



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

AUTOMATICKÝ SYSTÉM PRO DOMÁCÍ CHOV SLEPIC

AUTOMATED SYSTEM FOR DOMESTIC CHICKEN FARMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL KEJÍK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VOJTĚCH MRÁZEK, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce



156342

Ústav: Ústav počítačových systémů (UPSY)
Student: **Kejík Pavel**
Program: Informační technologie
Název: **Automatický systém pro domácí chov slepic**
Kategorie: Vestavěné systémy
Akademický rok: 2023/24

Zadání:

1. Seznamte se s potřebami pro domácí chov slepic.
2. Seznamte se s možnostmi automatizace domácnosti, zaměřte se zejména na konektivitu a možnosti řízení.
3. Navrhněte systém pro zefektivnění domácího chovu slepic.
4. Navržený systém implementujte.
5. Vyhodnoťte jeho vlastnosti.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Mrázek Vojtěch, Ing., Ph.D.**
Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.
Datum zadání: 1.11.2023
Termín pro odevzdání: 9.5.2024
Datum schválení: 25.4.2024

Abstrakt

Cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat zařízení pro automatizaci chovu slepic. Zařízení by měla být konkurenceschopná cenově a vlastnostmi zařízením dostupným na trhu. Popisovaná zařízení umožňují rádiovou konektivitu, jde tedy o tzv. IoT zařízení. V práci je popsán přehled dostupných IoT protokolů. Dále jsou zmíněna zařízení dostupná na trhu a jejich vlastnosti, které jsou stanoveny jako minimální pro návrh realizovaných zařízení. Praktická realizace těchto zařízení je rozdělena na popis mechanické, elektronické konstrukce a popis softwaru. Speciální přístupy při řízení jsou vysvětleny detailně. Zařízení byla vyvinuta do stavu plně funkčního prototypu. Testy prototypů byly prováděny po dobu několika týdnů v simulovaných podmínkách bez přítomnosti slepic, aby se zabránilo jejich znečištění.

Abstract

The aim of this thesis was to design and construct devices for automating chicken farming. The devices should be competitive in terms of both price and features compared to those available on the market. The described devices provide wireless connectivity, so they are considered IoT devices. An overview of available IoT protocols is provided in the thesis. Additionally, devices available on the market and their features, which are set as the minimum requirements for the design of the implemented devices, are mentioned. The practical implementation of these devices is divided into descriptions of the mechanical and electronic construction, as well as the software. Specific approaches to control are explained in detail. The devices were developed into fully functional prototypes. Prototype tests were conducted for several weeks in simulated conditions without the presence of chickens to avoid contamination.

Klíčová slova

Automatická dvířka, Automatické krmítko, IoT, Wi-Fi, ESP32, ESP-NOW, MQTT, Home Assistant, ModBus, Webová aplikace

Keywords

Automatic doors, Automatic feeder, IoT, Wi-Fi, ESP32, ESP-NOW, MQTT, Home Assistant, ModBus, Web application

Citace

KEJÍK, Pavel. *Automatický systém pro domácí chov slepic*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Mrázek, Ph.D.

Automatický systém pro domácí chov slepic

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Vojtěcha Mrázka, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
Pavel Kejík
7. května 2024

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vojtěchu Mrázkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Velký dík patří i mé rodině za neustálou podporu během celého mého studia.

Obsah

1	Úvod	5
2	IoT a automatizace domácnosti	7
2.1	Bezdrátové komunikační technologie používané v IoT	7
2.1.1	Wi-Fi	7
2.1.2	Bluetooth	8
2.1.3	Bluetooth Low Energy	9
2.1.4	Zigbee	9
2.1.5	Z-Wave	10
2.1.6	ESP-NOW	11
2.2	Komunikační protokoly používané v IoT	11
2.2.1	MQTT	12
2.2.2	CoAP	12
2.3	Automatizační platformy	13
2.3.1	Home Assistant	13
3	Existující řešení automatizace kurníku	15
3.1	Chickdoor SIMPLE	15
3.2	ChickenGuard Premium	15
3.3	RUN-CHICKEN Door Eternal	16
4	Koncepce automatizovaného řízení kurníku	18
4.1	Realizovaná automatizace	19
5	Řízení a ovládání	21
5.1	Připojení do sítě Wi-Fi	22
5.2	Nastavení automatiky dvířek	23
5.3	Domovská obrazovka obsluhy dvířek	24
5.4	Instalace příslušenství	24
5.5	Základní obrazovka krmítka	25
6	Periferie dvířka	27
6.1	Popis mechanické konstrukce	28
6.2	Elektronické obvody dvířek	30
6.2.1	Ovládání motoru	31
6.2.2	Snímání polohy dvířek	31
6.2.3	Napájení	32
6.2.4	Ostatní	32

6.3	Firmware	33
6.3.1	Parametry	34
6.3.2	Servopohon	35
6.3.3	Diagnostika a generování událostí	36
6.3.4	Stavový automat dvířek	37
6.3.5	Automatické ovládání dvířek	38
6.3.6	Logování	39
6.3.7	ModBus slave	40
6.3.8	Tlačítko a indikace LED	40
6.3.9	ESP-NOW	40
6.3.10	Wi-Fi připojení a web server	46
6.3.11	MQTT	46
6.4	Webová aplikace	47
6.4.1	Architektura a organizace kódu	47
7	Periferie krmítka	48
7.1	Popis mechanické konstrukce	49
7.2	Blok elektroniky	51
7.3	Elektronické obvody krmítka	51
7.3.1	Ovládání motoru	53
7.3.2	Jednoduché uživatelské rozhraní	53
7.3.3	Napájení	54
7.3.4	Měření hmotnosti nádoby	54
7.4	Firmware	54
7.4.1	Parametry	55
7.4.2	Stavový automat krmítka	55
7.4.3	Diagnostika serva	56
7.4.4	Automatické ovládání krmítka	56
7.4.5	Tlačítka a indikace LED	56
7.4.6	Řízení spotřeby	57
8	Závěr	58
	Literatura	61
A	Schéma automatických dvířek	64
B	Schéma automatického krmítka	66

Seznam zkratek

AD	Převodník analogové hodnoty na číslo. 54
BLE	Standardní nízkoenergetický rádiový protokol. 8, 9, 11
ESP-NOW	Speciální komunikační protokol s nízkou spotřebou vyvinutý pro procesory řady ESP. 1, 2, 11, 19, 34, 40–44, 48, 55, 59
FDM	Technologie 3D tisku pracující na principu nanášení materiálu po vrstvách. 6, 58
FLASH	Paměť pro čtení s možností zápisu do vymazaných oblastí, minimální mazání se provádí po sektorech. 30, 33, 52, 54
FW	Programové vybavení mikrokontroléru. 57, 58
GPIO	Pin použitelný jako jednoduchý vstup nebo výstup. 30, 52
HTTP	Hypertext Transfer Protocol – internetový protokol určený pro přenos a zobrazení webovými prohlížeči. 12, 13, 34, 46, 47, 58
JSON	Javascriptový formát pro výměnu dat. 34, 44, 47
LDO	Lineární stabilizátor s minimálním úbytkem napětí. 32, 54
MAC	Jedinečná adresa zařízení v síti. 41–43
ModBus RTU	Binární komunikační protokol přenášený po sériové lince podporovaný ModBus.org. 32, 40
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport – protokol používaný pro předávání zpráv v IoT. 1, 2, 12, 19, 34, 44, 46, 58

NTC	Termistor s negativním teplotním koeficientem. 32
NTP	Síťový protokol pro synchronizaci času. 38
NV	Paměť, která udržuje hodnoty i při výpadku napájení. 33, 54
OTA	Over-the-air – možnost upgradu firmware s využitím bezdrátové komunikace. 19, 46
PWM	Pulzně-šírková modulace. 30–32, 35, 36, 52, 53
ROM	Paměť pouze pro čtení. 30, 33, 52, 54
RTC	Periferie pro generování reálného času a událostí. 30, 33, 52, 54, 55, 57
SLA	Technologie 3D tisku založená na ztuhnutí fotocitlivého polymeru po osvětlení UV zářením. 6, 58
SMD	Typ montáže elektronických součástek na desku plošných spojů. 30, 51
SMPS	Stabilizátor pracující ve spínaném módu. 32
SPI	Synchronní sériová komunikace. 30, 52
SRAM	Statická RAM paměť s neomezenou dobou uchování informace, na rozdíl od DRAM. 30, 33, 52, 54
SSID	Identifikátor bezdrátové sítě Wi-Fi. 22
UART	Asynchronní sériová komunikace. 30, 52
USB	Univerzální sériová sběrnice. 16, 30, 52, 54, 58
Wi-Fi	Bezdrátový komunikační protokol vycházející ze standardu rodiny IEEE 802.11. 1, 2, 7–12, 19, 22, 30, 33, 40, 41, 43, 45, 46, 52, 53, 57–59
Wi-Fi AP	Přístupový bod (server) k síti Wi-Fi. 22, 46
Wi-Fi STA	Klient sítě Wi-Fi. 46

Kapitola 1

Úvod

Chov domácích zvířat byl historicky velmi rozšířen zvláště na venkově a v příměstských částech, kde byla chována zvířata různých velikostí, to je od holubů až po skot. S rozvojem velkochovů a průmyslové výroby potravinových produktů a odlivu populace z venkova do sídel městského typu, došlo k významnému poklesu chovů domácích zvířat. Bylo to způsobeno dostupností cenově přijatelných zemědělských produktů a vyznáváním pohodlnějšího způsobu života. V dnešní době lze pozorovat určitou renesanci v chovu drobných domácích zvířat motivovanou nejen ekonomickým přínosem, ale především ekologickými aspekty. Pro současné generace je nezanedbatelné i seznámení s běžnou živou přírodní formou v dnešní přetechnizované společnosti. V domácím chovu zvířat převládají chovy slepic, které jsou oblíbené pro svou nenáročnost a hospodářské benefity chovu. Nejoblíbenějšími a nejrozšířenějšími plemeny slepic jsou isa brown red, plymutky a leghornky [15]. Aby tento chov příliš nezatěžoval a nevyžadoval trvalou přítomnost chovatele, je možné určitou automatizaci snížit časovou náročnost chovu.

Vzhledem k tomu, že naše rodina žije v rodinném domě v městské části venkovského typu a pořídila si chov slepic, objevily se po čase požadavky na automatizování některých rutinních činností. Chov slepic se provádí v takzvaném kurníku, což je místnost o objemu a ploše související s počtem kusů chované drůbeže. V dnešní době je nezbytností kurníku i výběh dostupný z kurníku přes malý otvor. Tento otvor je nutno uzavírat v nočních hodinách a otevírat v ranních hodinách, abychom uchránili drůbež před útoky dravých predátorů. Tuto aktivitu je možné automatizovat a na trhu jsou již dostupné různé typy dvířek, které se sami otevírají a uzavírají, většinou podle světelné úrovně. Předpokládá se přitom, že slepice při poklesu denního svitu se vrací do kurníku. V určitých výjimečných případech však, například při bouřkách, kdy dojde k setmění, může dojít k uzavření dvířek, aniž by byly slepice zpátky v kurníku. Aby byla jistota, je někdy nutné osobně ověřit stav dvířek a přítomnost drůbeže. Časem se tedy zdálo vhodné pro naši rodinu vybavit kurník automatickými dvířky, které jsou schopny sledovat stav a automaticky reagovat na různé problémy a navíc je možné sledovat dálkově stav dvířek.

Další možností pro zjednodušení péče o slepice je zavedení automatizovaného krmení. Automatické krmítko může dávkovat krmivo dle nastaveného harmonogramu nebo v závislosti na aktuální hladině krmiva v krmítku, což minimalizuje potřebu „ručního“ krmení a zajišťuje pravidelný přísun potravy.

Nabízí se i další možnosti automatizace, jako jsou monitorování interiéru kurníku, případně exteriéru kamerovým systémem, nebo nějakým identifikačním systémem, který by detekoval přítomnost drůbeže v kurníku.

V práci je popsána koncepce automatizace drobného chovu slepic na jejímž základě byly prakticky realizována automatizovaná dvířka a krmítko a principiálně otestováno příslušenství pro detekci přítomnosti slepic a případné vizuální monitorování. Praktická realizace dvířek je zaměřena na mechanické, elektrické-elektronické řešení s důrazem na firmware zajišťující automatizované řízení konfigurovatelné pro různé typy dvířek s komunikací pro vzdálené sledování stavu a ovládání. Totéž platí i pro krmítko. Mechanické řešení je založené na komponentech vyrobených 3D tiskem FDM i SLA typu.

Kapitola 2

IoT a automatizace domácnosti

S automatickými přístroji se v domácnosti setkáváme již řadu desetiletí. Jednalo se však o izolovaná zařízení bez možnosti vzájemné interakce. S rozvojem především rádiových komunikačních technologií a cenové dostupnosti čipů a modulů malých rozměrů se rozšířili možnosti internetové konektivity běžných zařízení. Tato síť zařízení se v současnosti označuje jako IoT.

Jedná se o síť, která je provozována na menší vzdálenosti přenášející nevelké množství dat, ale jsou zde kladeny specifické požadavky na jednoduchost a spotřebu. Klíčovou vlastností IoT zařízení je schopnost vzájemně komunikovat a integrovat se do rozsáhlejších a složitějších systémů a procesů. Propojení prvků umožňuje vzdálené monitorování stavu, ovládání a automatickou vzájemnou interakci prvků. Díky pokroku v oblastech jako jsou strojové učení a umělá inteligence jsou zařízení IoT schopna nejen pasivně sbírat data, ale i aktivně na ně reagovat. Tento koncept se uplatňuje v široké škále zařízení, od chytrých termostatů a osvětlení přes automobily až po výrobní stroje, a postupně se stává neodmyslitelnou součástí každodenního života [29].

2.1 Bezdrátové komunikační technologie používané v IoT

Bezdrátové komunikační technologie jsou klíčové pro implementaci a efektivní fungování systémů v oblasti IoT. Umožňují navázat komunikaci mezi zařízeními bez fyzických spojení, což výrazně zvyšuje flexibilitu a rozšiřitelnost systémů. Jednotlivé technologie, jako jsou Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee a další, se liší například v topologii sítě, dosahu, propustnosti a energetické náročnosti.

V IoT projektech je zásadní zvolit správnou technologii v závislosti na potřebách aplikace, ať už jde o sběr dat v reálném čase, vzdálené ovládání nebo nízkenergetické aplikace. Při výběru je vhodné zvážit nejen technické parametry, ale také otázky bezpečnosti a soukromí. Tato kapitola poskytne souhrnný přehled o nejpoužívanějších a nejnámějších bezdrátových technologiích v IoT a vysvětlí jejich klíčové vlastnosti.

2.1.1 Wi-Fi

Wi-Fi patří mezi nejrozšířenější a nejčastěji využívané bezdrátové technologie pro aplikace IoT. Tato technologie umožňuje připojení široké škály zařízení k bezdrátové síti, včetně inteligentních domácích systémů, bezpečnostních kamer, routerů, tiskáren a další domácí elektroniky.

Wi-Fi technologie, založená na standardu IEEE 802.11, využívá rádiové frekvence k přenosu dat mezi zařízeními. Tento standard specifikuje několik variant s odlišnými parametry, jako jsou přenosová rychlost, dosah a frekvence. Wi-Fi zařízení obvykle pracují na frekvencích 2,4 GHz, 5 GHz a nově také na 6 GHz. Mezi nejběžnější standardy patří 802.11b (Wi-Fi 1), 802.11a (Wi-Fi 2) 802.11g (Wi-Fi 3), 802.11n (Wi-Fi 4), 802.11ac (Wi-Fi 5) a 802.11ax (Wi-Fi 6) [21].

Topologie sítě Nejčastěji jsou Wi-Fi sítě provozované ve hvězdicové topologii, ale mohou být i ve stromové a mesh topologie [30].

Přenosová rychlost Současně nejnovější a nejrychlejší standard 802.11ax (Wi-Fi 6) dosahuje přenosové rychlosti až 9,6 Gb/s. Ve světě IoT zařízení jsou často používány standardy jako 802.11n a 802.11ac, které teoreticky umožňují maximální rychlosti až 600 Mb/s, respektive 1300 Mb/s [16].

Dosah Standardy jako 802.11n a 802.11ax poskytují v interiéru dosah až 70 metrů, zatímco venkovní dosah může být až 250 metrů. Frekvence 2,4 GHz nabízí delší dosah, ale může trpět větším rušením, zatímco frekvence 5 GHz a 6 GHz poskytují rychlejší přenos dat, ale s kratším dosahem [5].

Energetická efektivita Energetická efektivita Wi-Fi sítě se liší v závislosti na použitém standardu, avšak stále obecně platí, že spotřebovává více energie ve srovnání s některými jinými bezdrátovými technologiemi (například BLE nebo Zigbee), což může být významným omezením pro IoT zařízení napájená z baterií. Nicméně standard 802.11ax přináší významná vylepšení v energetické efektivitě díky technologiím jako je Target Wake Time (TWT), OFDMA a MU-MIMO. Tyto technologie umožňují efektivnější správu času probuzení a spánku zařízení, zvyšují účinnost využití kanálu a snižují čekací doby, což přispívá k celkové energetické úspornosti a zlepšuje propustnost sítě [12], [32].

Dostupnost a integrace Díky nedávno vyvinutým Wi-Fi čipům a modulům se významně snížila složitost a vysoký výkon spojený s Wi-Fi u IoT zařízení. To umožňuje snadnou integraci Wi-Fi do nových IoT aplikací i u zařízení s bateriovým napájením. Díky ekonomické dostupnosti Wi-Fi čipů jsou mnohá IoT zařízení vybavena standardy 802.11, jako jsou b/g/n/ac, což umožňuje jejich snadné připojení k Wi-Fi sítím bez nutnosti dodatečného hardwaru.

2.1.2 Bluetooth

Bluetooth je široce rozšířená bezdrátová technologie určená pro přenos dat na krátké vzdálenosti, navržená k propojování převážně malých zařízení a příslušenství. Pracuje ve frekvenčním pásmu označovaném ISM (2,4 GHz) a je spravována skupinou Bluetooth Special Interest Group (SIG) a standardizována podle IEEE 802.15 [9].

Topologie sítě Bluetooth vytváří buď point-to-point nebo point-to-multipoint spojení. „Master“ inicializuje spojení a může mít až 7 aktivních a 256 neaktivních „slavů“. Tato topologie se označuje jako tzv. pikosítě [31].

Přenosová rychlost Bluetooth je ideální pro streamování audio signálu a přenos souborů s rychlostmi až 3 Mb/s (EDR) nebo 1 Mb/s (BR) [25].

Dosah Bluetooth má dosah až 100 metrů ve volném prostoru, ale překážky jako betonové stěny mohou tento dosah výrazně omezit, obvykle na přibližně 10 metrů [26].

Energetická efektivita Bluetooth je známé svou relativně vysokou spotřebou energie, která je primárně způsobena potřebou udržovat rádiové rozhraní neustále aktivní, aby bylo možné udržet spojení mezi zařízeními, což může být problematické pro IoT zařízení s bateriovým napájením.

Dostupnost a integrace Bluetooth je, podobně jako Wi-Fi, masivně rozšířená technologie přítomná v široké škále zařízení, od smartphonů po domácí elektroniku.

