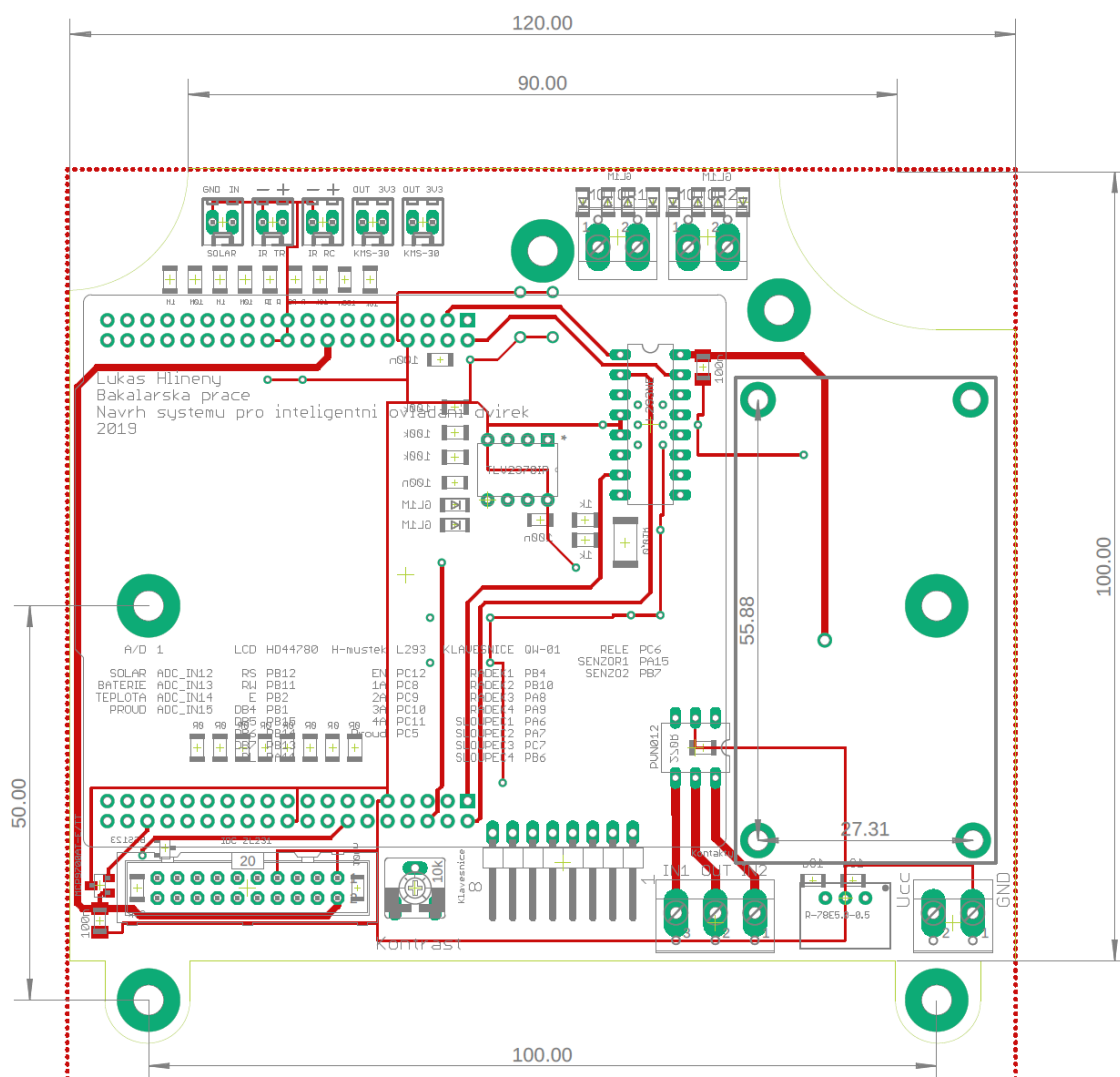
Obrázek 43 - Schéma zapojení displeje



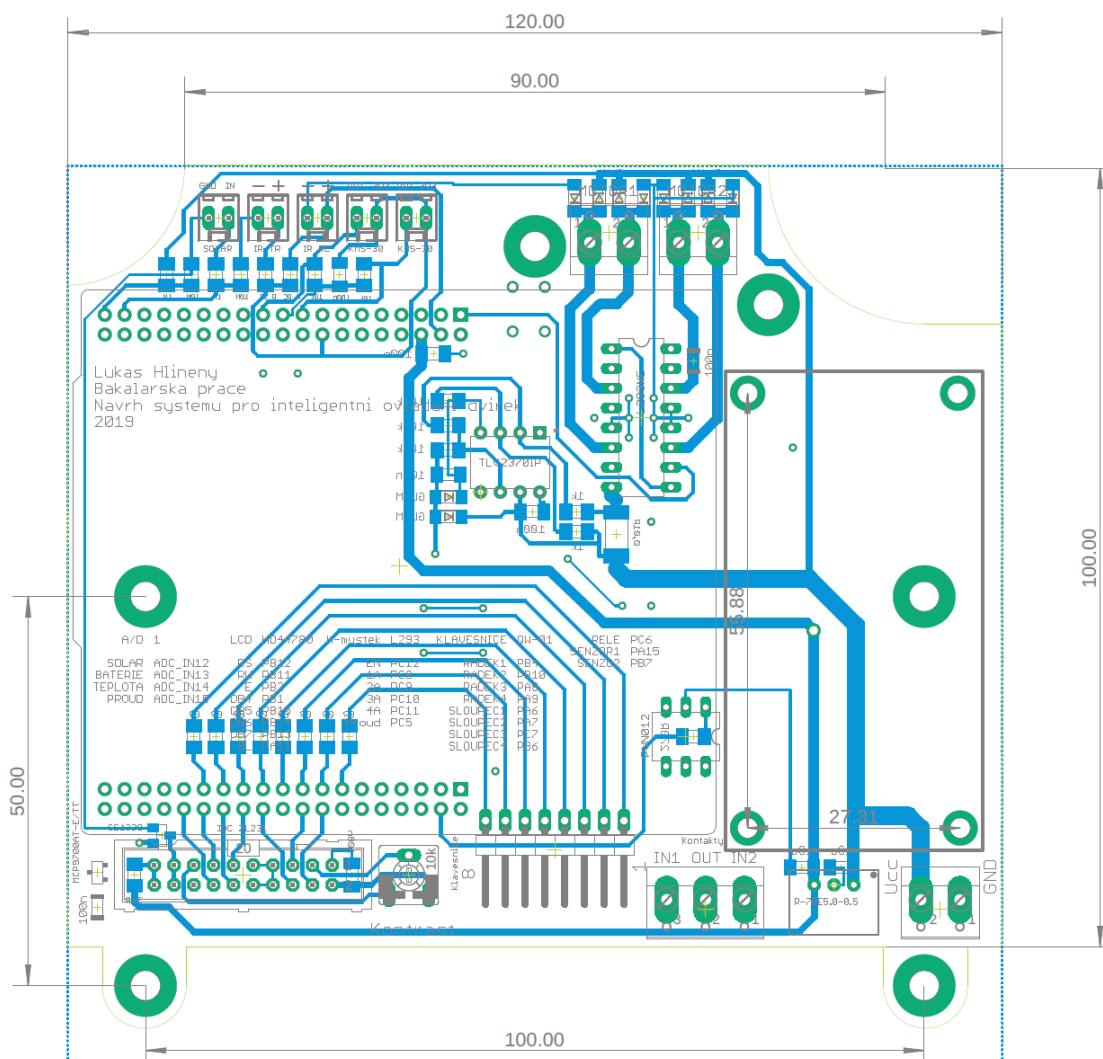
Obrázek 44 - Připojení klávesnice

4.9 Návrh plošného spoje

Jak již bylo napsáno v kapitole 4.7 (Montážní krabičky), plošný spoj by měl být navržen dle dostupné krabičky. V programu Eagle byla tedy nejprve rozvržena samotná deska plošného spoje podle potřeb rozmístění komponentů v krabičce, podle rozměrů a umístění montážních otvorů v krabičce. Pro potřeby návrhů bylo vytvořeno několik testovacích čtvrtek, aby byla zajištěna kompatibilita výsledné DPS s krabičkou.

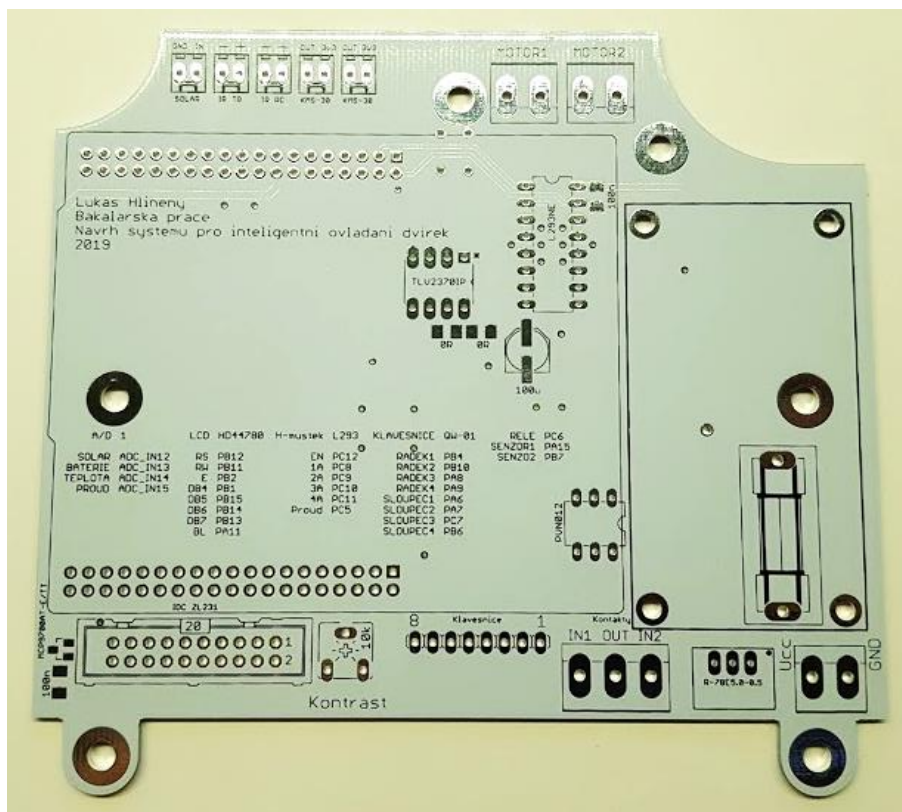


Obrázek 45 - Návrh DPS (vrchní část - TOP)

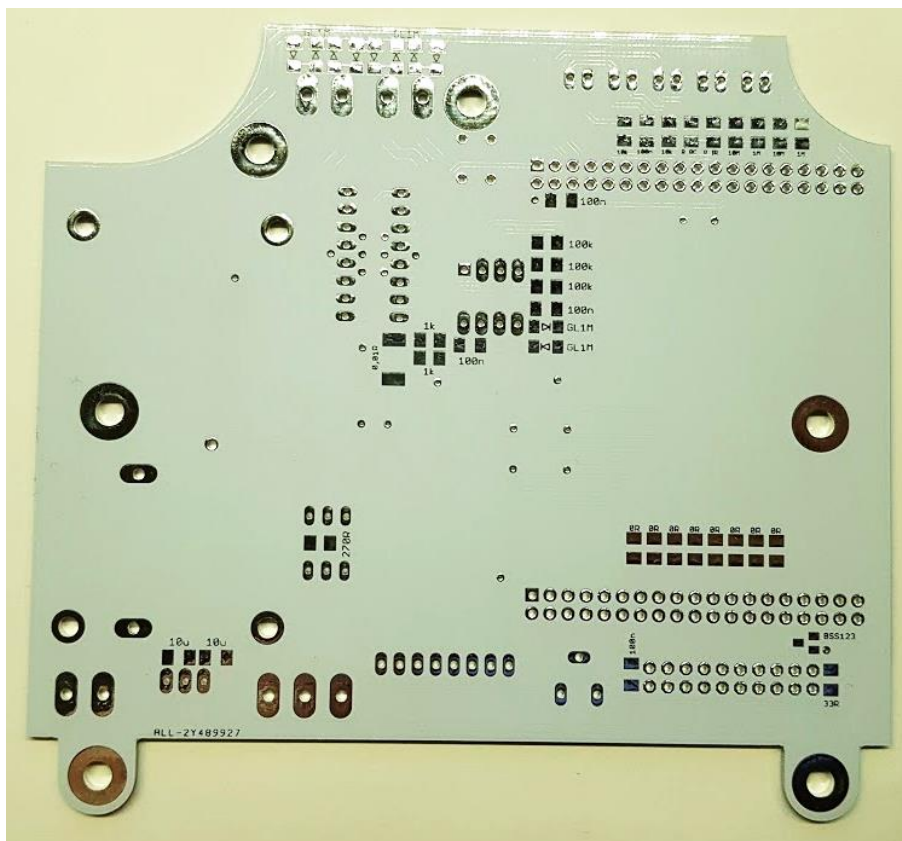


Obrázek 46 - Návrh DPS (spodní část - BOTTOM)

Před předáním návrhů do výroby byla aplikována rozlitá měď s funkcí GND na vrchní i spodní část plošného spoje. Následně byla vygenerována tzv. gerber data, podle kterých výrobce v Číně (konkrétně ALLPCB.com) vyrobil požadovanou DPS. Vyrobené DPS přivezl přepravce DHL za 5 dní od objednání. Cena objednaných DPS (5 kusů) byla 980,- Kč.