2.1.3 Bluetooth Low Energy

Ve srovnání s běžným Bluetooth je v oblasti IoT oblíbenější Bluetooth Low Energy (BLE), které bylo poprvé představeno v roce 2011. BLE, rovněž standardizované podle IEEE 802.15 a provozované ve stejném frekvenčním pásmu jako běžné Bluetooth, se vyznačuje především svou výrazně nižší spotřebou energie při zachování srovnatelného dosahu. Díky těmto vlastnostem je BLE ideální pro IoT aplikace, kde je klíčová úspora energie, včetně zařízení pro zdravotní péči, fitness sledovače, bezpečnostní systémy a systémy automatizace domácnosti [9].

Topologie sítě BLE oproti běžné Bluetooth přidává i podporu pro broadcast a mesh topologie [25]. Mesh síť BLE může teoreticky obsahovat až 32 767 uzlů [1].

Přenosová rychlost BLE je vhodný pro krátké zprávy a senzorické hodnoty s rychlostmi až 2 Mb/s (LE 2M PHY) nebo 1 Mb/s (LE 1M PHY) [25].

Dosah BLE má podobný dosah jako běžné Bluetooth, ale s nižší spotřebou energie. S Bluetooth 5 se dosah BLE zvýšil až na 400 metrů díky novým režimům, jako je LE 2M PHY a LE Coded PHY [26].

Energetická efektivita BLE je navrženo pro minimální spotřebu energie, dosahuje až 100krát nižší spotřeby než běžné Bluetooth díky režimu spánku mezi přenosy dat [9].

Dostupnost a integrace Přestože Bluetooth Classic a BLE mohou používat stejný hardwarový modul, nejsou vzájemně kompatibilní a zařízení musí specificky podporovat BLE.

2.1.4 Zigbee

Zigbee je bezdrátová technologie specifikovaná skupinou Zigbee Alliance, která je založena na standardu IEEE 802.15.4 pro bezdrátové osobní sítě (WPAN). Tento standard je navržen pro efektivní nízkorychlostní komunikaci mezi zařízeními na krátké vzdálenosti. Zigbee používá pro komunikaci frekvenční pásma ISM, zahrnující 868 MHz v Evropě, 915 MHz v USA a Austrálii a nejčastěji 2,4 GHz, které je dostupné celosvětově [14].

Díky své nízké spotřebě energie a schopnosti vytvářet spolehlivé, bezpečné sítě je Zigbee ideální pro aplikace jako domácí automatizace, průmyslové řízení a další.

Topologie sítě Nejčastěji je používána mesh topologie, která se skládá z jednoho koordinátora, několika směrovačů a koncových zařízení. V jedné síti Zigbee může být současně až 65 000 uzlů [10].

Přenosová rychlost Přenosová rychlost závisí na použitém frekvenčním pásmu. V pásmu pod 1 GHz dosahuje přibližně 20 kb/s, zatímco v 2,4 GHz pásmu, které je nejčastěji používané, může dosáhnout až 250 kb/s [8].

Dosah Typický dosah Zigbee zařízení se pohybuje od 10 do 100 metrů v závislosti na výkonu zařízení a charakteristikách prostředí [8].

Energetická efektivita Jednou z hlavních výhod Zigbee je jeho energetická efektivita. Koncová zařízení mohou být v režimu spánku a stále udržovat spojení se sítí. Navíc díky využití mesh sítě není vyžadován vysoký výkon pro přímý dosah signálu, což dále přispívá k úsporám energie [10].

Dostupnost a integrace Zigbee se neintegruje tak běžně jako Wi-Fi nebo Bluetooth do všech typů zařízení. Přesto hraje klíčovou roli v oblasti Internetu věcí (IoT), kde mnoho výrobců vyvíjí čipy a zařízení, které tento standard podporují.

2.1.5 Z-Wave

Z-Wave je bezdrátová komunikační technologie, primárně využívaná pro automatizaci domácností a komerčních budov, vyvinutá dánskou společností Zensys v roce 1999. Tato technologie funguje na frekvenci 900 MHz a je charakteristická svou schopností tvořit mesh síť s nízkoenergetickými rádiovými vlnami pro komunikaci mezi zařízeními. Použití nižší frekvence umožňuje lepší šíření signálu, delší dosah, žádné rušení s frekvenčními pásmy Wi-Fi a spolehlivější spojení. Z-Wave využívá standard ITU-T G.9959 pro bezdrátovou komunikaci na frekvencích pod 1 GHz [7].

Z-Wave technologie byla původně uvedena na trh jako systém pro ovládání osvětlení a postupně se vyvinula v robustní platformu pro domácí automatizaci s širokým portfoliem podporovaných zařízení, včetně chytrých zámků, termostatů a bezpečnostních systémů [7].

Topologie sítě Z-Wave sítě jsou primárně organizovány jako mesh sítě. Varianta Z-Wave Long Range využívá hvězdicovou topologii, kde centrální uzel komunikuje přímo s každým připojeným zařízením. Celkově může síť Z-Wave obsahovat až 232 zařízení, nebo až 4 000 uzlů v případě použití Z-Wave LR [7].

Přenosová rychlost Protokol Z-Wave má přenosovou rychlost v rozmezí 9,6 až 100 kb/s [2].

Dosah Protokol Z-Wave umožňuje stabilní spojení až na 100 metrů v otevřeném prostoru a 30 metrů uvnitř budov. Díky nízké frekvenci, kterou Z-Wave používá, není přenos signálu tolik ovlivněn zdi a dalšími překážkami [2].

Energetická efektivita Z-Wave technologie je navržena s důrazem na úsporu energie podobně jako Zigbee, což ji činí vhodnou pro zařízení napájená bateriemi.

Dostupnost a integrace Ačkoliv Z-Wave nemusí být tak rozšířená jako Wi-Fi nebo Zigbee, má stále významné místo na trhu inteligentních domácností. Dříve byly čipy Z-Wave vyráběné pouze společností Silicon Labs, což zvyšovalo náklady na zařízení. V roce 2023 však začala společnost Trident IoT také vyrábět čipy pro Z-Wave, což může znamenat snížení cen a větší konkurenci na trhu.

2.1.6 ESP-NOW

ESP-NOW je komunikace vyvinutá společností Espressif, která běží na stejných frekvencích a kanálech jako Wi-Fi, tedy na 2,4 GHz. Je specifická pro zařízení rodiny ESP a umožňuje nízkoenergetickou komunikaci bez nutnosti trvalého spojení mezi zařízeními [28].

ESP-NOW využívá pro přenos dat speciální Wi-Fi rámce zvané „vendor-specific action frames“, což je typ management rámců ve Wi-Fi protokolu, který umožňuje vysílání dat přímo mezi zařízeními bez nutnosti navázání tradičního Wi-Fi spojení. Díky tomu je komunikace na fyzické vrstvě koordinována stejně jako u jiných Wi-Fi rámců, což zajišťuje její spolehlivost a efektivitu i v prostředí s vysokým provozem. Tento protokol je ideální pro aplikace, kde je potřeba rychlá a energeticky úsporná komunikace, jako jsou různé senzory a zařízení pro domácí automatizaci [28].

Topologie sítě ESP-NOW umožňuje zařízením komunikovat přímo v peer-to-peer topologii bez potřeby centrálního směrovače nebo hubu. Tato struktura je vhodná pro jednoduché IoT projekty, kde zařízení nezávisle odesílají a přijímají data v dosahu. Komunikace může probíhat pomocí unicast nebo broadcast, teoreticky s neomezeným počtem zařízení [28].

Přenosová rychlost ESP-NOW standardně poskytuje přenosovou rychlost 1 Mb/s, s možností „long range“ režimu, kde je rychlost snížena na 500 kb/s [28].

Dosah ESP-NOW umožňuje v „long range“ režimu dosah až 1 kilometr [28].

Energetická efektivita ESP-NOW je považován za nízkoenergetický komunikační protokol díky své schopnosti přenášet data bez potřeby udržovat trvalé spojení. Protože však využívá Wi-Fi rozhraní, je stále energeticky náročnější ve srovnání s technologiemi jako jsou Zigbee nebo Z-Wave, které pracují na nižších frekvencích a s menšími datovými toky.

Dostupnost a integrace Ačkoliv je ESP-NOW méně rozšířené než Wi-Fi, Bluetooth či Zigbee, jelikož funguje výhradně na ESP čípech, nabízí se jako energeticky účinnější a jednodušší alternativa k tradiční Wi-Fi nebo BLE bez potřeby dalšího hardwaru.

2.2 Komunikační protokoly používané v IoT

Komunikační protokoly hrají zásadní roli v IoT systémech, protože umožňují integraci rozmanitých zařízení do komplexních síťových struktur, zajišťující efektivní a bezpečnou výměnu dat. Technologie jako Zigbee nebo Z-Wave jsou optimalizované pro vytváření lokálních sítí zařízení s nízkou spotřebou energie a obvykle se používají pro přímou komunikaci mezi

senzory a aktuátory. Pro rozšíření funkcionality těchto sítí a jejich integraci s internetem a většími automatizačními systémy se typicky využívá Wi-Fi spolu s protokoly jako MQTT a CoAP, které jsou nejčastěji používané pro IoT komunikaci. Méně často se využívají protokoly jako AMQP a DDS.

Hlavním spojovacím prvkem mezi různými protokoly a internetem jsou tzv. huby nebo brány, které fungují jako prostředníci. Tato zařízení umožňují komunikaci s lokálními protokoly jako Zigbee nebo Z-Wave a navíc poskytují připojení do sítě přes Wi-Fi nebo Ethernet. Tím umožňuje zařízením v lokální síti propojení s cloudovými službami a automatizačními systémy a umožňuje tak vzdálené spravování a monitorování.

2.2.1 MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) je jednoduchý a snadno implementovatelný protokol určený pro efektivní přenos dat mezi IoT zařízeními, založený na modelu Publish/Subscribe. Využívá hierarchickou strukturu témat (topics), kde tato témata nemusí být vytvořena dopředu a zprostředkovatel (broker) je dynamicky vytváří na základě odeslání zprávy zařízením na nové téma [11].

MQTT definuje tři základní role v síti [11]:

- Producent (publisher) – odesílá data na specifická témata prostřednictvím zpráv typu „PUBLISH“.
- Odběratel (subscriber) – přihlašuje se k odběru specifických témat zprávami „SUBSCRIBE“ a přijímá odpovídající zprávy „PUBLISH“.
- Zprostředkovatel (broker) – slouží jako centrální jednotka pro správu autentizace, témat a zpráv, zajišťuje filtrování a distribuci zpráv od producentů mezi odběratele.

MQTT definuje tři úrovně kvality služeb (QoS) pro doručování zpráv [11]:

- QoS 0 (At most once) – zpráva je odeslána maximálně jednou, bez záruky doručení.
- QoS 1 (At least once) – zaručuje doručení zprávy, ale může dojít k duplicitnímu doručení.
- QoS 2 (Exactly once) – zajišťuje přesně jedno doručení zprávy bez duplicity.

2.2.2 CoAP

CoAP (Constrained Application Protocol) je protokol určený převážně pro IoT zařízení a je popsán v RFC 7252. Tento protokol umožňuje efektivní komunikaci mezi zařízeními s omezenými zdroji a šířkou pásma a je založen na modelu Request/Response. Používá UDP jako transportní vrstvu a je navržen tak, aby byl podobný a snadno přeložitelný do HTTP protokolu pro snadnou integraci s webovými aplikacemi [24].

CoAP definuje čtyři základní typy zpráv [24]:

- CON (Confirmable) – vyžaduje potvrzení přijetí zprávy od příjemce.
- NON (Non-confirmable) – nevyžaduje potvrzení a tím minimalizuje režii komunikace.
- ACK (Acknowledgement) – slouží k potvrzení přijetí zprávy typu CON.
- RST (Reset) – indikuje chybu ve zpracování přijaté zprávy nebo jiné chyby.

Protokol podporuje operace jako GET, POST, PUT a DELETE, podobně jako HTTP. Navíc podporuje multicastové zprávy a objevování služeb a zdrojů. CoAP definuje dvě základní úrovně kvality služeb [24]:

- Non-confirmable – zprávy jsou odesílány bez záruky doručení.
- Confirmable – každá zpráva musí být potvrzena příjemcem.

2.3 Automatizační platformy

Automatizační platformy, jako jsou Home Assistant, Google home, Samsung SmartThings a další, hrají klíčovou roli v propojení různých IoT zařízení do jednotného systému. Tyto platformy slouží jako centralizované rozhraní pro integraci široké škály zařízení, bez ohledu na jejich komunikační protokoly nebo výrobce. Díky tomu mohou uživatelé pohodlně ovládat osvětlení, termostaty, bezpečnostní systémy, a mnoho dalších zařízení z jedné aplikace. Zároveň umožňují vytvářet automatizační scénáře založené na interakcích mezi zařízeními.

Při výběru automatizační platformy je důležité zvážit následující klíčové vlastnosti:

- Kompatibilita a modularita – automatizační platforma by měla být schopna integrovat do systému zařízení různých výrobců a protokolů a navíc rozšiřovat funkce prostřednictvím integrace s dalšími systémy a aplikacemi, včetně cloudových služeb a hlasových asistentů.
- Přístupnost a uživatelská přívětivost – platforma by měla být snadno použitelná pro všechny typy uživatelů, což zahrnuje intuitivní uživatelské rozhraní a jednoduchý proces konfigurace, aby ji mohli pohodlně používat i méně technicky zdatní uživatelé.
- Bezpečnost a soukromí – s rostoucím počtem připojených zařízení je důležité, aby platforma poskytovala bezpečnostní mechanismy pro ochranu soukromí a zabránila neoprávněnému přístupu do systému.
- Proprietárnost vs. otevřené standardy – proprietární platformy často omezeně podporují integraci zařízení od různých výrobců a obvykle umožňují připojení pouze certifikovaných zařízení.
- Lokální vs. cloudové zpracování – lokální zpracování dat umožňuje lepší odezvu systému a poskytuje lepší bezpečnost, protože data zůstávají v místní síti. Cloudové zpracování na druhé straně nabízí výhody vzdáleného přístupu.

2.3.1 Home Assistant

Pro integraci do vyšších domácích automatizačních systémů a cloudovému přístupu mimo rámec domácí sítě se v práci předpokládá použití platformy Home Assistant. Je to rozšířená open-source platforma, která poskytuje vysokou míru flexibility a podporuje integraci široké škály zařízení (i necertifikovaných) a služeb. Podporuje protokoly jako MQTT, Zigbee a Z-Wave. Platforma běží primárně lokálně, což zajišťuje lepší bezpečnost. Integrace s cloudem přes Nabu Casa umožňuje vzdálený přístup a další funkce za měsíční poplatek. Home Assistant běží na různých hardwarových platformách od jednodeskových počítačů jako je např. Raspberry Pi a je dostupný na operačních systémech Windows, macOS a Linux [6].

Uživatelé mohou vytvářet komplexní automatizační scénáře, což zahrnuje široké spektrum domácích automatizací od osvětlení až po bezpečnostní systémy. Konfigurace systému

se provádí buď úpravou YAML souborů pro pokročilé nastavení, nebo prostřednictvím grafického rozhraní Lovelace, které umožňuje organizovat různé typy karet pro zobrazování stavových informací a ovládání zařízení [6]. Prvotní konfigurace a sestavení systému vyžaduje určité technické dovednosti a pochopení.

Ovládání systému je možné prostřednictvím webového rozhraní, mobilní aplikace pro Android a iOS, nebo hlasových příkazů přes podporované virtuální asistenty, jako jsou Google Assistant a Amazon Alexa [6].

Kapitola 3

Existující řešení automatizace kurníku

V dnešní době se na trhu nachází řada automatických dvířek pro chov slepic, což jsou v podstatě jediné dostupné prvky pro automatizaci chovu. Tyto produkty však často představují izolovaná řešení bez možnosti integrace do systému domácí automatizace a neposkytují žádnou konektivitu.

Většina dostupných automatických dvířek funguje na principu soumrakového senzoru, který otevírá a zavírá na základě intenzity denního světla. Tento princip však může být problematický, pokud jsou dvířka umístěna ve špatně osvětleném prostředí, nebo může vést k nežádoucímu zavření dvířek například během bouřky ke konci dne. Některá sofistikovanější řešení nabízejí možnost nastavení časů pro otevírání a zavírání. Nicméně i tato možnost může být nedostatečná vzhledem k proměnlivé délce dne a noci během roku.

3.1 Chickdoor SIMPLE

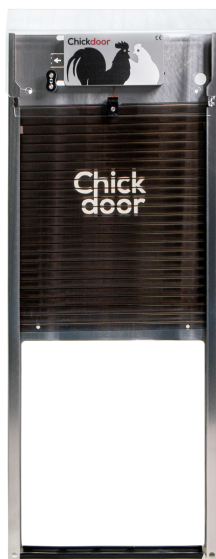
Automatická dvířka od českého výrobce Hexpeak s.r.o. (obr. 3.1) jsou k dispozici ve dvou velikostních provedeních, 22×25 cm a 32×32 cm, s možností výběru mezi pozinkovaným a nerezovým rámem. Pohon dvířek je založen na principu vytahování navíjením lanka a jsou napájena třemi tužkovými bateriemi typu AA [3]. Dvířka neumožňují detekci překážek při zavírání ani nejsou schopna potvrdit skutečné zavření. Navíc nejsou vybavena žádným mechanismem blokování a mohou být ručně nadzvednuta nebo otevřena například predátorem.

Automatické otevírání a zavírání dvířek je řízeno pouze na základě detekce světla. Uživatel může mechanicky otočením potenciometrů nastavit zpoždění otevírání či zavírání podle svých potřeb. Zařízení je vybaveno jedním tlačítkem pro manuální ovládání a LED indikací, která informuje o stavu baterie a aktuálním stavu dvířek [3].

Vzhledem k absenci jakékoli konektivity není možné dvířka ovládat nebo monitorovat na dálku ani je integrovat do systémů chytré domácnosti.

3.2 ChickenGuard Premium

Tento model od britského výrobce ChickenGuard je dostupný jako samostatná jednotka pro otevírání a zavírání nebo v kombinaci s dvířky (obr. 3.2), které jsou vybaveny zámkem zabráňujícím manuálnímu nadzvednutí v zavřené poloze. Pohon dvířek funguje na principu



Obrázek 3.1: Automatická dvířka Chickdoor SIMPLE, převzato z [3].

navíjení lanka, podobně jako u předchozího modelu. Napájení zařízení je možné buď pomocí čtyř tužkových baterií typu AA, nebo přes externí zdroj skrze USB port [4].

Automatické otevírání a zavírání dvířek je řízeno buď na základě detekce světla, nebo podle přednastaveného času. Dvířka lze rovněž otevřít nebo zavřít manuálně stiskem tlačítka. Součástí je integrovaný LCD displej umožňující nastavení a úpravy provozních parametrů. Dvířka jsou dále vybavena funkcí automatické kalibrace a automatického zastavení v případě detekce překážky při zavírání [4].

Stejně jako předchozí model, ani tato dvířka nenabízí možnost konektivity.

3.3 RUN-CHICKEN Door Eternal

Automatická dvířka od společnosti RUN-CHICKEN (obr. 3.3), se sídlem v USA, jsou poháněna ozubeným kolem motoru, které zapadá do perforace na dvířkách. Dvířka jsou napájena solárním panelem a dvěma dobíjecími bateriemi AA NiMh, které zajišťují až 5 let provozu [23].

Automatické ovládání dvířek je možné buď pomocí světelného senzoru nebo časovače, a pro manuální ovládání slouží tlačítko na zařízení. Model umožňuje také konfiguraci a ovládání prostřednictvím mobilní aplikace. Dvířka jsou vybavena funkcí automatického zastavení v případě detekce překážky při zavírání [23].



Obrázek 3.2: Automatická dvířka ChickenGuard Premium, převzato z [4].



Obrázek 3.3: Automatická dvířka RUN-CHICKEN Door Eternal, převzato z [23].

Kapitola 4

Koncepce automatizovaného řízení kurníku

Z informací a rad dostupných na internetu [22], [13] a také na základě rodinných zkušeností s chovem jsem vybral následující činnosti, které by bylo vhodné automatizovat:

- Otvírání a zavírání kurníku do výběhu – v letních měsících je nutné zavírat dvířka poměrně pozdě a je vhodné je otvírat dříve. Naopak při nízkých teplotách v zimě je vhodné otevření zpozdít. Navíc manipulace s dvířky vyžaduje přístup do ne zcela čistého prostoru.
- Zpřístupnění, zavírání a doplňování krmiva – pro účelné využití krmiva je vhodné dávkovat přiměřené množství maximálně na jeden den podle počtu slepic. Nadbytečné množství krmiva vede k plýtvání spojenému s vyhazováním krmiva. Uzavřením krmiva v době, kdy se slepice v prostoru s krmítkem nevyskytují, lze zabránit konzumaci krmiva hlodavci, kteří mohou přinášet zdravotní rizika.
- Doplňování vody pro pití – automatické doplňování vody dle hladiny a denního režimu.
- Vizualní monitoring chovu – umístění kamery a zajištění přenosu obrazu.
- Identifikace přítomnosti vlastních slepic.

Dvířka byla shledána jako nejučelnější a základní automatizační prvek a mají proto roli centrálního přístupového bodu ke všem ostatním komponentům. Všechny ostatní komponenty jsou v práci označovány jako příslušenství.

Z dvířek vyhledaných na internetu jsem sestavil sadu základních vlastností, které by měly dvířka minimálně splňovat a přidal jsem vlastnosti, které mi připadaly jako vhodné:

- Nucený pohon dvířek nahoru a dolů.
- Mechanické blokování pojezdu pohonu – například samosvorná šneková převodovka.
- Možnost jednoduché manuální obsluhy – pro případ výpadku energie nebo jiné poruchy.
- Snímání polohy dvířek v celém průběhu dráhy.
- Bezpečnost – citlivá, ale spolehlivá detekce překážky pohybu.

- Spolehlivost – automatické řešení chybových událostí pro zajištění dosažení koncové polohy.
- Automatické otvírání a zavírání – na základě astronomického východu a západu slunce a také podle osvětlení.
- Pomocné IO vstupy – možnost další automatizace (ventilace, světlo, apod.).
- Měření teploty.
- Napájení může být externí.
- Konektivita – bezdrátová a vodičová komunikace.
- Komfortní a intuitivní uživatelské rozhraní – pro kompletní monitorování, konfiguraci a obsluhu například z mobilního telefonu.
- Možnost napojení do vyšších automatizačních systémů.

4.1 Realizovaná automatizace

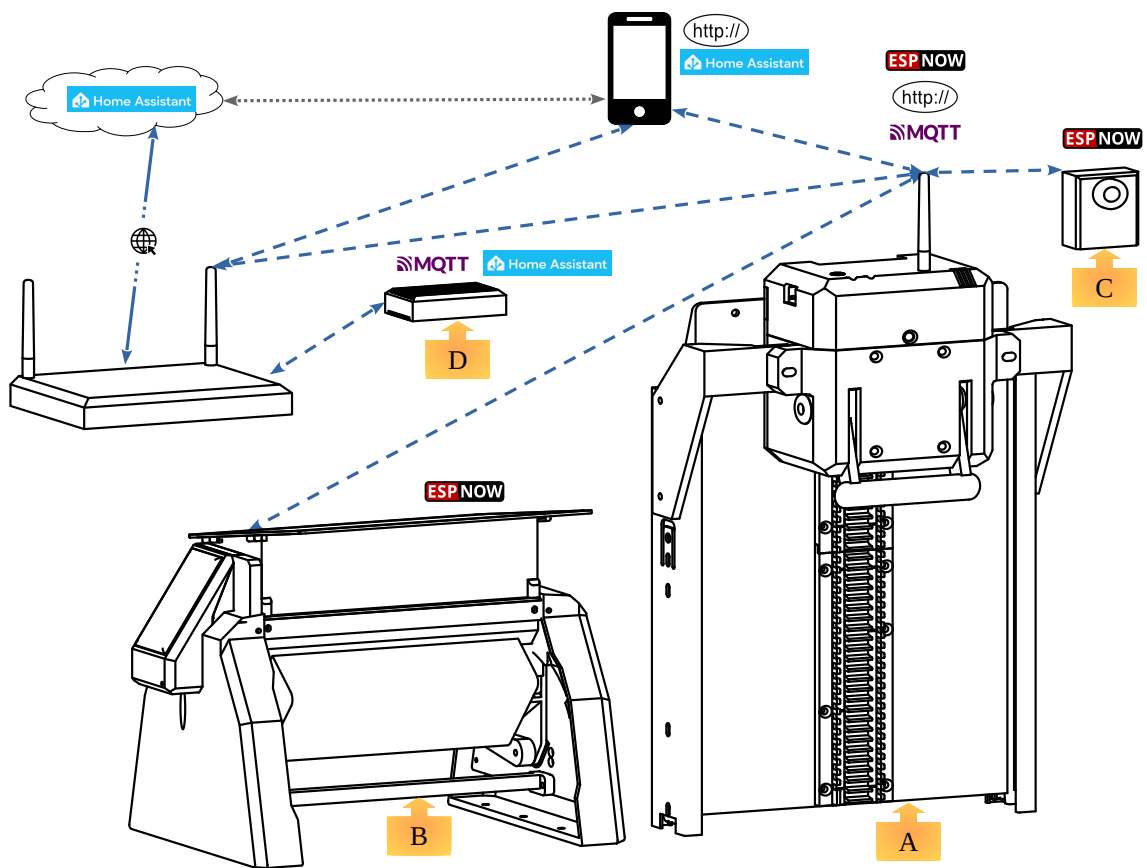
Výsledkem této bakalářské práce je automatizovaný systém znázorněný na obr. 4.1. Obsahuje jen komponenty, které se podařilo prakticky realizovat a odzkoušet. Práce se dále zaměřuje na kompletní popis dvířek a krmítka, které si vyžádaly nejvíce úsilí.

Při návrhu mechanické části zařízení bylo využito komponentů vzniklých 3D tiskem. Schéma elektronických obvodů a desky plošných spojů byly navrženy na míru pro dané zařízení. Desky plošných spojů je možné vyrobit se všemi náležitostmi profesionálních desek (potisk, nepájivá maska, frézování tvaru desky) s využitím internetového portálu JLCPCB za přijatelnou cenu i pro kusové množství. Software, tj. jak firmware, tak i grafické uživatelské rozhraní, je časově významnou součástí konstrukce.

Centrálním prvkem jsou dvířka A, vybavená procesorem s dostatečnou pamětí a výpočetním výkonem pro řízení dvířek a komunikaci s příslušenstvím, včetně možnosti připojení do standardní Wi-Fi sítě. Dvířka jsou napájena externím 12V stejnosměrným zdrojem a obsahují integrovaný webový server, který umožňuje monitorování a ovládání dvířek a příslušenství z libovolného zařízení s internetovým prohlížečem. Pro integraci s automatizačními platformami, jako je Home Assistant, byl implementován protokol MQTT. Dvířka podporují radiovou nízkoenergetickou komunikaci s protokolem ESP-NOW, který je využíván pro komunikaci s příslušenstvím. Všechny komponenty systému umožňují aktualizaci softwaru přes OTA.

Příslušenství B je krmítko umožňující uzavírání a doplňování krmiva s nezávislým bateriovým napájením. Příslušenství C je kamera pro získání statických snímků. Je možné připojit několik stejných typů příslušenství.

Komponenta D představuje počítač, na kterém běží MQTT broker a je spuštěn Home Assistant. Vhodným typem počítače pro tento účel je například Raspberry Pi.



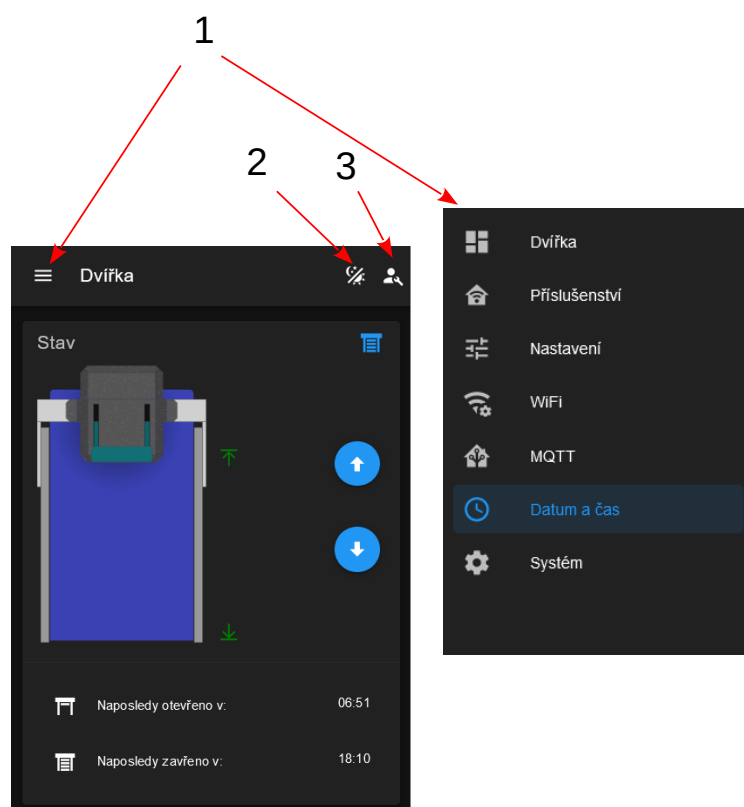
Obrázek 4.1: Komponenty automatizace.

Kapitola 5

Řízení a ovládání

Základní obsluha se provádí s využitím vestavěného webového rozhraní s použitím internetového prohlížeče. Uživatelské rozhraní umožňuje instalaci, diagnostiku a běžné užívání. Rozhraní zahrnuje několik obrazovek a jejich kompletní popis by nebyl účelný, ne-li odpovídavý. Účelnější bude popsat několik případů jejich užití.

Většina funkcí je dostupná z hlavního menu, které se zobrazí při stisku ikony 5.1-1. Ikonou 5.1-2 lze přepínat světlý a tmavý režim. Ikona 5.1-3 zobrazuje přístupovou úroveň: uživatelská a servisní a umožňuje přechod do servisní obrazovky po zadání hesla a případně návrat do uživatelské úrovně. Dále je vypsáno několik případů užití, pro všechny je dostatečná uživatelská úroveň.

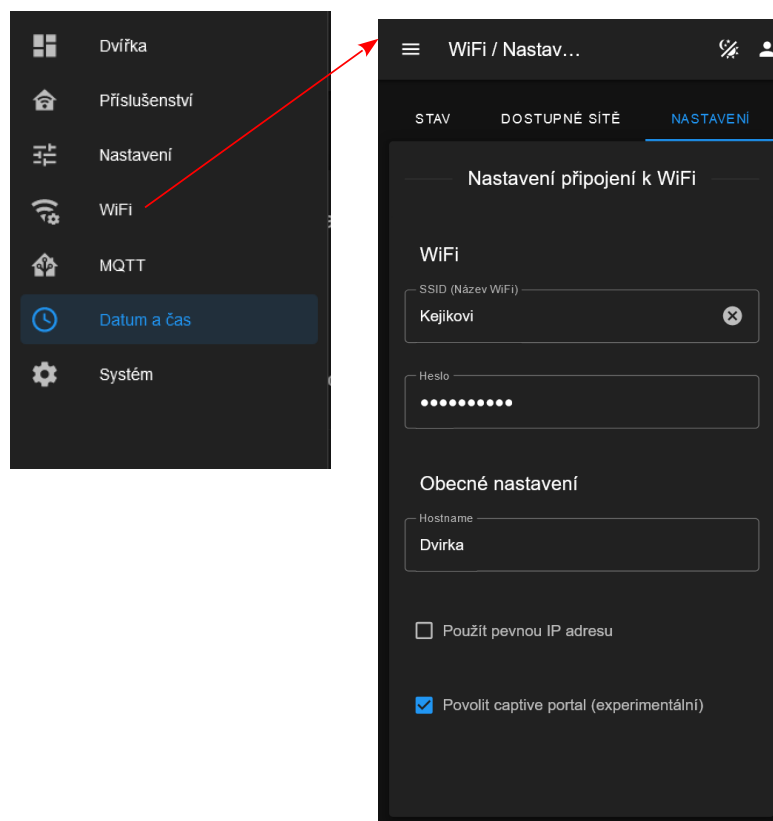


Obrázek 5.1: Hlavní menu webové aplikace.

5.1 Připojení do sítě Wi-Fi

Aby bylo možné zobrazit webové stránky, je nutné nastavit připojení k dostupné síti Wi-Fi:

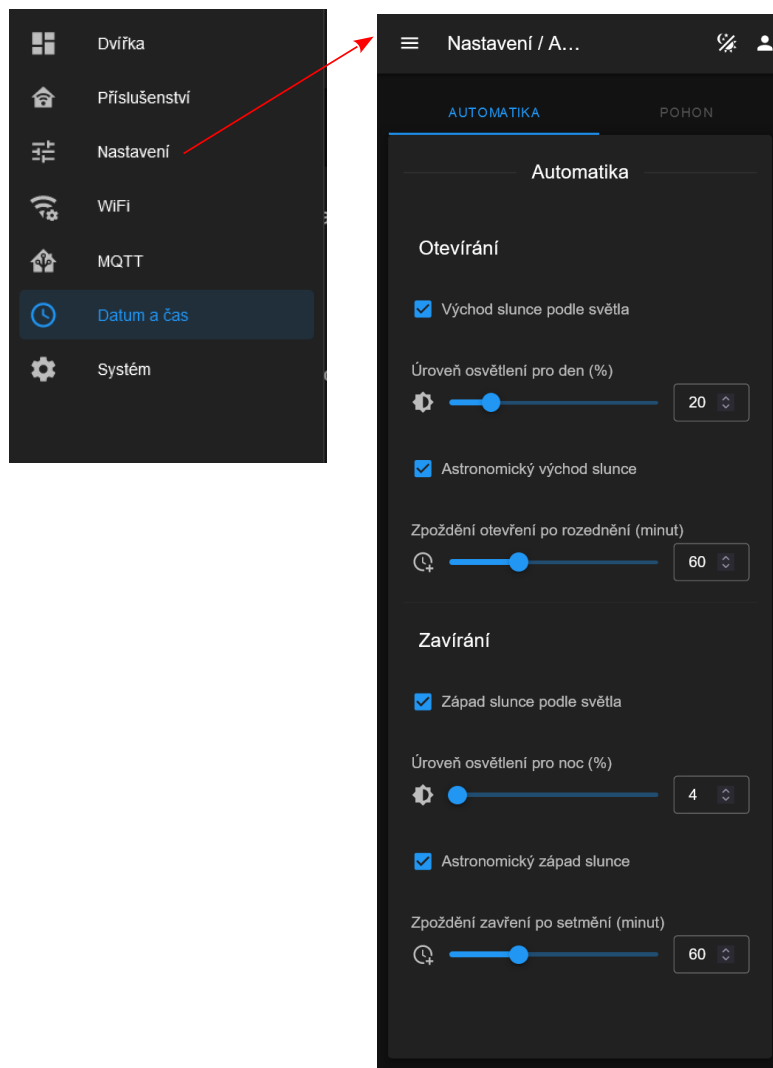
- Dlouhým stiskem tlačítka (delší než 3 sekundy) na dvířkách se aktivuje Wi-Fi rozhraní dvířek jako přístupový bod se jménem „Dvirka“. To je indikováno LED diodou trvale svítící červenou a zelenou barvou.
- Zařízením s Wi-Fi komunikací a webovým prohlížečem se připojíme do Wi-Fi sítě „Dvirka“. Aktivní připojení je indikováno LED diodou trvale svítící zeleně.
- Z webového prohlížeče se připojíme k uživatelskému rozhraní přes adresu „dvirka.local“ nebo „192.168.1.1“.
- Přepneme se do obrazovky nastavení připojení Wi-Fi (obr. 5.2). Zde můžeme zadat jméno sítě (SSID) a heslo. V záložce „Dostupné sítě“ si můžeme vybrat dostupnou síť. Stiskem tlačítka „Uložit změny“ se nastavení uloží a dvířka se pokusí připojit k nastavené síti. Detailní informace o připojení jsou zobrazeny v záložce „Stav“. Po dlouhém stisku tlačítka se ukončí režim Wi-Fi AP.



Obrázek 5.2: Obrazovka nastavení připojení k Wi-Fi.