Obrázek 47 - Výsledná DPS (vrchní strana)



Obrázek 48 - Výsledná DPS (spodní strana)

4.10 Model posuvných dvířek

Jelikož nebyl k dispozici žádný domov pro drůbež (tzv. kurník) na který by bylo možné posuvná dvířka realizovat, bylo nutné vyrobit z dostupných materiálů (převážně dřevo) model stěny s otvorem o šířce 200 mm a výšce 300 mm.

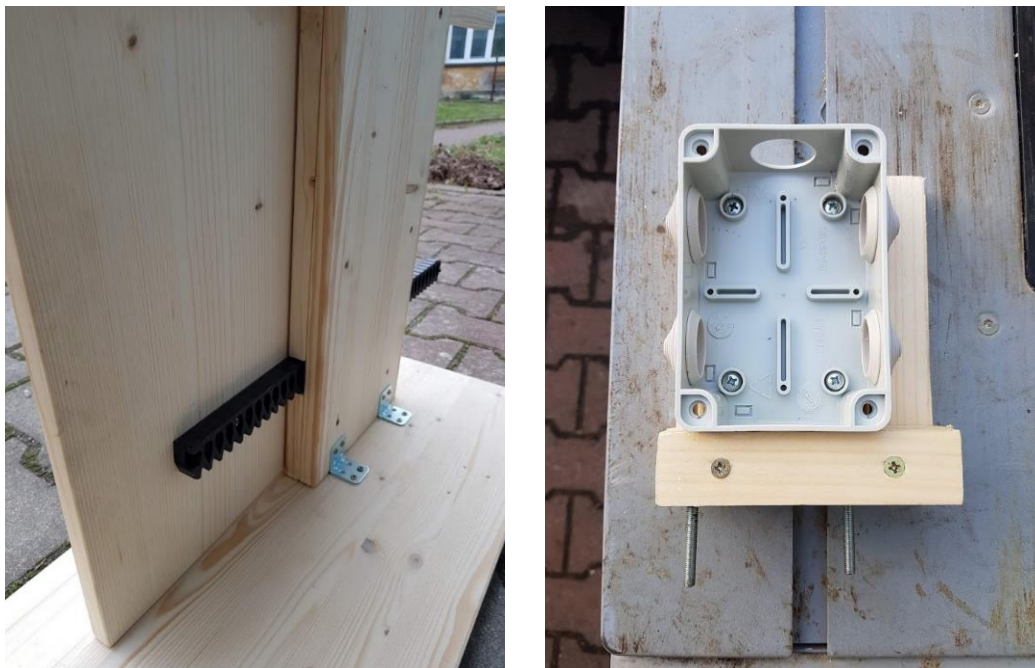


Obrázek 49 - Výroba modelu, stěna s otvorem



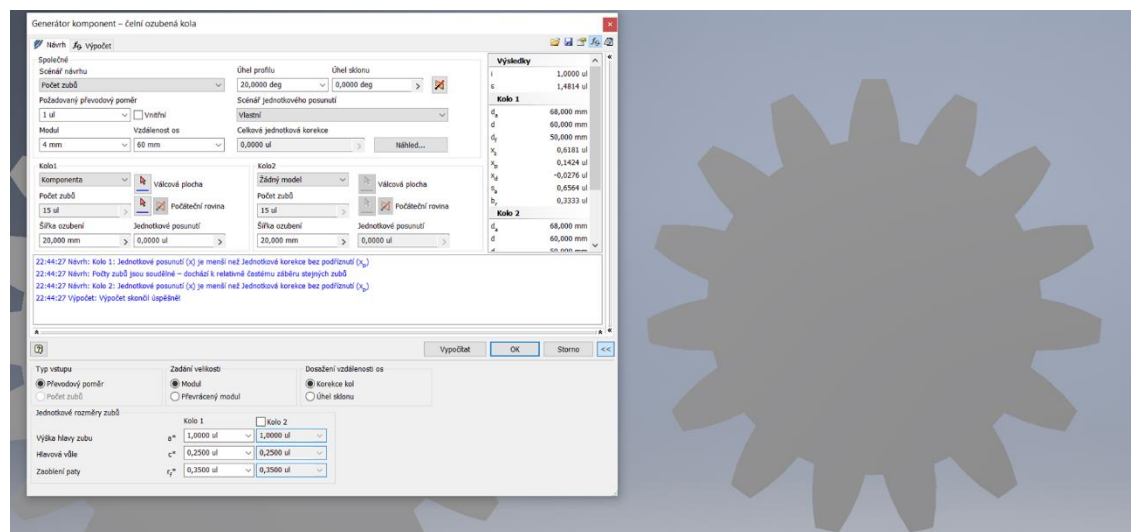
Obrázek 50 - Výroba modelu, upevnění pojízdné lišty a dvířek

Model využívá jednoduché konstrukce posuvných dvířek, kdy je umístěna závěsná kovová lišta, po které jezdí kolečka, na kterých jsou zavěšena dvířka. Na dvířkách je umístěna ozubená lišta (tzv. ozubnice nebo také hřeben). Použitá ozubnice se běžně prodává pro posuvné brány. Sice je pro daný účel velice naddimenzovaná, ovšem v danou chvíli nebylo nic lepšího a cenově dostupnějšího k dispozici.