5.2 Nastavení automatiky dvířek

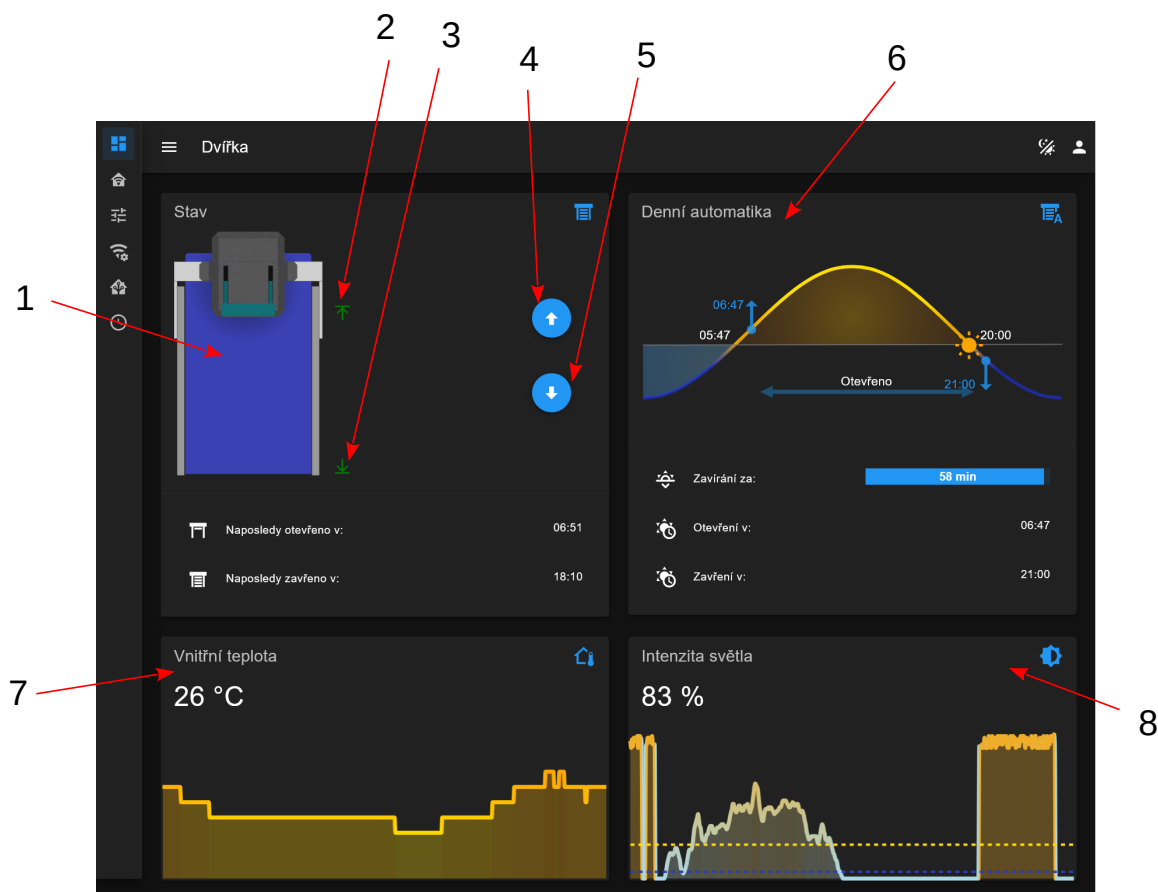
Přepneme se do obrazovky nastavení automatického otvírání a zavírání (obr. 5.3). Zavírání, resp. otvírání může být odvozeno od aktuálního astronomického času východu nebo západu slunce nebo od rozednění nebo setmění vyhodnoceného na základě úrovně okolního osvětlení. Oba dva způsoby lze kombinovat, přičemž prioritu má astronomický čas. Úroveň pro rozednění, resp. setmění je nastavitelná nezávisle a graficky je znázorněna na základní obrazovce 5.4-8. Skutečný čas otevření, resp. zavření dvířek lze dále zpozdít o nastavitelný čas. Graficky jsou časy otevření a zavření znázorněny na hlavní obrazovce v části 5.4-6.



Obrázek 5.3: Obrazovka nastavení automatiky dvířek.

5.3 Domovská obrazovka obsluhy dvířek

Na obrázku 5.4 jsou zobrazeny všechny části základní obrazovky. Zde 1 je grafické zobrazení polohy dvířek, které po kalibraci odpovídají skutečné poloze. 2, resp. 3 jsou indikátory kalibrace horního, resp. dolního dorazu. Po přivedení napájecího napětí se dvířka nachází v nezkalibrovaném stavu, kdy při prvním otvírání, resp. zavírání vyhledají horní, resp. dolní doraz. Bez kalibrace dojezd ke koncovým polohám může být tvrdší nebo naopak hledání dorazu trvá delší dobu. Po kalibraci je rozjezd i dojezd na koncové polohy přesný a pozvolný. Tlačítka 4, resp. 5 slouží pro manuální otevření, resp. zavření.



Obrázek 5.4: Domovská obrazovka obsluhy dvířek.

V části obrazovky 6 je zobrazen čas východu (rozednění) a západu (setmění) a od tohoto je odvozený čas otevření a zavření.

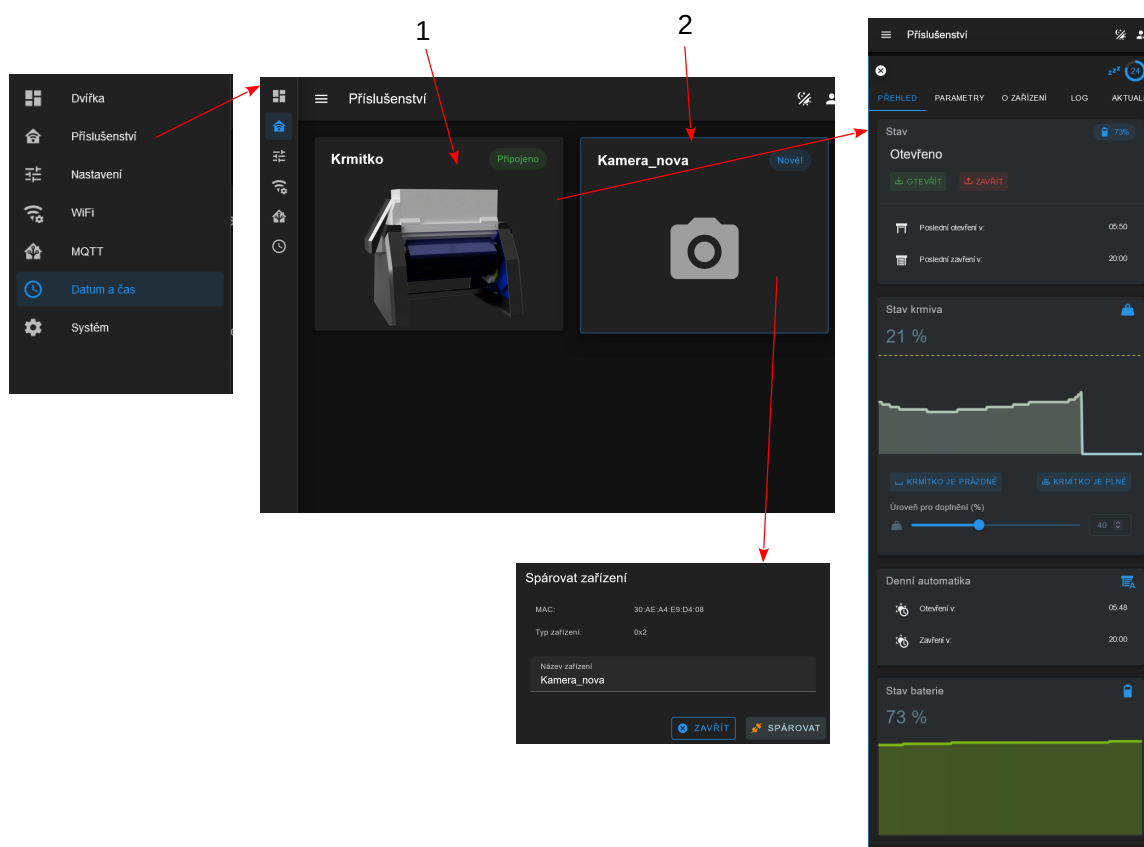
V části obrazovky 7 je zobrazena informativní teplota měřená senzorem uvnitř dvířek. V části 8 je průběh osvětlení s vyznačenými úrovněmi pro zatmění a rozednění.

5.4 Instalace příslušenství

Z hlavního menu přejdeme do obrazovky „Příslušenství“, která umožňuje výběr příslušenství. To se může nacházet ve 4 možných stavech (zobrazených v pravém horním rohu karty příslušenství):

- Nové – detekováno, není spárováno. Pro detekci je nutné stisknout tlačítko na příslušenství.
- Párování – probíhá párování.
- Neodpovídá – během tří posledních relací byl ztracen kontakt se zařízením.
- Připojeno – zařízení je aktivní nebo je v režimu spánku.

Při stisku na nové zařízení se zobrazí obrazovka pro párování (2 na obr. 5.5). Zde je možné napsat libovolný název příslušenství, je vhodné použít unikátní název zvláště v případě, kdy je zařízení více. Tlačítkem „Spárovat“ se vybrané příslušenství spáruje. Je-li zařízení spárováno zobrazí se jeho obrazovka.

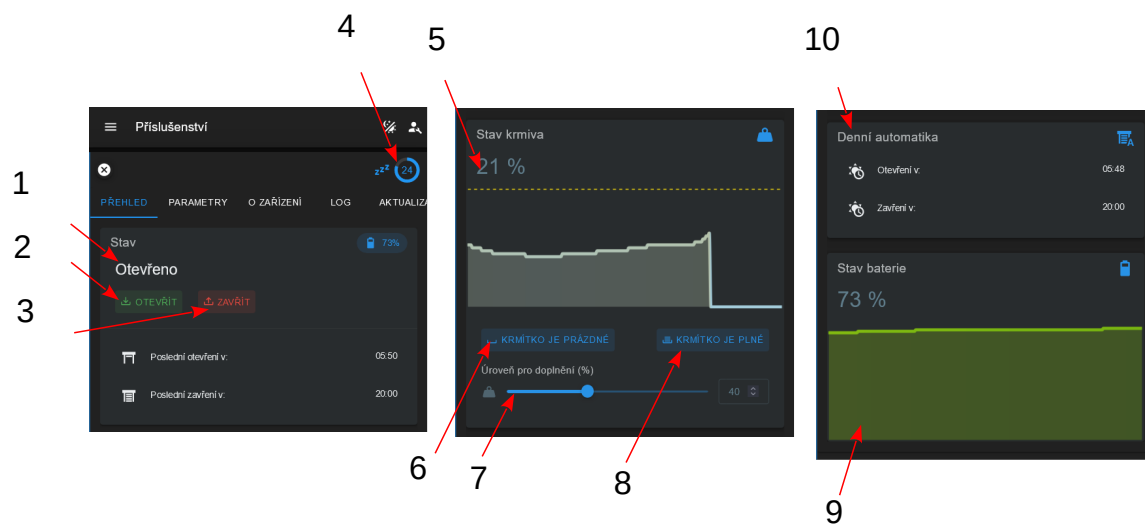


Obrázek 5.5: Obrazovka obsluhy příslušenství.

5.5 Základní obrazovka krmítka

Na obrázku 5.6 je základní obrazovka rozdělená do 3 částí. V první části je zobrazen stav a poloha krmítka. Tlačítka 2, resp. 3 je možné krmítko otevřít, resp. zavřít. Displej 4 zobrazuje zbývajcí čas do probuzení krmítka, kdy bude případný povel vykonán. V druhé části obrazovky je zobrazen stav hmotnosti nádoby s krmivem. Je to hodnota změřená v otevřeném stavu. Kalibraci hmotnosti prázdné, resp. plné nádoby krmiva lze provést stiskem tlačítek 6 („prázdné“ 0 %), resp. 8 („plné“ 100 %). Nastavením posuvníku 7 lze

vybrat při jaké úrovni dojde k automatickému doplnění nádoby, které se provede zavřením a otevřením. V třetí části obrazovky je zobrazen čas automatického otevření a zavření, který je odvozen od času východu/rozednění případně západu/setmění dvířek. Otevření, resp. zavření krmítka lze nastavitelným parametrem oproti tomuto času zpozdit nebo přispížit až o 3 hodiny. Graf 9 zobrazuje průběh stavu baterie a případně jeho dobíjení. Okamžiky dobíjení baterie jsou zvýrazněny body nad touto křivkou.

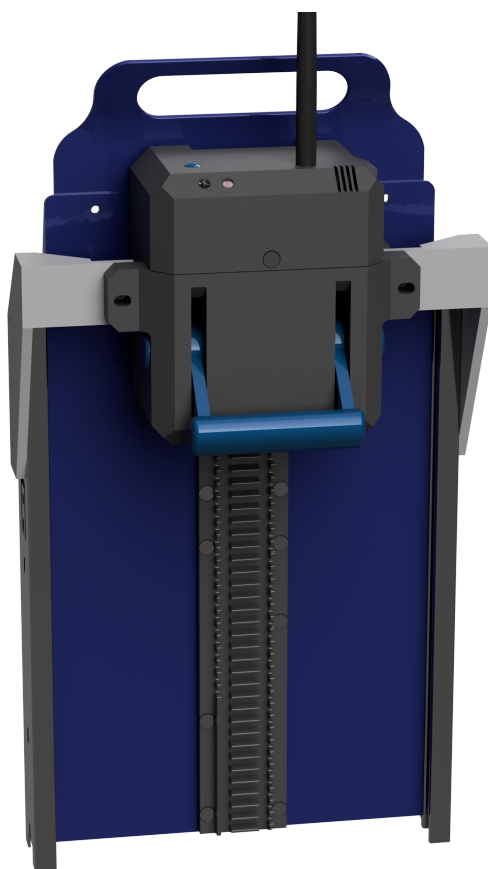


Obrázek 5.6: Základní obrazovka krmítka.

Kapitola 6

Periferie dvířka

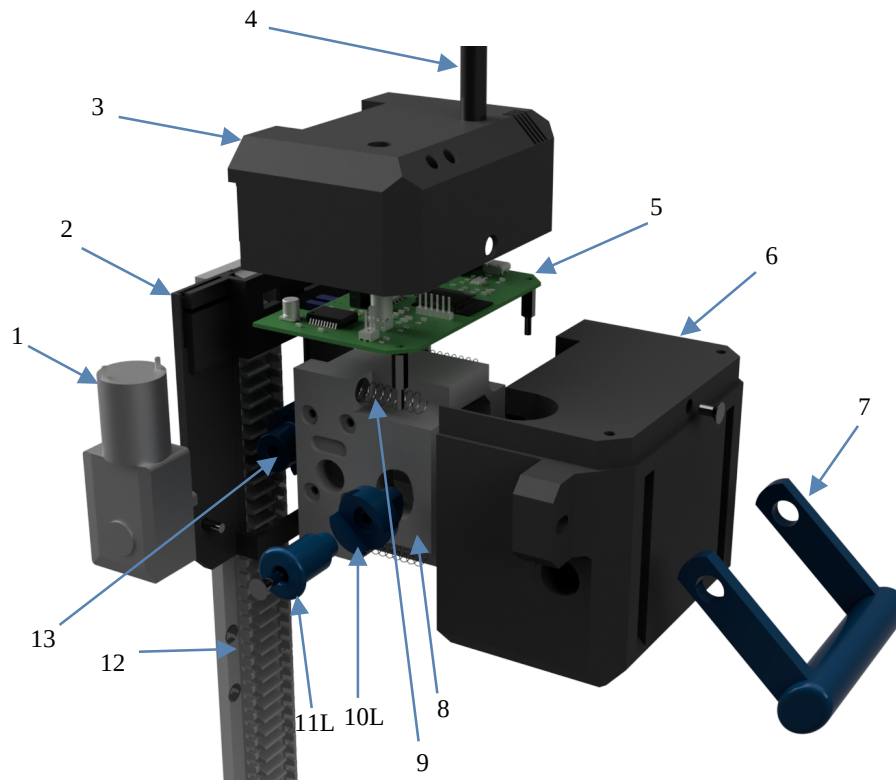
Konstrukce dvířek zahrnuje mechanickou část, jejímž základem je pohonná jednotka, která je spojená s pevnou částí například rámu dvířek. Hřeben, po němž se pohybuje ozubené kolo poháněné touto jednotkou, je upevněný k pohyblivé části dvířek. Uvnitř pohonné jednotky je umístěna elektronika řízená mikrokontrolérem. Na obrázku 6.1 je znázorněno provedení dvířek s otvorem 200×270 mm s vedením využívajícím výsuvné pojezdy.



Obrázek 6.1: Provedení dvířek s pohonem.

6.1 Popis mechanické konstrukce

Kompaktní pohonná jednotka (obr. 6.2) umožňující lineární posuv dvířek, je vyrobena 3D tiskem. Při návrhu bylo přihlíženo k možným větším tolerancím a znečištění, které lze očekávat v chovných prostorech zvířat. Pro údržbu a případné nouzové ovládání otevírání a zavírání dveří je vybavena pákou, která umožňuje komfortní manuální ovládání dvířek.



Obrázek 6.2: Rozložená pohonná jednotka dvířek.

Jako první bylo nutné zvolit vhodný typ pohonu, jelikož jeho parametry do značné míry ovlivňují mechanické i elektronické řešení dvířek. U levných dvířek dostupných na trhu se běžně používá miniaturní motor s převodovkou o vnějším průměru 32 mm a délce 24 mm. Převodovka tohoto motoru má velký převodový poměr dosažený několika stupňovými miniaturními plastovými ozubenými koly s nímž dosahuje výstupního točivého momentu 0,12 Nm [19]. Byl by tedy použitelný pro dvířka s nízkou hmotností.

Dalším posuzovaným pohonem byl typ o průměru 25 mm a délce 54 mm s točivým momentem 1,3 Nm [20]. Točivý moment by byl více než vyhovující ve většině aplikací, ale s použitým typem převodovky by mohlo docházet k samovolnému sjíždění dvířek.

Nakonec byl vybrán typ se šnekovou převodovkou s výstupním momentem 0,8 Nm [18]. I když tento motor byl více jak dvakrát dražší než předchozí dva, jeho robustní vzhled a samosvorné vlastnosti převodovky rozhodly pro jeho volbu. Parametry motoru a převodovky jsou uvedeny v tabulce 6.1.

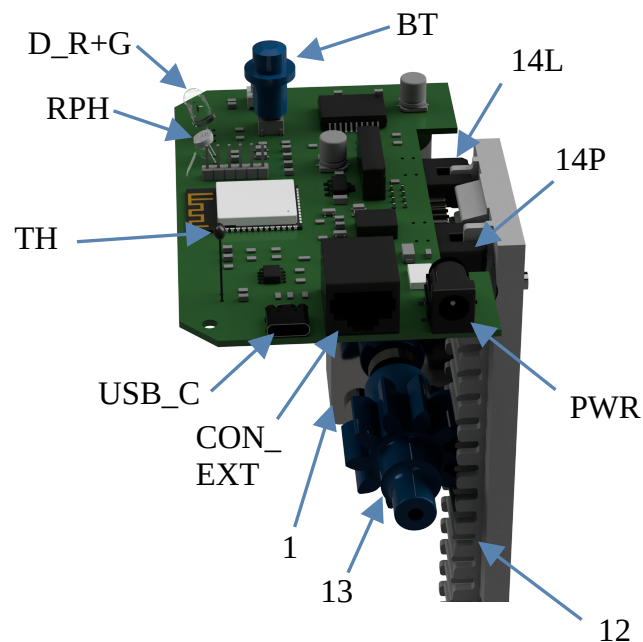
Motor s převodovkou a ozubeným kolem je sestaven s dílem 8, který je pružně vložený do dílu 6. Čtveřice pružin zajišťuje přítlak k hřebenu a kompenzuje tak různé mechanické nepřesnosti. Páka (7) je spojena s excentrickými díly (10 a 11), jejichž natočením o cca 90°

Parametr	Hodnota
Jmenovité napájecí napětí	12 V
Napájecí napětí	6 až 15 V
Volnoběžné otáčky	40 ot./min
Jmenovité otáčky	32 ot./min
Jmenovitý proudový odběr	180 mA
Jmenovitý točivý moment	2,2 kg·cm (0,21 Nm)
Točivý moment při zastavené hřídeli	8 kg·cm (0,78 Nm)
Převodový poměr	1:150

Tabulka 6.1: Technické specifikace motoru DFRobot [18].

dojde k odtažení dílu 8 s motorem a ozubeným kolem (13) od hřebenu (12). To umožňuje volně otvírat a zavírat dvířka. Elektronika řízení (5) je v horní části pohonu a je kryta víkem (3), které má na sobě otvory pro snímače, konektory a tlačítko.

Mechanismus s hřebenovým převodem je na obrázku 6.3. Hnací ozubené kolo (13) zapadá do ozubeného hřebenu, který je upevněn na pohyblivé části dvířek. Na hřebenu je dvojice zubových clonek zapadajících do světelných závor (14) umístěných na desce plošného spoje a jejich účelem je snímání polohy dvířek.



Obrázek 6.3: Detail pohonu a snímání polohy.

6.2 Elektronické obvody dvířek

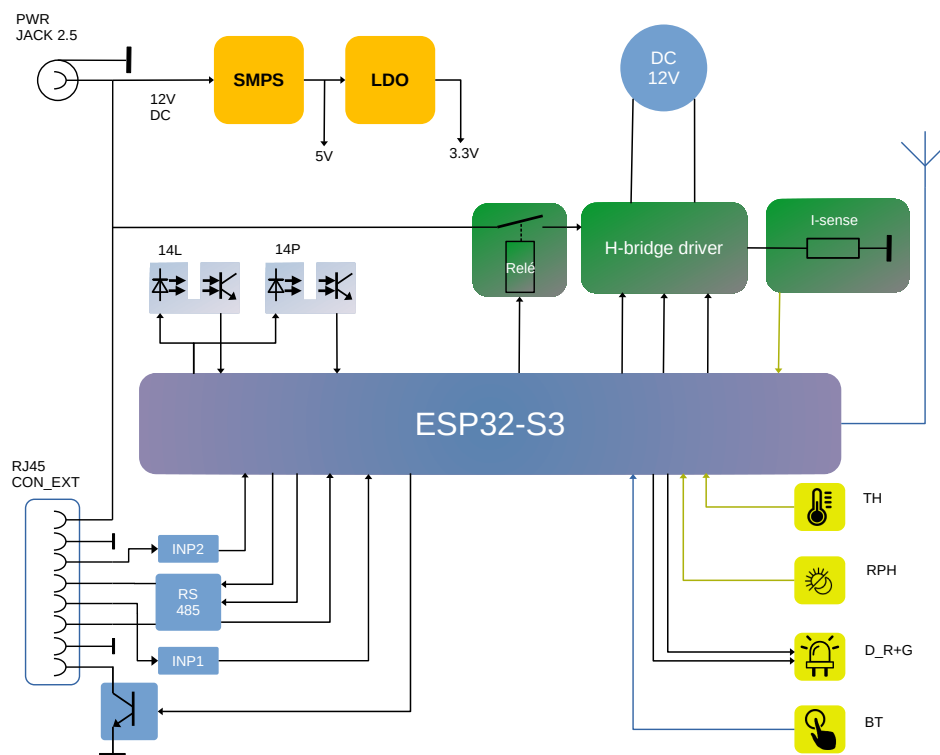
Kompletní elektronické obvody dvířek jsou realizovány na jedné dvoustranné desce plošných spojů. Deska je umístěna v horní části pohonu dvířek. Většina komponentů je SMD typu s výjimkou několika vývodových komponentů (konektory aj.).

Centrálním řídicím prvkem je procesorový modul ESP32-S3-WROOM-1U z rodiny ESP32. Modul je osazen dvoujádrovým procesorem ESP32-S3 s následujícími vlastnostmi:

- **Procesor:** Maximální taktovací frekvence 240 MHz
- **Paměti:**
 - Integrovaná ROM: 384 KB
 - Integrovaná SRAM: 512 KB
 - RTC SRAM: 16 KB
 - PSRAM: 8 MB
 - Externí FLASH: 16 MB
- **Komunikační rozhraní:**
 - Wi-Fi 2,4 GHz (802.11 b/g/n)
 - Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh
- **Periferie:**
 - Přibližně 36 GPIO pinů
 - 2 × UART, SPI, USB
 - Časovače s možností PWM, watchdog

Modul je dostupný s integrovanou Wi-Fi anténou nebo s možností připojení externí antény. Pro naše účely byl použitý model s externí anténou, která zajišťuje větší dosah, poněvadž dvířka bývají obvykle provozovány ve větší vzdálenosti od domu.

Na obrázku 6.4 je blokové schéma hardwarového řešení elektroniky dvířek a detailní popis je v příloze A.1.



Obrázek 6.4: Deska elektroniky dvířek.

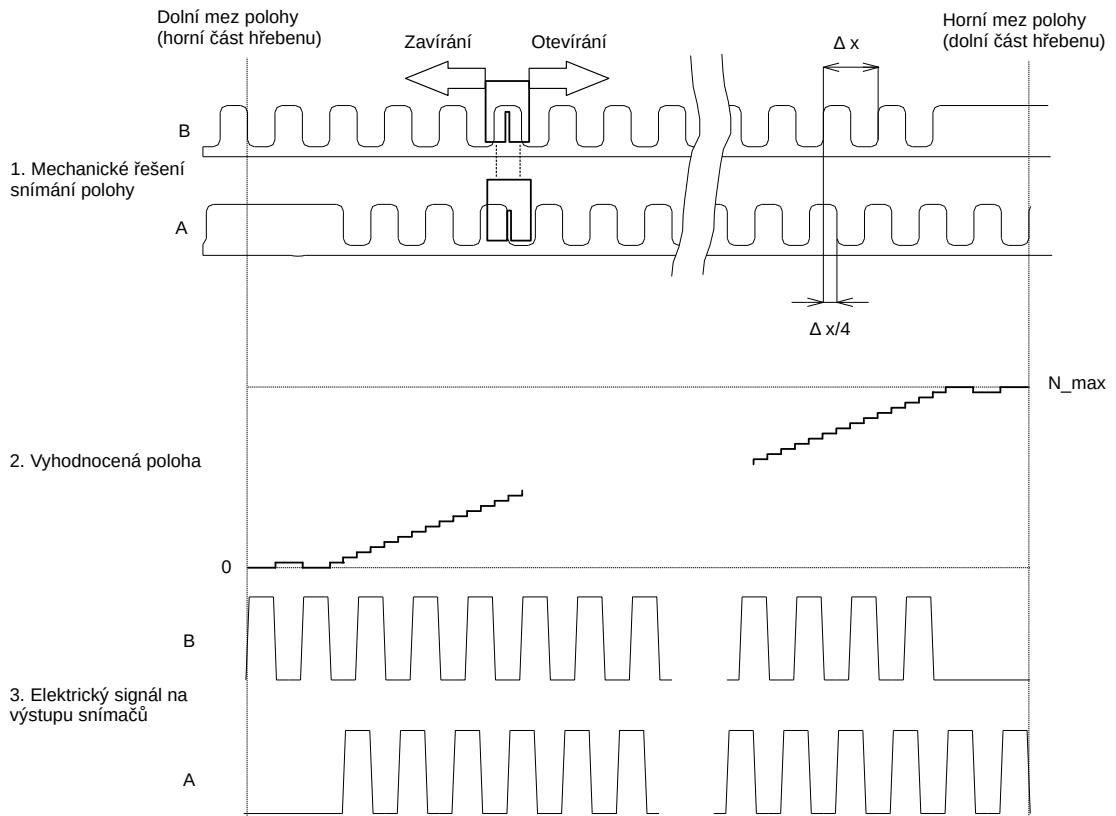
6.2.1 Ovládání motoru

Dvířka používají stejnosměrný motor viz tab. 6.1, který je připojen k integrovanému budiči s můstkovým zapojením tranzistorů DMOS. Pro řízení je použita dvojice PWM signálů, která umožňuje regulovat směr a otáčky motoru. Měření zatížení motoru je založeno na snímání proudu převedeného na napětí na sériovém odporu, kterým prochází proud motoru. Umožňuje detekovat například překážku při zavírání (případně otevírání) dvířek a vyhodnocení mechanického koncového dorazu. Napájení motoru je možné vypnout i kontaktem relé. Toto umožňuje vypnout motor i v případě selhání řízení integrovaným budičem.

6.2.2 Snímání polohy dvířek

Dvířka se většinou vyskytují v jedné ze dvou poloh, otevřená nebo zavřená, přičemž detekce těchto poloh je možná na základě mechanických dorazů a snímání proudu motoru. Pro preciznější informaci o poloze dvířek bez stresování nájezdem na mechanické dorazy, jsou dvířka vybavena snímačem polohy, pracujícím na principu dvoukanalového enkodéru. Zubové clonky po stranách hřebenového převodu a světelné závory jsou navzájem posunuty (viz obr. 6.5-1) a generují tzv. kvadraturní signál znázorněný na obr. 6.5-3. Při pohybu se vyhodnocují náběžné i sestupné hrany signálů z obou kanálů.

Koncové polohy jsou vytvořeny zaslepenými zuby na jednom z kanálů. Je-li při pohybu určitým směrem detekována nulová hodnota na určitém kanálu, přičemž na druhém kanálu proběhnou 3 změny úrovně, je toto vyhodnoceno jako koncová poloha. Průběh vyhodnocené polohy je na obr. 6.5-2.



Obrázek 6.5: Snímání polohy dvířek.

6.2.3 Napájení

Elektronika vyžaduje stejnosměrné napájecí napětí o nominální hodnotě 12 V. Z tohoto napětí je spínaným stabilizátorem (SMPS) získáváno napětí 5 V a přes lineární stabilizátor LDO typu je sníženo na napětí 3,3 V pro procesor.

6.2.4 Ostatní

Pro umožnění monitorování stavu a jednoduché ovládní je vestavěna dvoubarevná LED dioda a tlačítko. LED je přímo připojena k výstupu procesoru s možností PWM umožňující plynulé řízení jasu. Úroveň denního světla je snímána fotorezistorem, který poskytuje poměrně lineární průběh i při nízkých světelných úrovních. S dodatečným rezistorem vytváří dělič napětí, na němž je napětí měřeno analogovým vstupem procesoru. K měření teploty se využívá NTC senzor, který v sérii s dodatečným rezistorem tvoří dělič napětí. Výstupní napětí děliče je opět měřeno analogovým vstupem. Pro případné rozšíření funkcí v budoucnu jsou na desce dva dodatečné volně programovatelné vstupy, jeden tranzistorový výstup s otevřeným kolektorem a rozhraní RS485 s protokolem ModBus RTU. Tyto signály jsou dostupné na konektoru RJ45.

6.3 Firmware

Firmware mikrokontroléru je napsaný v jazyce C++ s využitím Arduino frameworku.

Mikroprocesor je vybaven několika typy pamětí, které jsou využívány softwarem k různým účelům, viz tab. 6.2.

Označení paměti	Používá	Velikost	Využito
ROM-FLASH	Vestavěný bootloader	384 KB	-
SRAM	Proměnné RW, stack, heap, části kódu (interrupt funkce)	520 KB	-
FLASH	Firmware verze x	6 MB	986 KB
	Firmware verze y	6 MB	986 KB
	Souborový systém (LittleFS) pro logy, data	2 MB	-
	Souborový systém (LittleFS) pro web oddíl NVS pro NV parametry	1.9 MB 20 KB	450 KB -
PSRAM	Heap pro rozsáhlé proměnné	8 MB	-
RTC SRAM	Deep sleep data	16 KB	-

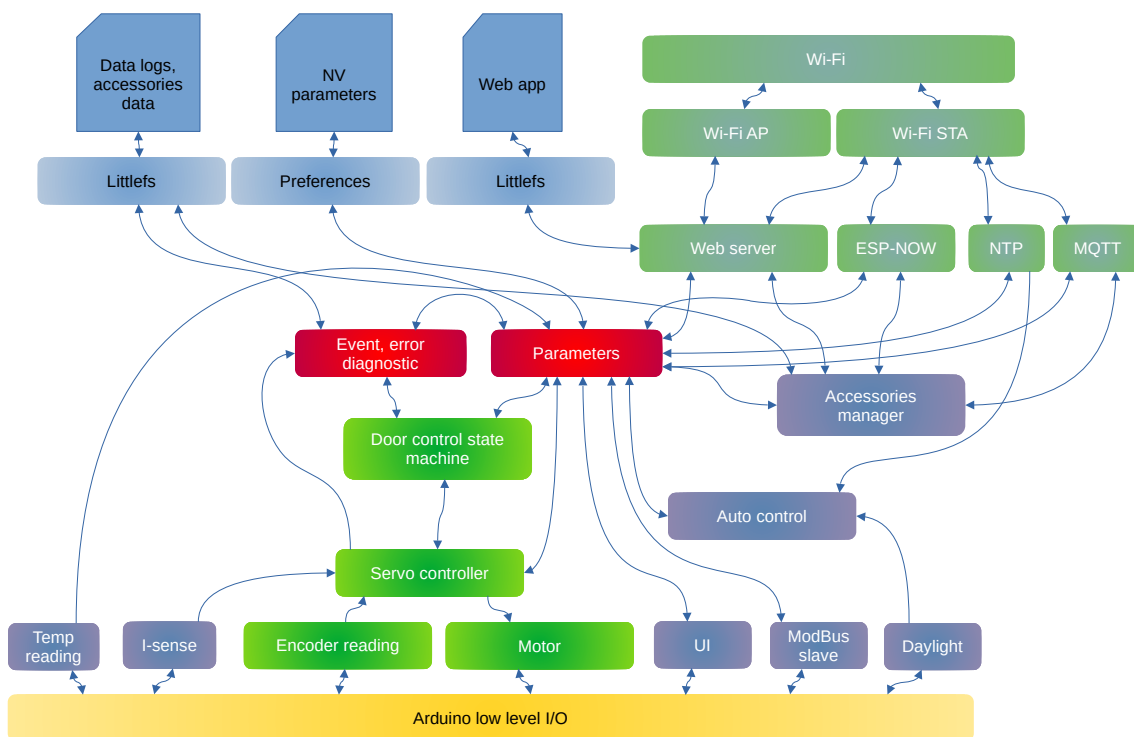
Tabulka 6.2: Přehled využití paměti procesoru dvířek.

Procesor používá preemptivní multitaskingový operační systém FreeRTOS portovaný pro tento typ dvoujádrového procesoru. Wi-Fi komunikace běží ve vysoce prioritní úloze na jednom z jader procesoru a pro firmware je využito druhé jádro.

Firmware dvířek zajišťuje následující funkce:

- řízení servopohonu polohy dvířek,
- rozhraní pro ovládání a monitorování stavu dvířek,
- rozhraní pro tzv. příslušenství, to je jejich připojení, ovládání a monitorování,
- doplňkové funkce měření teploty, volně definovatelné digitální vstupy a výstup,
- automatické řízení dvířek, případně příslušenství.

Architektura firmwaru dvířek je znázorněna na obr. 6.6.



Obrázek 6.6: Softwarová architektura dvířek.

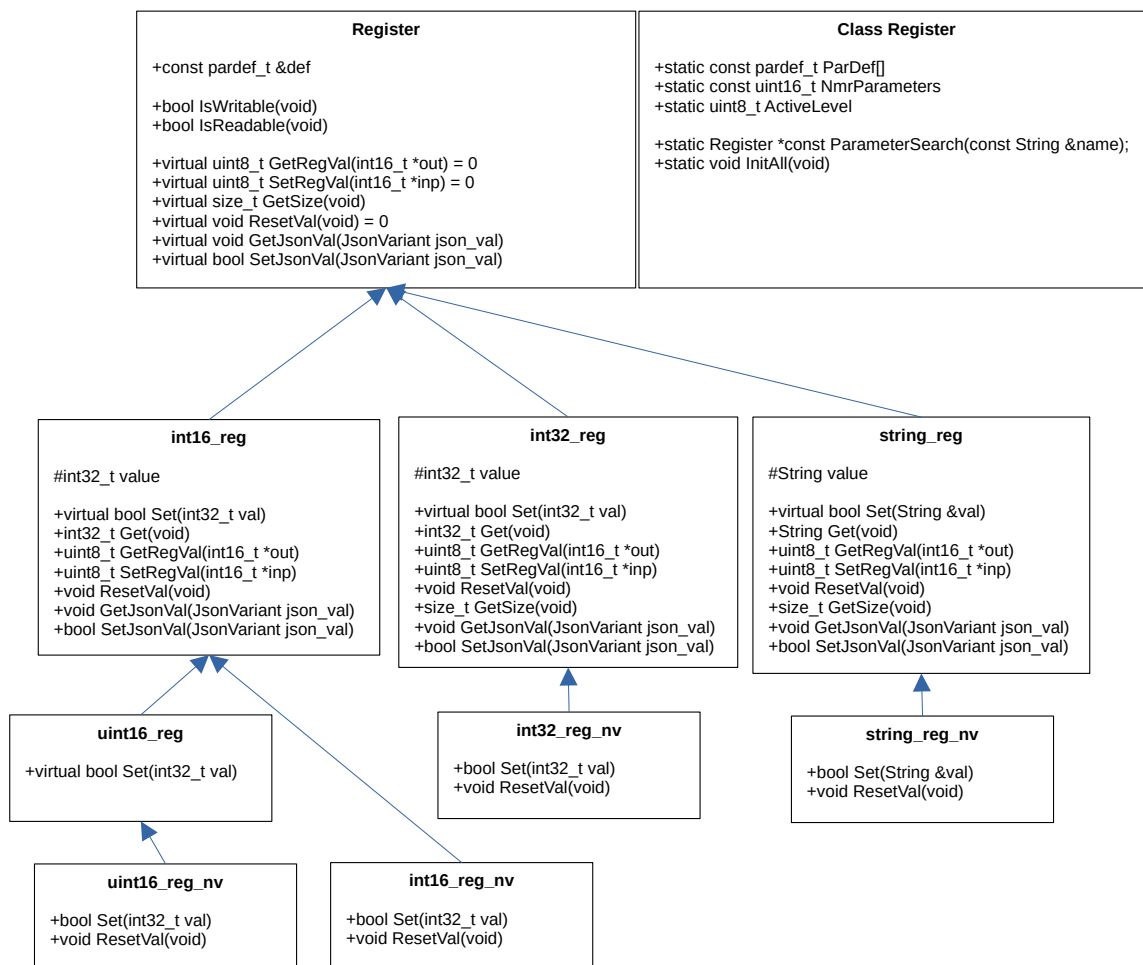
6.3.1 Parametry

Parametry jsou objekty, které zapouzdřují systémové proměnné různých typů, sdílené a využívané většinou bloků. Používají se pro uchování konfiguračních hodnot, stavů a pro zadávání povelů. Pro externí přístup přes některý typ implementovaného komunikačního rozhraní mají definovány typ přístupu (RO, RW, WO), přístupové úrovně pro zápis a rozsah přípustných hodnot. Všechny parametry jsou odvozeny od báze třídy `Register`. Tato třída udržuje konstantní statické pole definic parametrů obsahující číslo registru, meze, datový typ, typ paměti, přístupovou úroveň, výchozí hodnoty a atribut pro specifické chování parametrů. Definice parametrů je v kódu provedena jako makro tabulka v header souboru, ze které jsou při kompilaci vytvářeny instance parametrů příslušného typu a inicializovány konstantní statické hodnoty třídy.

Na obr. 6.7 je znázorněna dědičnost parametrů základních typů. Parametry se sufixem „_nv“ jsou ukládány do nonvolatilní paměti modulem „Preferences“, v případě použitého procesoru je to paměť typu flash do oddílu NVS. Proto je nutné počítat s omezeným počtem zápisů, který se provádí jen při změně hodnoty, aby nedošlo k opotřebení paměti.