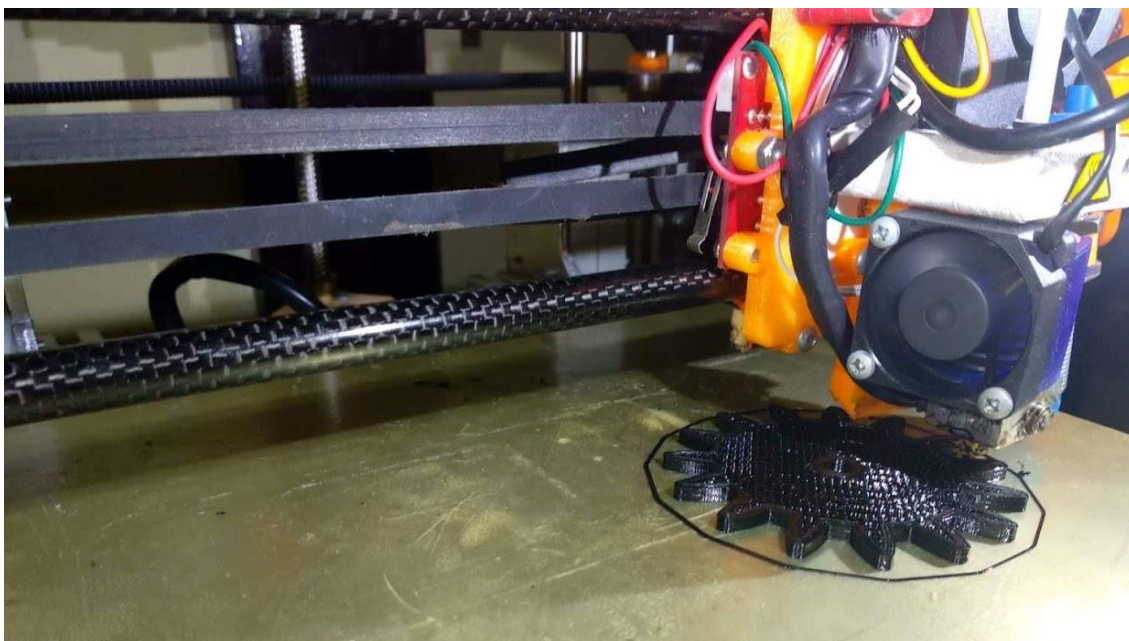


Obrázky 51 - Výroba modelu, umístění ozubnice na dvířka, krabice pro motor

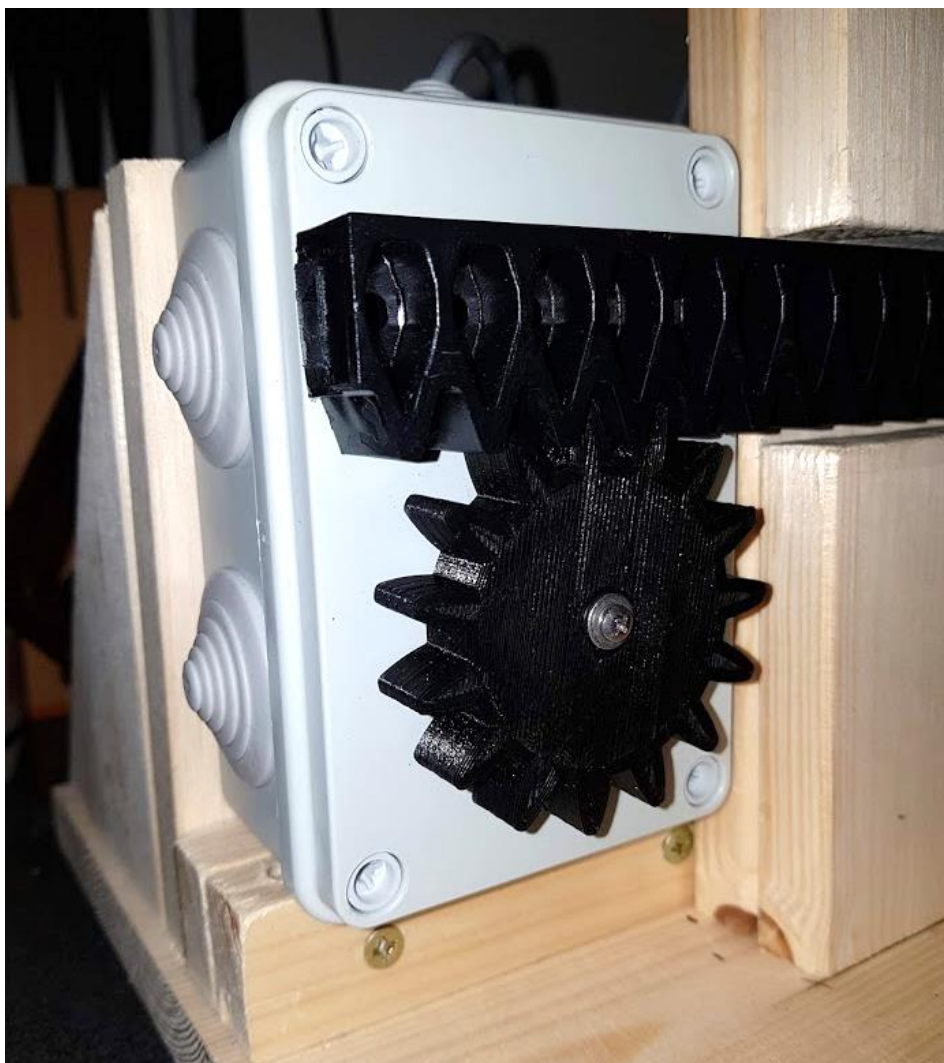
Po osazení motoru do modelu vznikla potřeba výroby ozubeného kolečka. Standardní řešení posuvných bran dodává ozubené kolečko s motorem. Žádné komerčně prodávané kolečko, které by odpovídalo požadavkům nebylo k dispozici. S rostoucí oblíbeností 3D tisku bylo navrženo potřebné ozubené kolečko pro danou hřídel motoru a velikostí zubů pro koupěnou ozubnici. S pomocí kolegů z FM a programu Autodesk Inventor 2019, kde je funkce generátor ozubených kol, bylo navrženo potřebné kolečko.



Obrázek 52 - Generování ozubeného kolečka v Autodesk Inventor 2019



Obrázek 53 - Tisk ozubeného kolečka



Obrázek 54 - Výroba modelu, osazení motoru s ozubeným kolečkem

Následně přišla na řadu montáž koncových čidel a testování celého mechanismu.



Obrázky 55 - Instalace koncových čidel



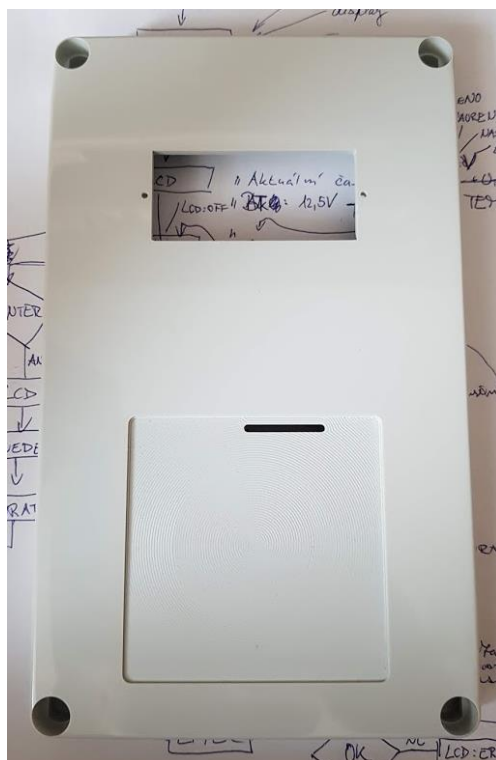
Obrázek 56 - Výroba modelu, zalištování kabeláže od koncových čidel