Je možné definovat i další odvozené typy parametrů. Ve stávajícím firmwaru je např. od parametru typu `string_reg` (`string_reg_nv`) odvozen typ `ipv4_reg` (`ipv4_reg_nv`) nebo `time_reg` (`time_reg_nv`) a další.

Pro interní přístup k hodnotě parametrů se používají metody `Get` a `Set`, pro externí přístup například ModBus a ESP-NOW jsou určeny metody `GetRegVal` a `SetRegVal`, které umožňují 16bitový přístup parametru přes jeho adresu registru. Parametry s velikostí větší jak 16 bitů mají více po sobě jdoucích adres. Pro přístup například přes HTTP a MQTT se používá čtení a zápis přes JSON objekty, k čemuž slouží metody `GetJsonVal` a `SetJsonVal`.



Obrázek 6.7: Diagram dědičnosti parametrů.

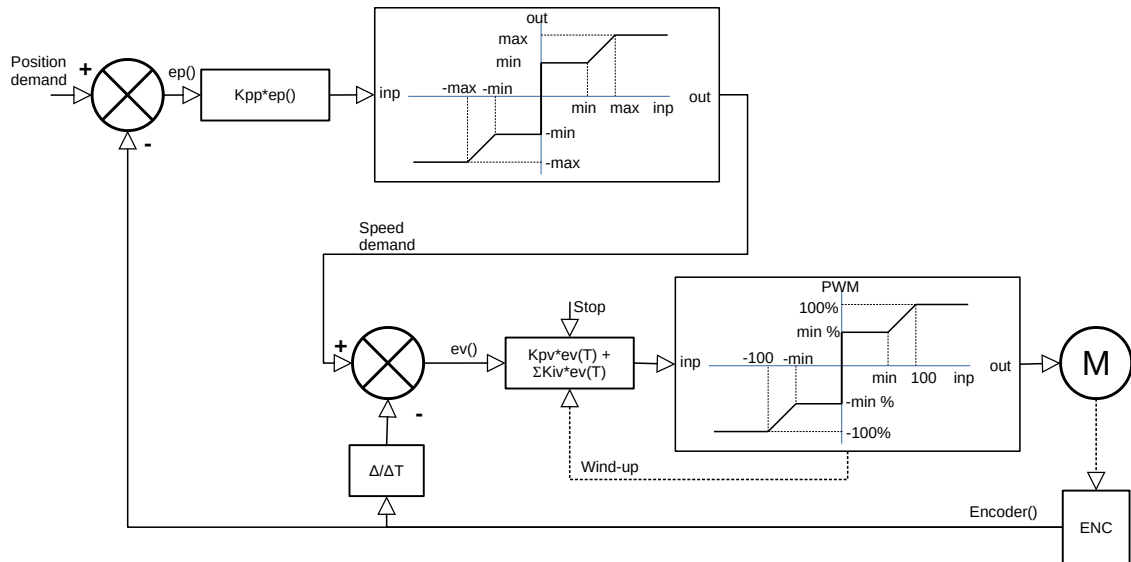
Přístup k parametrům je synchronizován pomocí mutexů či atomických proměnných, aby se předešlo „race condition“ kolizím a dalším problémům spojeným s paralelním přístupem k datům.

6.3.2 Servopohon

Servopohon je základní úloha běžící s periodou 10 ms, ve kterém se řídí poloha dvířek. Pro snímání polohy dvířek je použit enkodér tvořený dvěma fázově posunutými kanály. Použitý procesor nemá periferii pro čtení tohoto typu snímače, snímání je proto uděláno softwarově v přerušení od časovače s periodou 4 ms, která pro předpokládanou maximální výstupní frekvenci 50 Hz je dostatečná. Enkodér umožňuje detekci krajních poloh (viz obr. 6.5). Mechanické koncové dorazy jsou za koncovými dorazy enkodéru a jsou vyhodnocovány na základě měřené velikosti proudu motoru. Motor je řízen PWM signálem umožňujícím plynulé řízení rychlosti v obou směrech.

Řídicí algoritmus využívá dvojici regulátorů, jak je zobrazeno na obr. 6.8. První řídí požadovanou rychlost na základě rozdílu mezi požadovanou a skutečnou polohou regulátorem typu P. To znamená, že blíží-li se k požadované poloze, tak se rychlost snižuje. Výstup, to je požadovaná rychlost, se přivádí do dalšího regulátoru typu PI, který řídí PWM do motoru,

aby rychlost vyhodnocená ze signálu enkodéru odpovídala požadované rychlosti. Pro konfiguraci regulace servopohonu jsou parametry minimální a maximální rychlost, minimální PWM výstup, P, I konstanty regulátoru rychlosti a P konstanta regulátoru polohy.

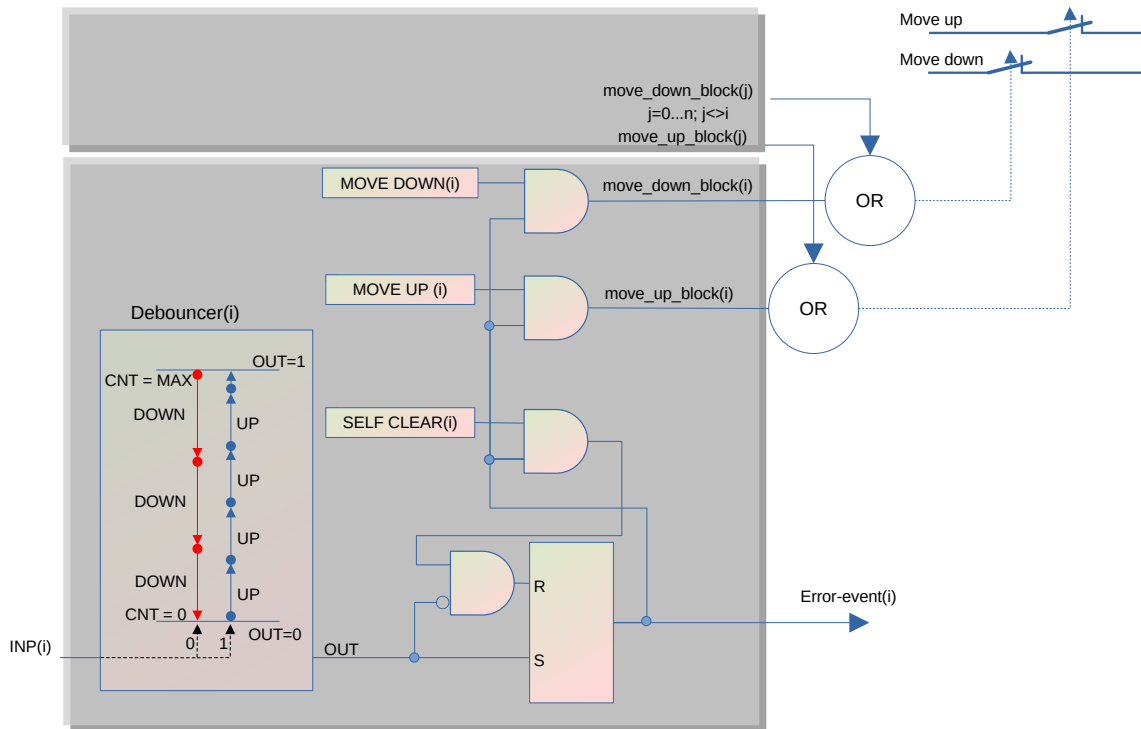


Obrázek 6.8: Schéma regulátoru polohy.

Snímání velikosti proudu je základní bezpečnostní prvek použitý při ochraně před nežádoucími sevřeními dvířky a také k již zmíněné detekci dorazu. Proudový limit pro otevírání a zavírání je definován vlastním parametrem. Při permanentním překročení limitu po dobu 500 ms nebo při překročení 1,7násobku tohoto limitu po dobu 30 ms je motor zastaven.

6.3.3 Diagnostika a generování událostí

Diagnostika je v softwarové architektuře soustředěna v modulu „Event, error diagnostic“. Jednotlivé diagnostické instance jsou definovány opět makro tabulkou v header souboru `error_table.h`. Pro každou instanci se definují konstanty „UP“ a „DOWN“ debounceru. Debouncer obsahuje čítač, který je při aktivním vstupu zvětšen o „UP“ kroků a při neaktivním snížen o „DOWN“ kroků. Při překročení maximální hodnoty (výchozí hodnota je 100) je nastaven výstup a je generována chyba. Při snížení hodnoty čítače pod nulu je výstup nulován, ale chyba je nulována jen pokud má definovanou funkci „SELF CLEAR“. Pro každou instanci jsou také definovány blokační funkce. V našem případě jsou to „MOVE UP“ a „MOVE DOWN“ pro blokování pohybu motoru nahoru a dolů, je-li instance v chybovém stavu. Blokační funkce všech instancí se sčítají.



Obrázek 6.9: Diagnostika a generování událostí.

6.3.4 Stavový automat dvířek

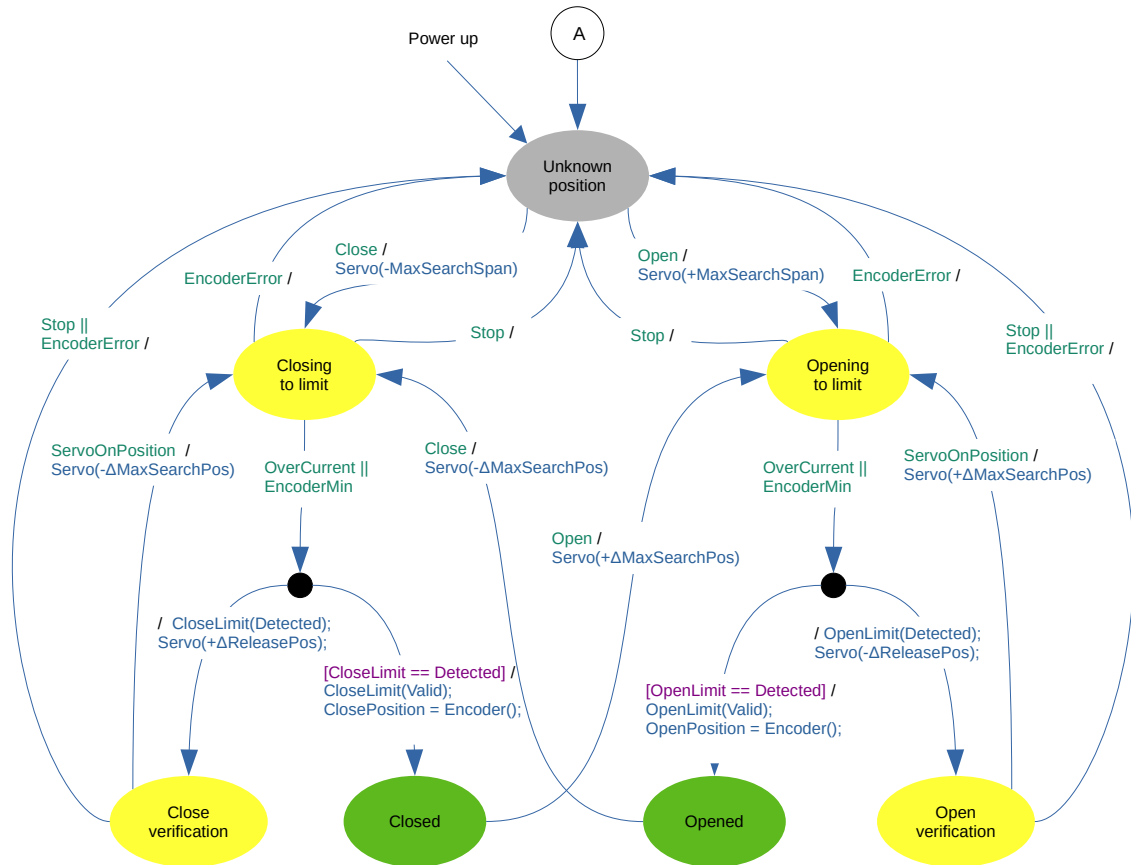
Stavový automat Mealyho typu je implementován formou dvourozměrného pole, kdy jeden rozměr představuje aktuální stav a druhý definuje pro každou událost (viz tab. 6.3) funkci zpracování události. Grafické znázornění stavového automatu je pro přehlednost rozděleno do dvou diagramů, z nichž první (obr. 6.10) popisuje nezkalibrovaný stav, kdy nebyly ověřeny polohy dorazů a poloha dvířek, a druhý jsou-li zmíněné polohy známy (obr. 6.11). V obou stavových automatech jsou zpracovávány události uvedené v tabulce 6.3.

Událost	Význam
Stop	Povel zastavit
Open	Povel otevřít
Close	Povel zavřít
OverCurrent	Detekováno překročení proudu motoru
ServoOnPosition	Dosaženo požadované polohy
EncoderMax, EncoderMin	Dosaženo koncové polohy enkodéru
EncoderError	Chybný signál z enkodéru
TimeExpired	Vypršení časovače

Tabulka 6.3: Události zpracovávané ve stavovém automatu dvířek.

Stavový přechod je popsán následujícím zápisem:

[Podmínka] Událost / Akce



Obrázek 6.10: Stavový diagram kalibrace polohy.

6.3.5 Automatické ovládání dvířek

Pro generování povelů pro otevření, resp. zavření dvířek lze použít úroveň osvětlení nebo čas východu, resp. západu slunce, případně jejich kombinace a časem zpoždění reakcí na tyto události.

Pro stanovení východu, resp. západu slunce se používá astronomický čas východu a západu slunce vypočítaný z aktuálního data a zeměpisných souřadnic hlavního města dané země. Aktuální datum a čas se získává z NTP serveru, který synchronizuje v periodických intervalech udržovaný čas a datum. Pokud je astronomický čas východu, resp. západu dostupný a je povolen, tak k otevření dojde v

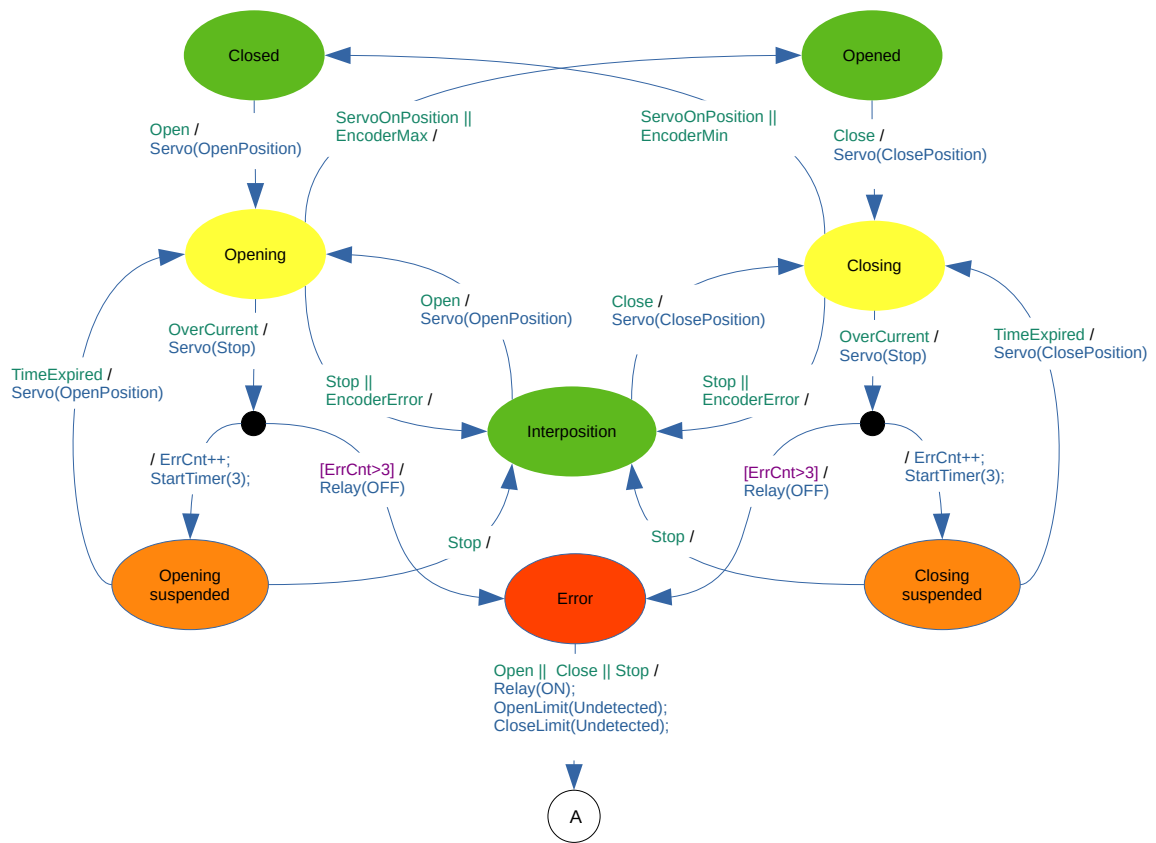
$$\text{cas_otevreni} = \text{Par}(\text{AstroVychod}) + \text{Par}(\text{ZpozdeniOtevreni}) \quad (6.1)$$

pro zavření

$$\text{cas_zavreni} = \text{Par}(\text{AstroZapad}) + \text{Par}(\text{ZpozdeniZavreni}) \quad (6.2)$$

Není-li dostupný nebo povolen astronomický čas, tak může být použit čas na základě úrovně osvětlení. Čas pro otevření na základě úrovně osvětlení

$$\text{cas_otevreni} = \text{Par}(\text{CasRozedneni}) + \text{Par}(\text{ZpozdeniOtevreni}) \quad (6.3)$$



Obrázek 6.11: Stavový diagram po kalibraci.

a čas východu určený dle úrovně osvětlení ($\text{Par}(\text{CasRozedneni})$) je čas, kdy úroveň osvětlení

$$\text{Par}(\text{Osvetleni_proc}) > \text{Par}(\text{OsvetleniDen}) \text{ po dobu } \text{Par}(\text{CasDetekceSvetla}) \quad (6.4)$$

Obdobně pro čas zavření

$$\text{cas_zavreni} = \text{Par}(\text{CasZatmeni}) + \text{Par}(\text{ZpozdeniZavreni}) \quad (6.5)$$

a čas zatmění určený dle úrovně osvětlení ($\text{Par}(\text{CasZatmeni})$) je čas, kdy úroveň osvětlení:

$$\text{Par}(\text{Osvetleni_proc}) < \text{Par}(\text{OsvetleniNoc}) \text{ po dobu } \text{Par}(\text{CasDetekceSvetla}) \quad (6.6)$$

6.3.6 Logování

Za účelem zaznamenávání logů a sledování událostí v systému byla implementována třída, která umožňuje zaznamenávat text, čas a úroveň události a ukládat je do souborového systému. Využívá dva logovací soubory, přičemž udržuje informaci o aktuálně zapisovaném souboru a přepíná mezi nimi, jakmile je dosaženo definovaného limitu počtu záznamů.

Pro zaznamenání logu slouží metoda, která přidá logovací data do FreeRTOS fronty, odkud si to pak jiná dedikovaná úloha s nízkou prioritou vybere, zpracuje a uloží do souboru. Díky tomu lze tuto logovací funkcionalitu používat i v kritických částech kódu, kde je nežádoucí provádět dlouhotrvající operace.

6.3.7 ModBus slave

Pro účely připojení externího displeje nebo PC pro diagnostiku a ovládání dvířek je v softwaru implementován ModBus RTU stack. Je to průmyslový komunikační protokol, zde po sériové komunikační sběrnici a je definován modbus.org organizací. Komunikace je řízena masterem, který posílá dotazy a slave na ně odpovídá. Implementovány jsou pouze příkazy pro čtení a zápis tzv. HR registrů a jedná se o funkční kódy 3, 6 a 16.

Data v komunikačním rámci jsou přenášena v binárním tvaru. Začátek a konec rámce je definován dobou klidu komunikace, která je větší jak 3,5 doby bytu, minimálně alespoň 1,75 ms. Povolená mezibytová mezera v rámci je maximálně 1,5 bytu (doporučená 0,75 ms). Slave odpovídá na dotaz masteru, v případě že dotaz byl vykonán, odpovídá definovanou pro daný příkaz a pokud ne, tak vrací tzv. výjimku.

6.3.8 Tlačítko a indikace LED

Tlačítko umožňuje manuální otevírání a zavírání dvířek. Pokud jsou dvířka v zavřené poloze, tak se krátkým stiskem tlačítka začnou otevírat, pokud se dvířka otevírají nebo zavírají, tak se zastaví a jinak se začnou zavírat. Dlouhý stisk delší jak 3 sekundy zapíná Wi-Fi access point.

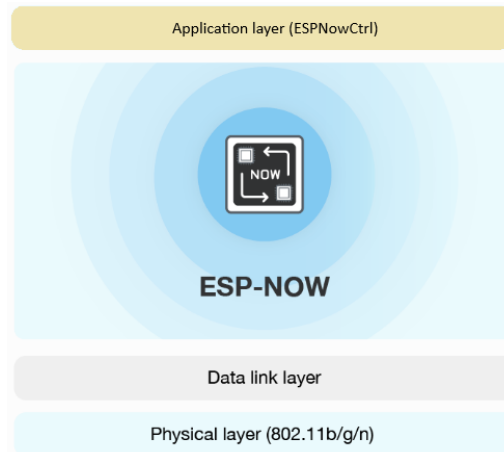
Dvojbarevná LED slouží k jednoduché indikaci stavů dle tabulky 6.4.

Stav	Stav LED
Otevírání nebo zavírání	Rychlé blikání zelené LED
Otevírání nebo zavírání na doraz	Rychlé blikání zelené s krátkým bliknutím červené LED
Neznámá poloha	Současné blikání červené a zelené LED
Chyba	Trvale svítící červená LED
Zastaveno v mezipoloze	Pomalé blikání zelené LED
Zavřená a otevřená poloha	Nesvítí
Access point aktivní bez spojení	Trvale svítící zelená a červená LED
Access point aktivní s připojeným zařízením	Trvale svítící zelená LED

Tabulka 6.4: Indikace stavů dvířek pomocí LED.

6.3.9 ESP-NOW

Pro bezdrátovou komunikaci mezi komponenty je použita komunikace ESP-NOW, která je navržena a podporována pro procesory rodiny ESP. ISO/OSI model je na obrázku 6.12. Komunikace používá fyzickou vrstvu Wi-Fi a může koexistovat s touto komunikací.



Obrázek 6.12: ESP-NOW ISO/OSI model, převzato a upraveno z [27].

Vrstva ESP-NOW zajišťuje inicializaci komunikace, odesílání a příjem zpráv a správu připojených zařízení (peers). Pro identifikaci jednotlivých zařízení je použit 48-bitový identifikátor to je tzv. MAC adresa.

Aby zařízení mohla mezi sebou komunikovat, musí obě strany – jak přijímací, tak vysílací – vysílat na stejném Wi-Fi kanálu. Pokud je některé ze zařízení připojeno k externí Wi-Fi síti, pak všechna zařízení musí používat stejný kanál, na kterém operuje připojený Wi-Fi router. Jakákoli změna kanálu routerem, či přepojení zařízení na jinou Wi-Fi síť, způsobí přerušování komunikace.

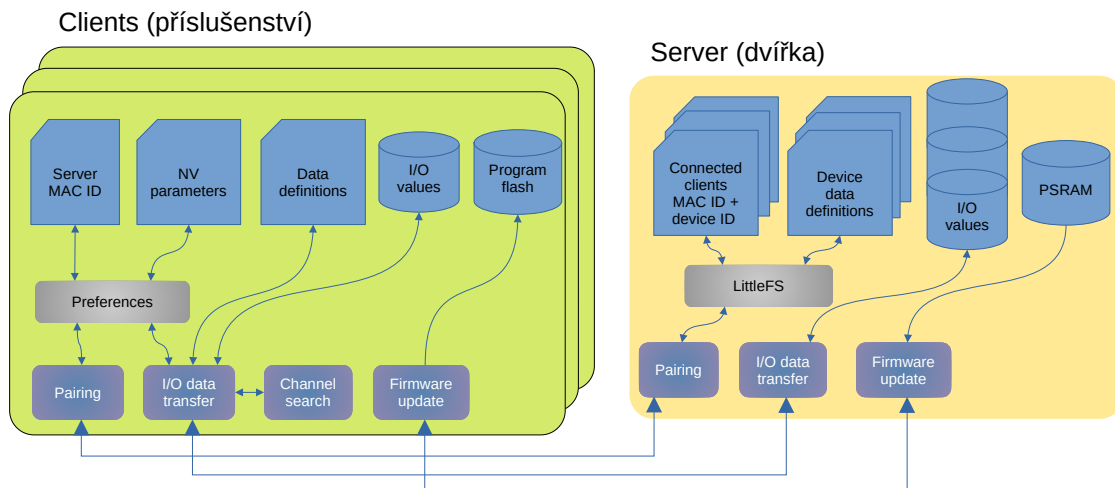
Management připojení a správy přenosu dat je implementován v aplikační vrstvě, která je v projektu tvořena třídou `ESPNowCtrl`, která je navržena tak, aby byla použitelná s různými typy zařízení bez pevně stanovených rolí.

Popis komunikace

Pro komunikaci mezi komponenty je použita komunikace typu klient-server. Roli serveru realizují dvířka a klientem je tzv. příslušenství. Klient aktivuje komunikaci a přenosy dat mezi daným klientem a serverem. Server má rozhraní ESP-NOW permanentně aktivní a klient je po většinu času ve spánku, kdy je radiové rozhraní vypnuto, periodicky se probouzí, aktivuje komunikaci a provede požadované přenosy dat a pak zase přejde do spánku. K probuzení může také dojít manuálním stiskem tlačítka na příslušenství. V minimálním případě, pokud nejsou vyžadované žádné časově náročné operace, se odešlou pouze stavové informace. Popsaná topologie implementované sítě je zobrazena na obr. 6.13

Základním prvkem komunikace je struktura `Message`. Ta slouží jako univerzální obal pro všechny přenášené zprávy. Struktura (viz tab. 6.5) definuje hlavičku datového bloku a bytové pole binárních hodnot, tzv. payload. Maximální velikost zprávy odesílané přes ESP-NOW je 250 bytů, přičemž struktura ponechává část bytů nevyužitou pro případné rozšíření hlavičky o další položky. Tato struktura je pak pro přenos dat interně doplněna dalšími informacemi.

Díky tomu, že ESP-NOW využívá management rámce Wi-Fi s přidanou kontrolní sekcí rámce, mají tyto rámce vlastnost „vše nebo nic“ a tedy přenášená struktura `Message` nemusí obsahovat CRC. Doručení unicastové zprávy je interně potvrzováno vrstvou ESP-NOW, včetně opakovaného vysílání při selhání doručení.



Obrázek 6.13: Topologie implementované ESP-NOW sítě.

1 byte	1 byte	0-240 bytů
Typ zprávy	Počet bytů payloadu	Payload

Tabulka 6.5: Struktura zprávy aplikační vrstvy komunikace ESP-NOW.

Odesílání zpráv je v třídě `ESPNowCtrl` implementováno jako synchronní operace, kdy se po každém odeslání čeká ve FreeRTOS frontě na výsledek doručení. Na základě tohoto výsledku se rozhoduje o dalších krocích. Před odesláním každé zprávy lze navíc specifikovat počet pokusů o doručení. Detailní popis jednotlivých typů zpráv je uveden v tabulce 6.6. Některé z implementovaných typů zpráv nebyly nakonec použity.

Server pro každého připojeného klienta vytváří jednu instanci třídy `Device`, která udržuje informace o stavu klienta a zároveň umožňuje přístup k přenášeným I/O hodnotám (parametry). Třída zahrnuje:

- MAC adresu – pro identifikaci zařízení v síti ESP-NOW.
- Stav párování – určuje fázi párování zařízení.
- Typ zařízení – číselný identifikátor typu zařízení.
- Definice I/O hodnot – minimální, maximální a výchozí hodnoty, datový typ, textový a číselný identifikátor.
- I/O hodnoty (parametry) zařízení – hodnoty jsou uloženy v instancích třídy `Register` obdobně jako parametry dvířek.
- Logy – ke každému zařízení se uchovává posledních max. 50 logů obsahujících časovou značku, popis události a typ.

Typ zprávy	Popis
MSG_NACK	Negativní potvrzení, oznamuje selhání při přijetí nebo zpracování zprávy.
MSG_ACK	Pozitivní potvrzení přijetí zprávy.
MSG_TRANSMIT_DONE	Potvrzení dokončení přenosu dat. Tato zpráva se používá k signalizaci, že odesílající zařízení úspěšně dokončilo přenos dat a nyní čeká na potvrzení přijetí nebo na další instrukce.
MSG_PAIR_REQUEST, MSG_PAIR_RESPONSE	Žádost o spárování zařízení a odpověď na tuto žádost.
MSG_DISCOVERY	Zpráva pro zjištění přítomnosti jiných zařízení v síti.
MSG_READ_PARAM_REQUEST, MSG_READ_PARAM_RESPONSE	Žádost o čtení parametrů zařízení a odpověď s požadovanými daty.
MSG_WRITE_PARAM_REQUEST, MSG_WRITE_PARAM_RESPONSE	Žádost o zápis parametrů zařízení a potvrzení o úspěšném zápisu.
MSG_GET_PARAM_DEFS_REQUEST, MSG_GET_PARAM_DEFS_RESPONSE	Žádost o definice parametrů zařízení a odpověď obsahující tyto definice.
MSG_FW_UPDATE_REQUEST, MSG_FW_UPDATE_RESPONSE	Žádost o aktualizaci firmwaru a odpověď obsahující data firmwaru.
MSG_GET_LOG_REQUEST, MSG_GET_LOG_RESPONSE	Žádost o záznamy logů a odpověď obsahující požadované logy.
MSG_TIME_SYNC_REQUEST, MSG_TIME_SYNC_RESPONSE	Žádost o synchronizaci času a odpověď obsahující informace o aktuálním čase.
MSG_SLEEP	Zpráva kterou zařízení oznamuje, že přechází do režimu spánku po určitou dobu.
MSG_BYTE_STREAM	Přenos bytového streamu, obvykle pro přenos velkých datových objemů (například snímků z kamery).

Tabulka 6.6: Implementované typy zpráv v síti ESP-NOW.

Instalace příslušenství

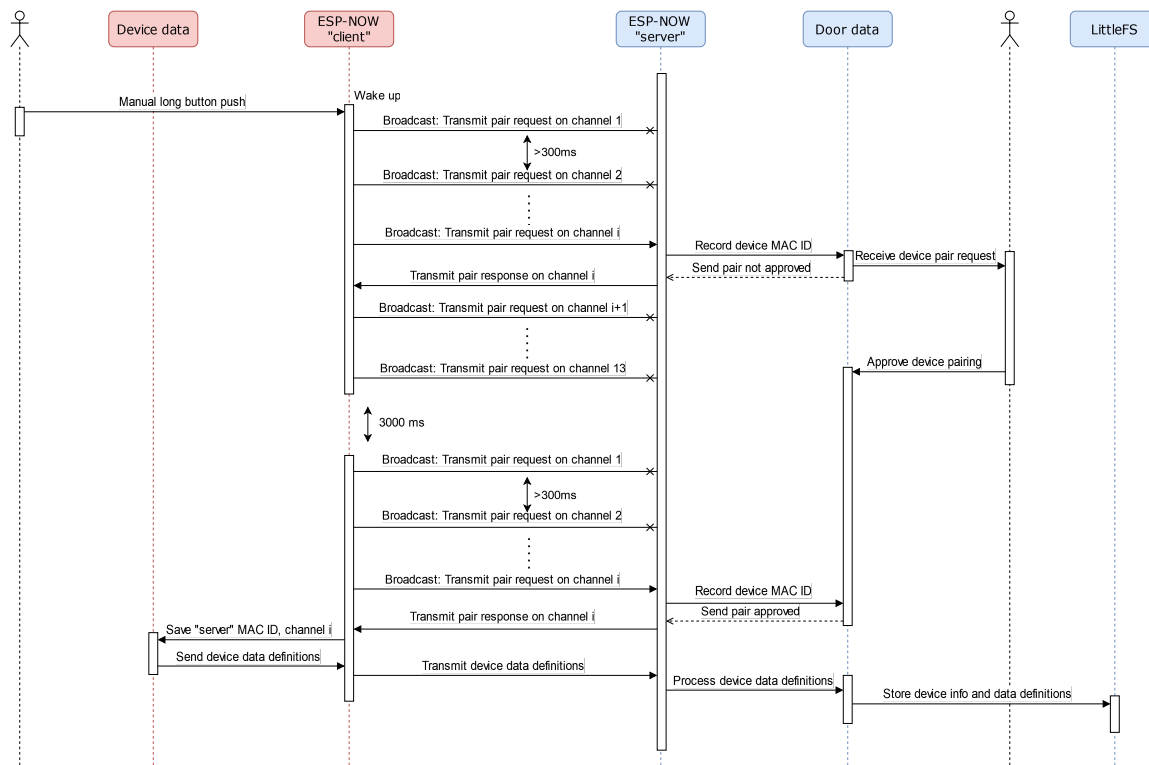
Pro instalaci je nutné provést tzv. párování dvířek s daným příslušenstvím. Instalace je možná s využitím webového rozhraní dvířek. Párování se aktivuje stiskem tlačítka na párovaném zařízení, to začne periodicky vysílat párovací požadavek (broadcast požadavek) na všech kanálech. Server (dvířka) je nastaven tak, aby kontinuálně naslouchal příchozím žádostem o párování.

Server zobrazí zařízení žádající o spárování ve webovém rozhraní, kde je možné zařízení vybrat a spárovat, tím dojde k odeslání zprávy „pair approved“.

Párovací proces na straně příslušenství končí buď po vypršení časového limitu pro párování nebo když obdrží zprávu „pair approved“.

Při párování si příslušenství uloží MAC adresu a Wi-Fi kanál dvířek. Poté postupně odešle definice všech svých I/O parametrů, které se mezi komponenty komunikují. Jakmile dvířka obdrží tyto definice, dynamicky vytvoří instance pro tyto parametry a definice spolu

s dalšími atributy příslušenství uloží do JSON souboru v souborovém systému. Sekvence párování je zobrazena na obr. 6.14.



Obrázek 6.14: Párování příslušenství pomocí ESP-NOW.

Zrušení párování je možné aktivací párování tlačítkem na straně příslušenství nebo ze strany dveří odesláním zprávy „pair expired“.

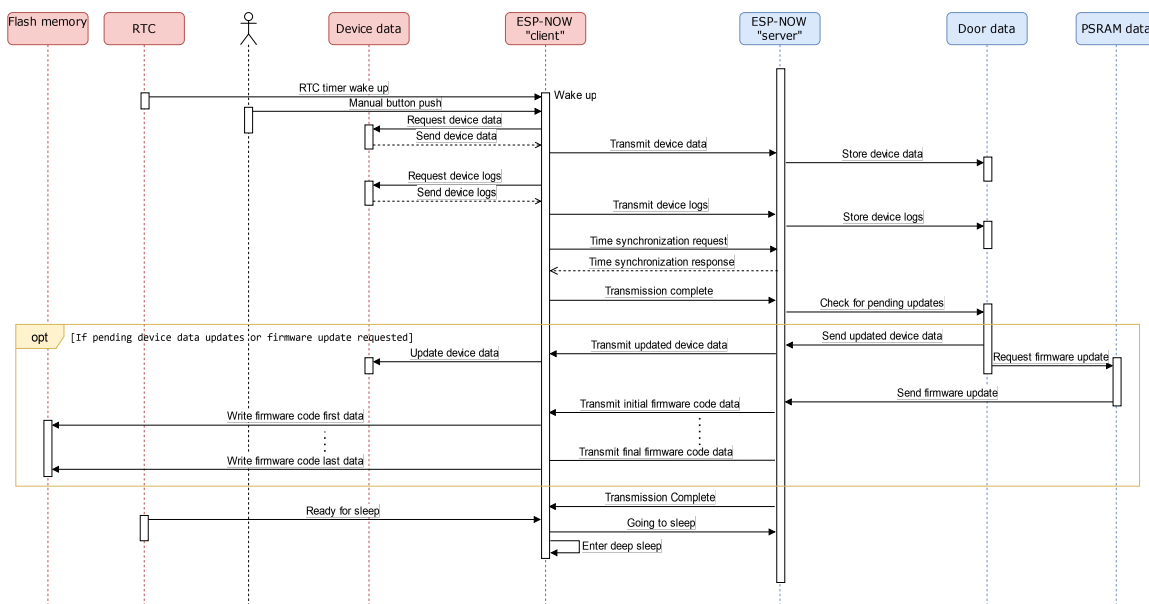
Standardní komunikace

Po úspěšném spárování začíná běžná komunikace mezi dveřky a příslušenstvím (obr. 6.15). Příslušenství, obvykle bateriové zařízení, se periodicky probouzí ze spánku a zahájí komunikaci.