Obrázek 57 - Hotový model posuvných dveří

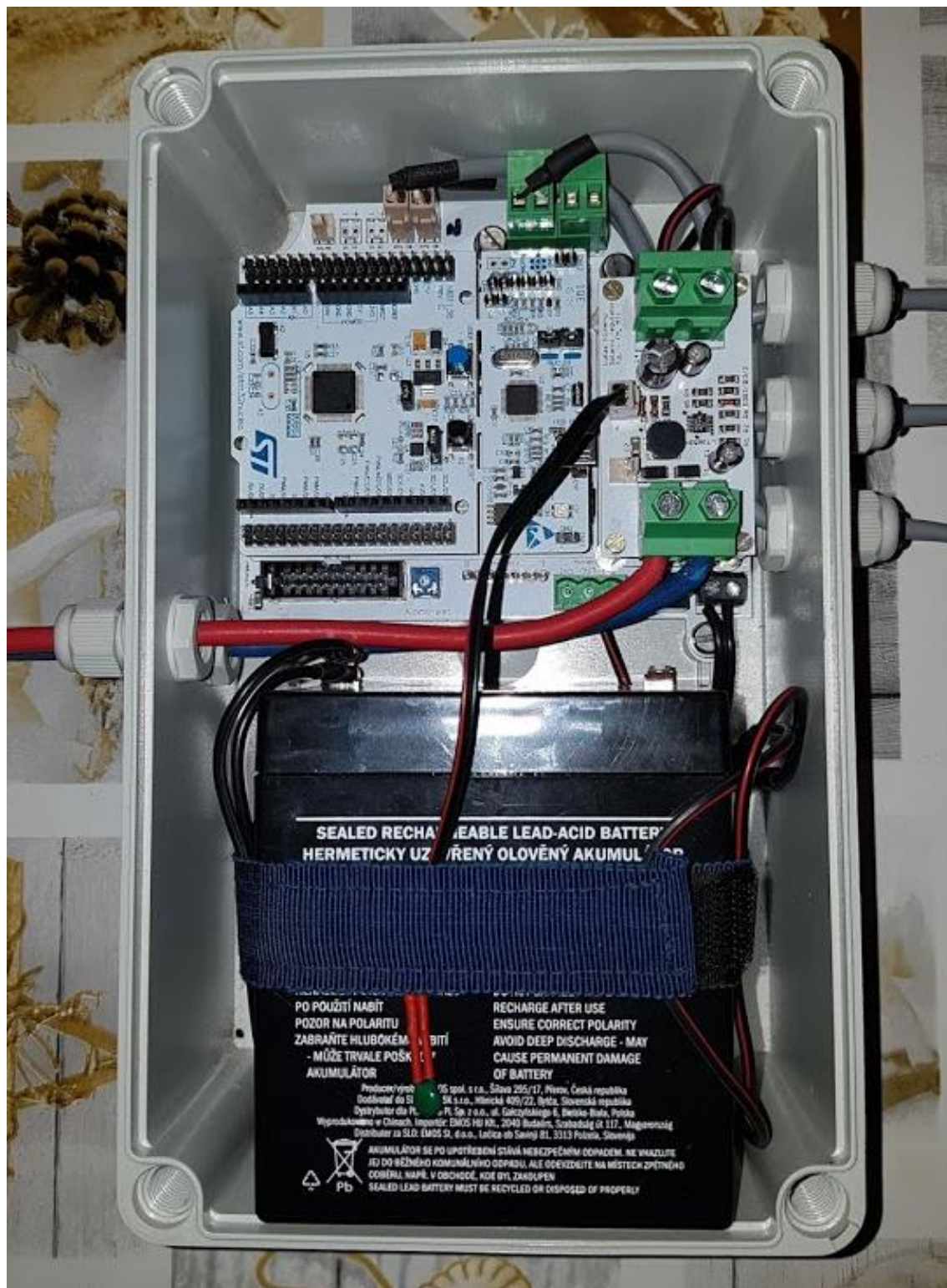
4.11 Sestavení řídicí jednotky

Všechny navržené a vyrobené plošné spoje (hlavní propojovací DPS a solární nabíječka) byly osazeny součástkami a oživeny. Před umístěním hotových plošných spojů prošla hlavní krabice několika úpravami. Za pomoci kolegy z firmy Jablotron bylo víko krabičky upraveno pro montáž displeje a klávesnice.



Obrázek 58 - Upravené víko krabičky

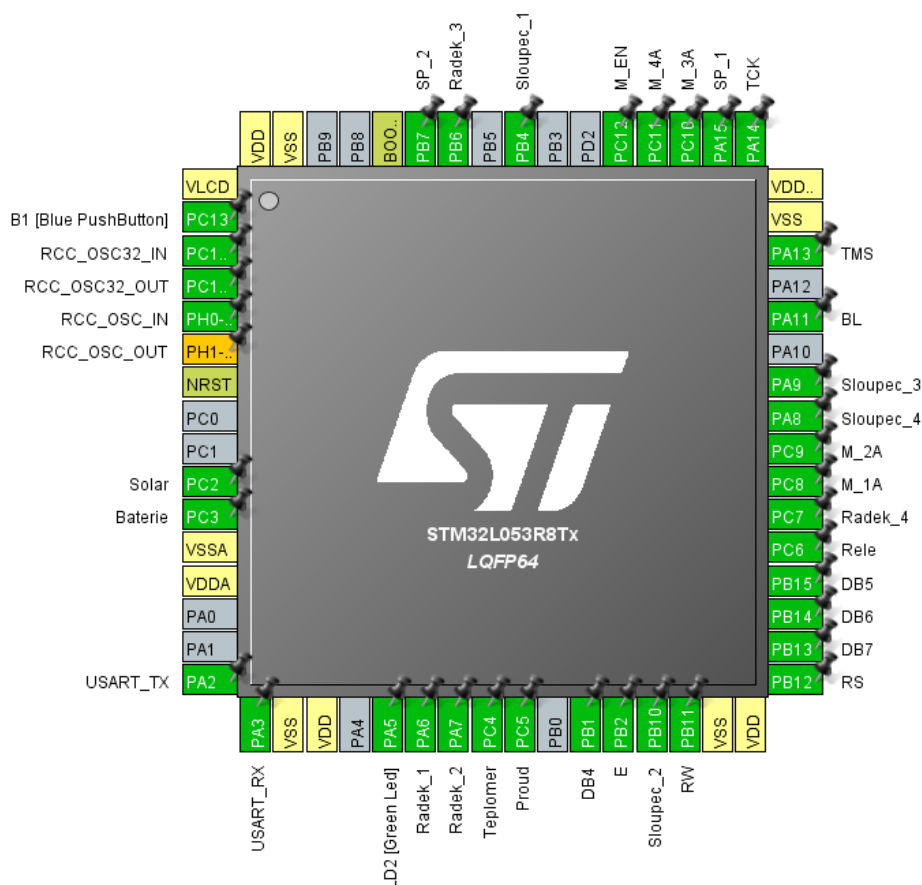
Do víka byl vlepen rámeček a klávesnice. Otvor pro kabel klávesnice byl z vnitřní strany zaizolován horkým lepidlem. Zároveň horkým lepidlem byly upevněny plastové distanční sloupky pro displej. Následně s využitím distančních sloupků byly do krabičky upevněny plošné spoje. Celková cena funkčního vzorku činí 10.125,00 Kč, viz kalkulace v příloze.



Obrázek 59 - Kompletní krabička

4.12 Naprogramování

Aby mohl být celý systém důkladně otestován, bylo zapotřebí napsat alespoň základní program. Takový program by měl umět dvířky prostřednictvím motoru pohybovat. V neposlední řadě by měl umožnit základní nastavení systému v podobě nastavení systémového času nebo nastavení času otevření a zavření dvířek. V programu STM32CubeMX byly nastaveny základní parametry procesoru, zejména pak GPIO (vstupy a výstupy pro všeobecné použití). Tento program je firmy STMicroelectronics, která jej nabízí v základní verzi volně ke stažení.



Obrázek 60 - Nastavení mikrokontroleru v STM32CubeMX

Pro takto nastavený mikrokontroler pak program STM32CubeMX vygeneroval potřebné soubory pro další programování v programu Atollic TrueSTUDIO, který je též nabízen firmou STMicroelectronics. Mikrokontroler byl naprogramován v jazyce C. Programování ARM mikrokontrolerů je poměrně náročné, proto bylo využíváno různých návodů na stránkách komunity programátorů ST (<https://community.st.com>).

Pro naprogramování mikrokontroleru bylo využíváno knihovny HAL, která je pro tyto mikrokontrolery prakticky jako jediná použitelná. Výsledný program odpovídá následujícímu vývojovému diagramu. Kompletní program je k dispozici na příloženém vyměnitelném médiu (CD).

Závěr

Zadané úkoly byly splněny. Výsledný funkční vzorek splňuje základní nároky, jaké může chovatel drůbeže mít: snadné základní nastavení, energetická soběstačnost, možnost dalšího rozšíření. Obdobný výrobek s posuvnými dvířky pro účely chovu drůbeže nemá v komerčním prostředí obdoby, nebo nebyl nalezen. Systém je připraven na připojení externího krmicího zařízení.

Použitá vývojová deska Nucleo má celkový odběr proudu v režimu spánku v rozmezí $28 \div 35$ mA, což v případě provozu čistě jen na baterii je příliš vysoká hodnota. Jedním z důvodů tohoto odběru jsou dvě umístěné LED diody, které není možné programově vypnout a jejich odstranění způsobí nefunkčnost celé vývojové desky Nucleo. Přitom samotná navržená základní deska s H-můstkem, operačním zesilovačem a stabilizátorem má odběr pouze 1,2 mA, což je přípustná hodnota. Odběr proudu v aktivním režimu je v rozmezí $58 \div 65$ mA, v tomto režimu je mikrokontroler pouze v době otevírání nebo zavírání dvířek, anebo v případě nastavování hodnot. V době samotného otevírání nebo zavírání dvířek je celková spotřeba proudu zhruba 150 mA.

Pokud by akumulátor nebyl nabíjen navrženou solární nabíječkou, vydrží systém z plného nabití fungovat maximálně 5 dní. Z výsledků měření solární nabíječky je zřejmé, že nabíječka i při spotřebě systému cca 30 mA dokáže udržet systém v nepřetržitém chodu bez další potřeby nabíjení externí nabíječkou. Předpokladem pro funkční nabíjení je vhodné umístění solárního panelu.

Jasnou perspektivou je mimo jiné snížení celkové spotřeby systému, kterého lze dosáhnout návrhem vlastního plošného spoje s mikrokontrolerem ARM, bez využití jakékoli vývojové desky. Tímto opatřením by měla spotřeba proudu systému klesnout řádově na jednotky mA. Dalším úkolem do budoucna je zdokonalení programu a využití A/D převodníku, aby mohla fungovat proudová ochrana, měření teploty a napětí na akumulátoru nebo solárním panelu. Pro tyto zmíněné funkce je již nyní hardware připraven.

V navazující diplomové práci by měly být vyřešeny zmíněné problémy, zároveň by systém měl být rozšířen o komunikaci s mobilním telefonem. Pro toto rozšíření je již nyní hardware připraven. Zajímavým rozšířením systému by byla identifikace drůbeže a v případě slepic i identifikace sneseného vejce s využitím RFID čipů na drůbeži.

Použitá literatura

1. **Diedrich, Kurt.** *Elektronika tajemství zbavená: objevovat, experimentovat porozumět.* 1. české vyd. Ostrava : HEL, 2004.
2. **Malina, Václav.** *Poznáváme elektroniku.* 1. vyd. České Budějovice : Kopp, 2000.
3. **Láníček, Robert.** *Elektronika: obvody, součástky, děje.* 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 1998.
4. **Rich Miron, Digi-Key Electronics.** Jak vybrat Low-Power mikrokontrolér pro IoT. vyvoj.hw.cz. [Online] 13. Březen 2018. <https://vyvoj.hw.cz/jak-vybrat-low-power-mikrokontroler-pro-iot.html>.
5. **STM32L053R8.** www.st.com. [Online] 2017. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l053r8.pdf>.
6. **NUCLEO-L053R8.** www.st.com. [Online] 2019. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/98/2e/fa/4b/e0/82/43/b7/DM00105823.pdf/files/DM00105823.pdf/jcr:content/translations/en.DM00105823.pdf.
7. **Maixner, Ladislav.** *Mechatronika.* Brno : Computer Press, 2006.
8. **Roubíček, Ota.** *Elektrické motory a pohony - příručka techniky, volby a užití vybraných druhů.* Praha : BEN – technická literatura, 2004.
9. **AUTODILY PEMA, s.r.o.** Technologie AGM, GEL, EFB. www.autobaterie-pema.cz. [Online] [Citace: 23. Duben 2019.] <https://www.autobaterie-pema.cz/cs/technologie-agm-gel-efb.html#.XL46IegZzhE>.
10. **Kočí, Michal.** Obnovitelné zdroje malého výkonu aneb jak rozsvítit LEDku zadarmo. *KONDIK.cz*. [Online] 1. Srpen 2018. <https://www.kondik.cz/obnovitelne-zdroje-maleho-vykonu>.
11. **Váňa, Vladimír.** *ARM pro začátečníky.* Praha : BEN - technická literatura, 2009. 978-80-7300-246-6.
12. **Texas Instruments Incorporated .** L293x Quadruple Half-H Drivers. <http://www.ti.com>. [Online] 2016. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>.

Přílohy

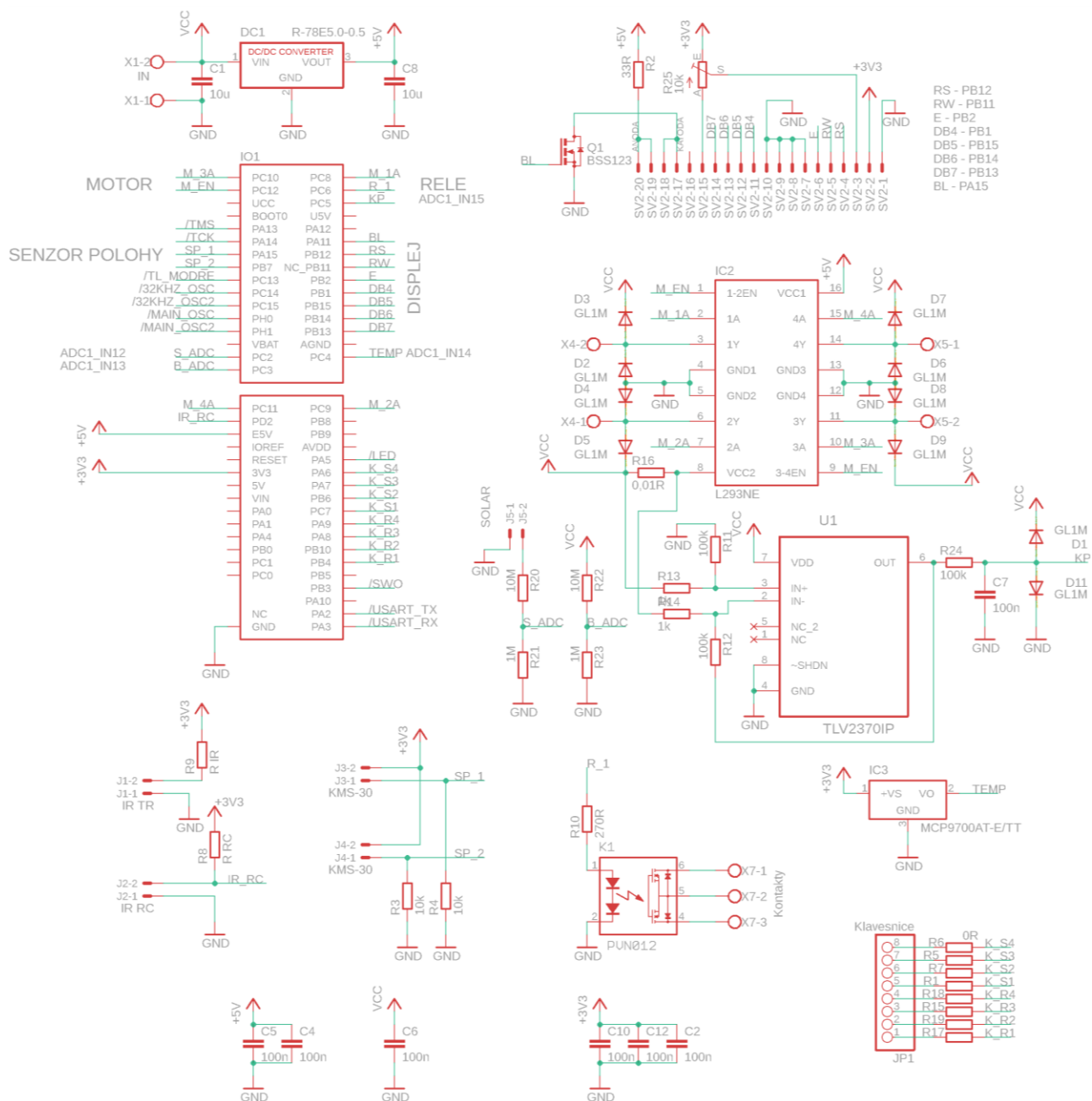
I. Tabulka naměřených hodnot

Čas	U _{IN}	I _{IN}	P _{IN}	U _{BAT}	I _{OUT}	P _{OUT}	η
9:00:00	16,50	0,300	4,95	12,55	0,320	4,02	81 %
9:15:00	16,62	0,320	5,32	12,62	0,330	4,16	78 %
9:30:00	16,69	0,320	5,34	12,75	0,350	4,46	84 %
9:45:00	16,75	0,370	6,20	12,89	0,400	5,16	83 %
10:00:00	16,76	0,390	6,54	12,94	0,420	5,43	83 %
10:15:00	16,77	0,420	7,04	13,02	0,460	5,99	85 %
10:30:00	16,65	0,320	5,33	12,88	0,340	4,38	82 %
10:45:00	16,80	0,330	5,54	12,98	0,340	4,41	80 %
11:00:00	19,90	0,420	8,36	13,13	0,540	7,09	85 %
11:15:00	19,92	0,430	8,57	13,18	0,550	7,25	85 %
11:30:00	19,75	0,420	8,30	13,21	0,530	7,00	84 %
11:45:00	19,77	0,430	8,50	13,26	0,540	7,16	84 %
12:00:00	19,66	0,430	8,45	13,32	0,530	7,06	84 %
12:15:00	19,53	0,430	8,40	13,39	0,530	7,10	85 %
12:30:00	19,49	0,440	8,58	13,46	0,540	7,27	85 %
12:45:00	16,97	0,400	6,79	13,42	0,440	5,90	87 %
13:00:00	16,95	0,250	4,24	13,26	0,260	3,45	81 %
13:15:00	16,85	0,270	4,55	13,33	0,280	3,73	82 %
13:30:00	16,96	0,260	4,41	13,33	0,280	3,73	85 %
13:45:00	17,05	0,420	7,16	13,66	0,440	6,01	84 %
14:00:00	16,89	0,330	5,57	13,55	0,360	4,88	88 %
14:15:00	16,86	0,150	2,53	13,27	0,140	1,86	73 %
14:30:00	16,90	0,190	3,21	13,35	0,190	2,54	79 %
14:45:00	16,95	0,260	4,41	13,54	0,270	3,66	83 %
15:00:00	16,91	0,190	3,21	13,45	0,180	2,42	75 %
15:15:00	16,94	0,280	4,74	13,63	0,280	3,82	80 %
15:30:00	19,95	0,270	5,39	14,11	0,310	4,37	81 %
15:45:00	19,80	0,260	5,15	14,14	0,300	4,24	82 %
16:00:00	19,84	0,250	4,96	14,18	0,280	3,97	80 %
16:15:00	19,99	0,250	5,00	14,25	0,290	4,13	83 %
16:30:00	16,82	0,100	1,68	13,40	0,090	1,21	72 %
16:45:00	16,82	0,080	1,35	13,35	0,070	0,93	69 %
17:00:00	17,82	0,040	0,71	13,26	0,030	0,40	56 %
17:15:00	16,89	0,046	0,78	13,23	0,034	0,45	58 %
17:30:00	16,87	0,043	0,72	13,22	0,030	0,40	56 %
17:45:00	16,87	0,038	0,65	13,22	0,029	0,38	58 %
18:00:00	16,85	0,035	0,60	13,21	0,026	0,34	56 %
18:15:00	16,80	0,028	0,47	13,15	0,014	0,18	39 %
18:30:00	16,79	0,024	0,40	13,14	0,010	0,13	33 %
Průměr	14,37	0,213	3,83	10,82	0,24	3,15	62 %

Tabulka 5 - Hodnoty z měření solární nabíječky



II. Kompletní schéma zapojení



Obrázek 62 - Kompletní schéma zapojení

III. Kalkulace – Solární nabíječka

Označení	Součástka	Pouzdro	Cena
C1, C3	CE 10 uF / 63 V KMG	THT, RM 2,5mm	4,00 Kč
C2	CK 1 uF / 50 V	SMD 1206	3,00 Kč
C4	CE 100 uF / 50 V KMG	THT, RM 3,5mm	3,90 Kč
D1, D2	Dioda SK36SMA	DO214AC	5,00 Kč
D3, D4	Dioda BAS81	MiniMELF	3,00 Kč
D5	Zen. Dioda 6V2	SOD80C	1,00 Kč
L1	DJNR8040 22uH		7,80 Kč
IC	LT3652HV	SOP65P490X110-13N	229,00 Kč
NTC, Solar	NS25 2pin vidlice do DPS	THT, RM 2,54mm	2,00 Kč
IN, OUT	DG638-9.52-02P-14-00AH	THT, RM 9,52mm	28,00 Kč
R1	Rezistor 510 kΩ	SMD 1206	0,50 Kč
R2, R4	Rezistor 100 kΩ	SMD 1206	1,00 Kč
R3/1	Rezistor 300 kΩ	SMD 1206	0,50 Kč
R3/2	Rezistor 15 kΩ	SMD 1206	0,50 Kč
R5	Rezistor 180 kΩ	SMD 1206	0,50 Kč
R6	Rezistor 1 MΩ	SMD 1206	0,50 Kč
R7	Rezistor 0,1 Ω	SMD 1206	0,50 Kč
NTC	Termistor NTC 10 kΩ	THT	5,00 Kč
FV	Solární panel MWG 20W		789,00 Kč
Kabel	SOLARFLEX 4mm ²	3 + 3 m	174,00 Kč
MC4	Konektory pro FV		158,00 Kč
	Výroba DPS (10 kusů)	+ doprava DHL	580,00 Kč
		CELKOVÁ CENA:	1.996,70 Kč

Tabulka 6 - Solární nabíječka, komponenty byly nakoupeny na e-shopu: www.kondik.cz

IV. Kalkulace – Dřevěný model

Položka	Množství	Cena
Smrkové prkno 18x200mm (1 m)	3 ks	147,00 Kč
Smrkové prkno 18x300mm (1 m)	1 ks	97,00 Kč
Smrkové prkno 18x400mm (1 m)	1 ks	119,00 Kč
Plochá smrková lišta 19x29mm (2 m)	1 ks	110,00 Kč
Plocháč AL 20x5x1000 mm	1 ks	72,00 Kč
Plech spojovací 20x300 mm	2 ks	16,00 Kč
Kladka litá 40 mm	2 ks	88,00 Kč
	CELKOVÁ CENA:	649,00 Kč

Tabulka 7 - Výroba modelu, dřevo bylo nakoupeno v BAUHAUS a kovové komponenty v Železářství Letná



V. Kalkulace – Základní deska + krabička

Označení	Součástka	Pouzdro	Cena
C1, C8	CK 10 uF	SMD 1206	6,00 Kč
C2, C4, C5, C6, C7, C10, C12	CK 100 nF	SMD 1206	7,00 Kč
D1 – D11	Dioda GL1M	MiniMELF	15,00 Kč
DC1	DC/DC R-78E5.0-0.5	SIP3	99,00 Kč
IC2	L293NE	DIP16	99,00 Kč
IC3	MCP9700AT-E/TT	SOT23	12,00 Kč
IO1	NUCLEO L053R8		489,00 Kč
J1 – J4	NS25 2pin vidlice do DPS	THT, RM 2,54 mm	4,00 Kč
JP1	Kolíková lišta 8pin	THT, RM 2,54 mm	1,00 Kč
K1	Relé PVN012	DIP6	199,00 Kč
Q1	Tranzistor BSS123	SOT23	1,50 Kč
R1, R5, R6, R7, R15, R17, R18 R19	Rezistor 0 Ω	SMD 1206	4,00 Kč
R2	Rezistor 33 Ω	SMD 1206	0,50 Kč
R3, R4	Rezistor 10 k Ω	SMD 1206	1,00 Kč
R10	Rezistor 270 Ω	SMD 1206	0,50 Kč
R11, R12, R24	Rezistor 100 k Ω	SMD 1206	1,50 Kč
R13, R14	Rezistor 1 k Ω	SMD 1206	1,00 Kč
R16	Rezistor 0,01 Ω	SMD 2512	5,00 Kč
R20, R22	Rezistor 10 M Ω	SMD 1206	1,00 Kč
R21, R23	Rezistor 1 M Ω	SMD 1206	1,00 Kč
R25	Trimer CA6V 10 k Ω		4,50 Kč
SV2	Konektor IDC ZL231 20p		4,50 Kč
U1	OZ TLV2370IP	DIP8	59,00 Kč
X1 – X7	Svorkovnice 2EDGVC-5.0	THT, RM 5 mm	40,00 Kč
Pojistka	Pouzdro ZH32	5x20mm	6,50 Kč
Motor	FIT0489-D		649,00 Kč
Displej	RC1604A-BIW-ESV		259,00 Kč
Rámeček	EA 017-8UKE		278,00 Kč
Klávesnice	QW-01 membránová		449,00 Kč
Čidla	Jazyčkový kontakt KMS30		276,00 Kč
Krabička	PC M 95 G		879,00 Kč

Krabička M	BOX206		60,00 Kč
Kabely	TRONIC LiY-CY 20031 2x0,25mm ² (5 metrů)		145,00 Kč
AKU	Akumulátor Pb 12V 4,5Ah		339,00 Kč
	Distanční sloupky		72,00 Kč
	Šrouby, podložky, matice		30,00 Kč
	Úprava víka krabičky		2000,00 Kč
	Výroba DPS (5 kusů)	+ doprava DHL	980,90 Kč
		CELKOVÁ CENA:	7.479,30 Kč

Tabulka 8 - Výroba funkčního vzorku, komponenty byly nakoupeny na e-shopu: www.kondik.cz

VI. Obsah přiloženého CD

Obrázky použité v této práci

Program + nastavení MCU

BP-titulní-strana.pdf

BP-hotova-práce.pdf

BP-zadání.pdf

gerber-MotherBoard.zip

gerber-solarni-nabijacka.zip

LT3652HV-odkaz.html

MotherBoard.brd

MotherBoard.sch

Solarni-nabijacka.brd

Solarni-nabijacka.sch

Solarni-nabijacka-mereni.xlsx