1. Probuzení a odeslání dat – jakmile se příslušenství probudí, odešle aktuální hodnoty svých parametrů, logy a požádá o synchronizaci času. Tento krok zakončí zprávou „Transmission complete“, čímž informuje dveřka, že dokončilo vysílání a je připraveno přijímat příkazy.
2. Zpracování dat – dveřka zpracují přijatá data, aktualizují uložené hodnoty parametrů a logy. Poté dveřka odešlou zpět svůj aktuální čas spolu s časovou zónou a informacemi o východu a západu slunce.
3. Změněné hodnoty parametrů – dveřka zkontrolují, zda byly prostřednictvím webového rozhraní nebo jiných externích rozhraní (například MQTT) zadány požadavky na změnu parametrů příslušenství. Pokud ano, odešlou tyto nové hodnoty.
4. Aktualizace firmwaru – pokud byla požadována aktualizace firmwaru, dveřka postupně odesílají data firmwaru, která jsou příslušenstvím okamžitě zapisována do volného

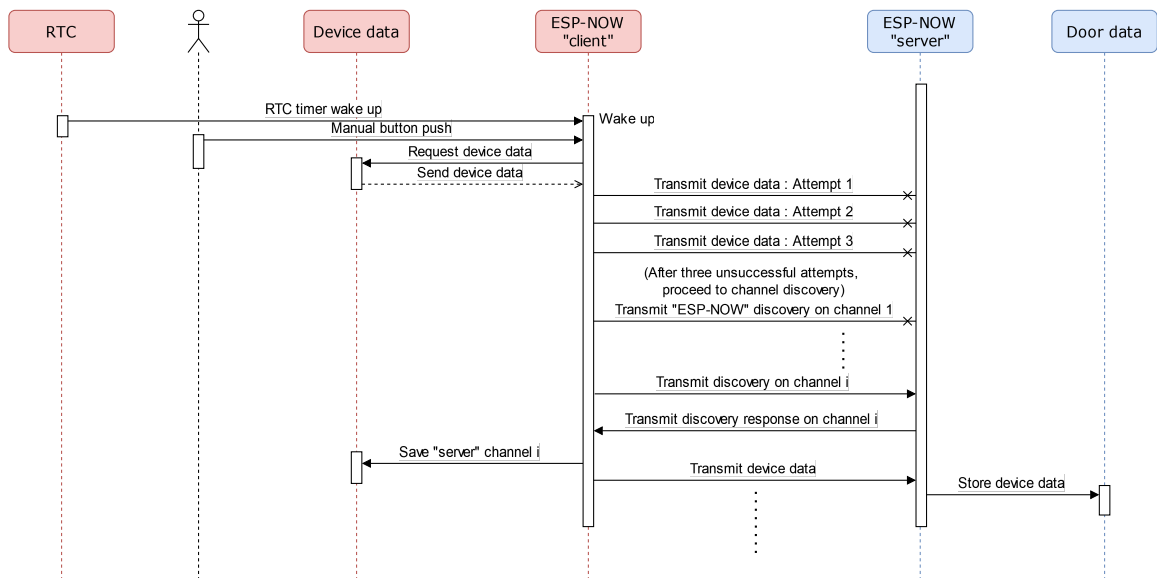
oddílu paměti flash a po kompletním zápisu a verifikaci nového firmwaru se restartují a aktivují oddíl s tímto firmwarem.

- Ukončení komunikace a přepnutí do hlubokého spánku – po dokončení všech aktualizací dvířka odešlou zprávu „Transmission complete“, signalizující konec komunikace. Příslušenství následně potvrdí přípravu ke spánku zprávou a přejde do režimu spánku na dobu určenou svými nastaveními.



Obrázek 6.15: Standardní komunikace mezi dvířky a příslušenstvím.

V případě, že dojde ke změně Wi-Fi kanálu, na kterém jsou dvířka připojena k routeru, je nezbytné synchronizovat kanál i u spárovaného příslušenství. Tento mechanismus je zajištěn procesem, který zahajuje příslušenství po třech neúspěšných pokusech o odeslání zprávy, kdy začne prohledávat všechny dostupné kanály odesláním unicastové zprávy typu „discovery“ na každý kanál (viz obr. 6.16). Pokud dvířka na nějakém z kanálů na tuto zprávu odpoví, příslušenství si aktualizuje informace o kanálu a obnoví komunikaci. Pokud se i přesto nepodaří najít dvířka, příslušenství přeruší odesílání dalších zpráv a přechází do režimu spánku. Po probuzení opět zkusí proces znovu. Tento proces je specifický pro příslušenství, dvířka samotná funkci „discovery“ nevyužívají a nemění svůj kanál na základě aktivit příslušenství.



Obrázek 6.16: Synchronizace Wi-Fi kanálu mezi příslušenstvím a dvířky.

6.3.10 Wi-Fi připojení a web server

Pro správu Wi-Fi připojení a nastavení je implementována třída `WiFiCtrl`. Tato třída umožňuje automatické opětovné připojení k Wi-Fi síti, správu přístupového bodu a vyhledávání dostupných Wi-Fi sítí. Součástí této třídy je také synchronizace času pomocí protokolu sNTP.

Třída `WebServer` poskytuje HTTP přístupové body pro čtení a zápis parametrů dvířek a příslušenství, soubory webového rozhraní a také podporuje OTA aktualizace firmwaru a souborového systému.

Využívá se zde mDNS (Multicast DNS), které umožňuje přistupovat k webovému rozhraní pomocí domény `hostname.local`, kde `hostname` je definovaný parametrem s výchozí hodnotou „dvirka“.

Web server je přístupný přes Wi-Fi STA i Wi-Fi AP rozhraní, které je primárně určeno pro prvotní konfiguraci a nastavení připojení k síti. Navíc je zde implementován tzv. captive portal, což je webová stránka, která se automaticky zobrazí při připojení k Wi-Fi AP dvířek a usnadňuje uživatelům přístup k webovému rozhraní bez nutnosti zadávání IP adresy nebo mDNS domény.

6.3.11 MQTT

Pro integraci systému do automatizačních platform, jako je například Home Assistant, je implementováno MQTT rozhraní. Toto rozhraní umožňuje čtení a úpravu hodnot parametrů dvířek i veškerého příslušenství. Konfigurace MQTT se provádí prostřednictvím webového rozhraní.

Struktura témat je organizována následovně:

- `[base_topic]/state/[parameter_name]` – pro čtení hodnot,
- `[base_topic]/set/[parameter_name]` – pro zápis,

- `[base_topic]/devices/[id]/state/[parameter_name]` – pro čtení hodnot v případě příslušenství,
- `[base_topic]/devices/[id]/set/[parameter_name]` – pro zápis hodnot v případě příslušenství.

Veškeré hodnoty jsou přenášeny ve formátu JSON, což usnadňuje jejich zpracování na straně automatizační platformy.

6.4 Webová aplikace

Webová aplikace je uložena v souborovém systému dvířek. Je implementována jako jednostránková aplikace (SPA) s využitím moderního JavaScript frameworku Vue.js. Aplikace je navržena tak, aby byla plně responzivní a uživatelsky přívětivá na různých zařízeních, od mobilních telefonů po desktopové počítače.

Aplikace využívá Vuetify, což je populární Vue.js framework poskytující bohatou sadu předpřipravených komponent, které zjednodušují vývoj a zároveň estetickou konzistenci a responzivitu uživatelského rozhraní. Dále je použit Vue Router pro správu navigace v rámci jednostránkové aplikace, a Axios pro asynchronní HTTP požadavky na server.

6.4.1 Architektura a organizace kódu

Webová aplikace je strukturována do několika složek:

- **Components** – obsahuje komponenty, jako jsou navigační prvky, grafy a specifické obrazovky jednotlivých příslušenství.
- **Mixins** – skupina opakovaně použitelných funkcí, jako je `baseParametersMixin`, který využívá většina komponent v aplikaci a zajišťuje automatické načítání a odesílání dat pomocí Axios. Tento mixin umožňuje definovat potřebné parametry pro danou komponentu a postará se o jejich pravidelnou aktualizaci a odesílání změn na server.
- **Plugins** – obsahuje pluginy například pro zobrazování notifikací a Vuetify plugin pro vizuální komponenty.
- **Router** – definice cest a navigační logika aplikace.
- **Utils** – pomocné funkce a konstanty používané napříč aplikací.
- **Views** – Vue soubory definující jednotlivé obrazovky aplikace.

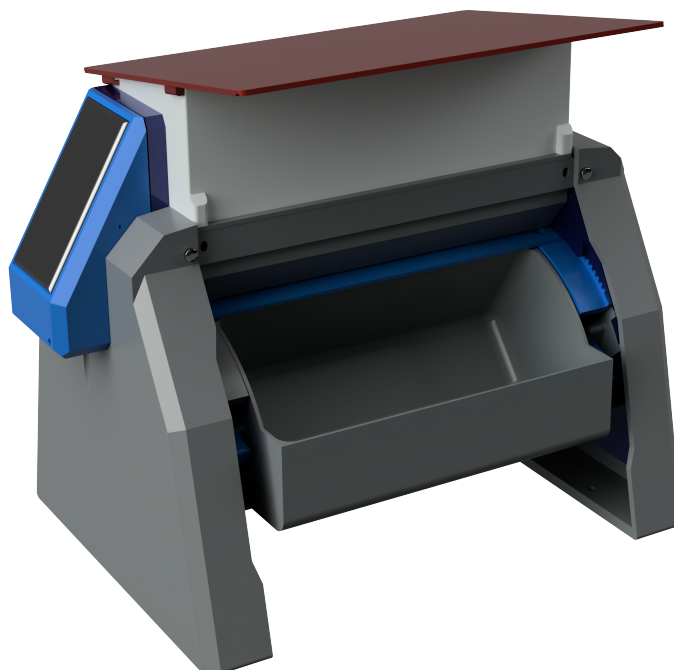
Jsou definovány dvě přístupové úrovně: základní (veřejná) a servisní. V servisní úrovni se zpřístupní některá nastavení a systémové informace. Aplikace umožňuje přepínat mezi tmavým a světlým režimem, přičemž při prvním spuštění se nastaví podle systému.

Kapitola 7

Periferie krmítka

Automatické krmítko umožňuje uzavřít přístup ke krmivu, účelem je zabránit přístupu nežádoucích „strávníků“ například během noci. Je to nejen z důvodu množství spotřebovaného krmiva, ale i s ohledem na možný přenos nemocí. Další funkcí krmítka je doplnění krmiva ze zásobníku, pokud jeho množství klesne pod určitou mez. Krmítko umožňuje zajistit krmivo po dobu několika dní bez obsluhy chovatele postupným dávkováním. Jinak by při zpřístupnění jednorázové dávky většího množství vedlo ke znehodnocení krmiva během krátké doby. Množství krmiva v nádobce je možné volit velikostí nádoby nebo vložením přepážky do nádoby. Do stávající nádoby se vešlo až 1 kg suchého obilí. U použité velikosti násypky byl prostor až pro 3 kg obilí.

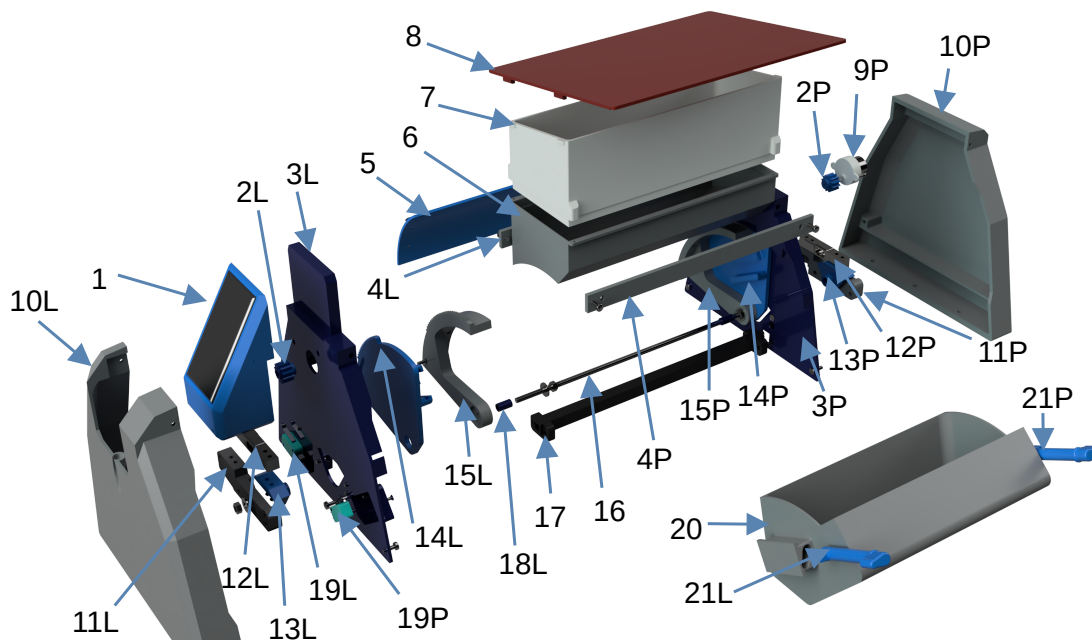
Navržené krmítko (viz obr. 7.1) funguje jako tzv. příslušenství dvířek. Zařízení je vybaveno vlastní elektronikou a komunikuje s dvířky přes ESP-NOW. Je napájené z akumulátoru s možností dobíjení solárním panelem.



Obrázek 7.1: Pohled na prototyp krmítka.

7.1 Popis mechanické konstrukce

Navrhované a prakticky realizované krmítko je realizováno metodou 3D tisku, která byla dostupná a dostatečně flexibilní pro provádění úprav dílů, kterých bylo při vývoji prototypu nespočet. Jednotlivé díly, ze kterých se sestává krmítko, jsou zobrazeny na obrázku 7.2 a popsány v tabulce 7.2.



Obrázek 7.2: Komponenty krmítka.

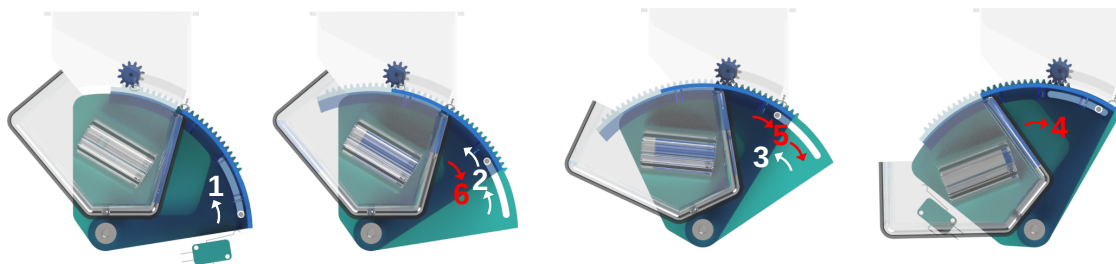
Vyřešení mechanismu uzavírání a otvírání si vyžádalo několik modifikací. Výsledné řešení používá mechanismus, který zajišťuje otvírání nádoby až po uzavření násypky. Ten je poháněn dvojicí motorů s převodovkou, která zajišťuje s dostatečnou rezervou točivý moment potřebný zvláště při uzavírání naplněné násypky. Parametry pohonu jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	3 až 9 V
Volnoběžné otáčky	5 ot./min. při 6 V
Jmenovité otáčky	2,5 – 7,5 ot./min.
Jmenovitý proudový odběr bez zátěže	20 mA

Tabulka 7.1: Parametry motoru Micro 300 [17].

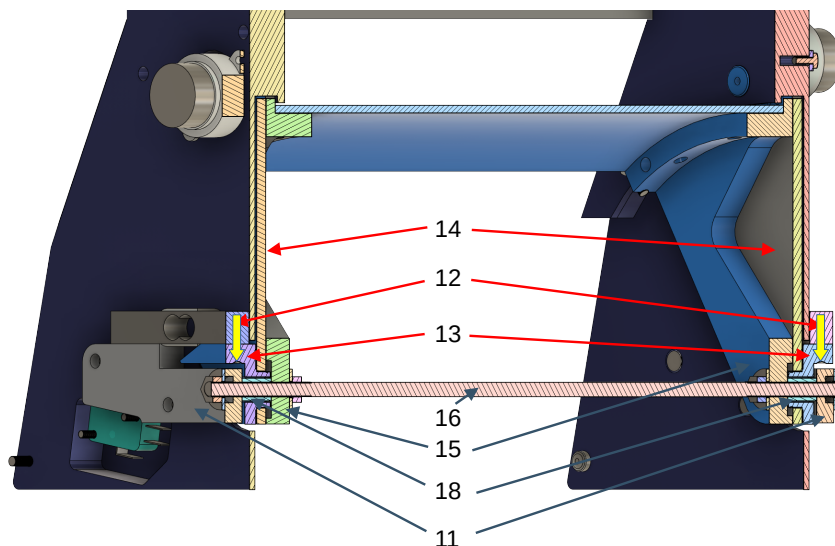
Mechanismus je založen na pohybu dvou dvojic ozubených, částečně kruhových segmentů (14L, 14P, 15L, 15P). Jedna dvojice (14L, 14P) je spojena s nádobkou a umožňuje její natáčení, druhá dvojice (15L, 15P) natáčí záklopku, která uzavírá násypku. Zavírání a otvírání nádoby probíhá v několika fázích podle obr. 7.3. Na obrázku nejvíc vlevo je nádobka v uzavřené poloze (na koncovém dorazu), kdy je otevřena násypka pro dosypání krmiva. V této poloze ozubené kolo pohonu zapadá do zubů v segmentech 15L, 15P. Otvírání začíná pohybem (1), kdy se záklopka natáčí do polohy, kdy uzavře násypku. Po

určitém natočení (na obr. 7.3 fáze 2) začne unášet i ozubený segment s nádobkou (14L, 14P). Přičemž dojde k vyjetí ze zubů segmentu spojeného se záklopkou (na obr. 7.3 fáze 3) a naopak do zubů pohonu začnou zapadat zuby segmentu propojeného s nádobkou. Ta pak pokračuje v natáčení až do zcela otevřené polohy, kdy je motor vypnut koncovým spínačem. Při zavírání se celý proces děje v opačném sledu, nejprve dojde k natočení a uzavírání nádoby (na obr. 7.3 fáze 4), po určitém natočení dojde k unášení a tím k otvírání zákločky (na obr. 7.3 fáze 5). Po úplném zavření nádoby (na obr. 7.3 fáze 6) pokračuje zákločka až do zcela otevřené polohy násypky. Krajní polohy jsou vybaveny koncovými spínači, které přeruší proud do motorů ve směru otáčení k příslušnému koncovému spínači.



Obrázek 7.3: Fáze otvírání a zavírání krmítka.

Pro měření množství krmiva v nádobce je krmítko vybaveno dvojicí tenzometrických čidel. Tenzometrická čidla (12) mají dva konce, jeden konec by měl být spojen s nějakou pevnou částí a na druhý by měla působit váha měřeného předmětu. To znamená nejlépe jen nádobka s krmivem. U krmítka působí na čidla navíc i váha segmentů 14, do kterých je nádobka zasunuta a držáků 13, na kterých se segmenty 14 otáčí. Detail mechanického řešení je na obr. 7.4.



Obrázek 7.4: Mechanické řešení vážení nádoby krmítka.

Segmenty se záklopkou jsou uloženy na distanční tyči (16) s distančními trubičkami (18), které udržují mechanickou vůli od dílů spojených s nádobkou. Vážení probíhá v otevřené poloze, těsně před koncovým spínačem.

Označení	Popis
1	Elektronický blok s vestavěným motorem, akumulátorem a solárním panelem
2L, 2P	Ozubené kolo motoru
3L, 3P	Bočnice krmítka
4L, 4P	Spojovací pásy bočnic
5	Záklopka pro uzavření násypky
6	Násypka
7	Zásobník
8	Stříška zásobníku
9L, 9P	Pohony krmítka
10L, 10P	Kryty bočnic
11L, 11P	Fixní držák pro připevnění tenzometrického čidla k bočnici
12L, 12P	Tenzometrické čidlo
13L, 13P	Držák pro připevnění dílů nádobky k měřicí straně tenzometrického čidla
14L, 14P	Otočný ozubený segment nádobky
15L, 15P	Otočný ozubený segment záklopky
16	Distanční a nosná tyč komponentů spojených s pevnou částí bočnic krmítka
17	Rozpěrka a kanál pro vedení elektrických vodičů
18L, 18P	Distanční trubička pro zajištění mechanického odstupu ozubených segmentů
19L, 19P	Koncové spínače krajní uzavřené (L), respektive otevřené (P) polohy
20	Nádobka
21	Aretační klíče nádobky

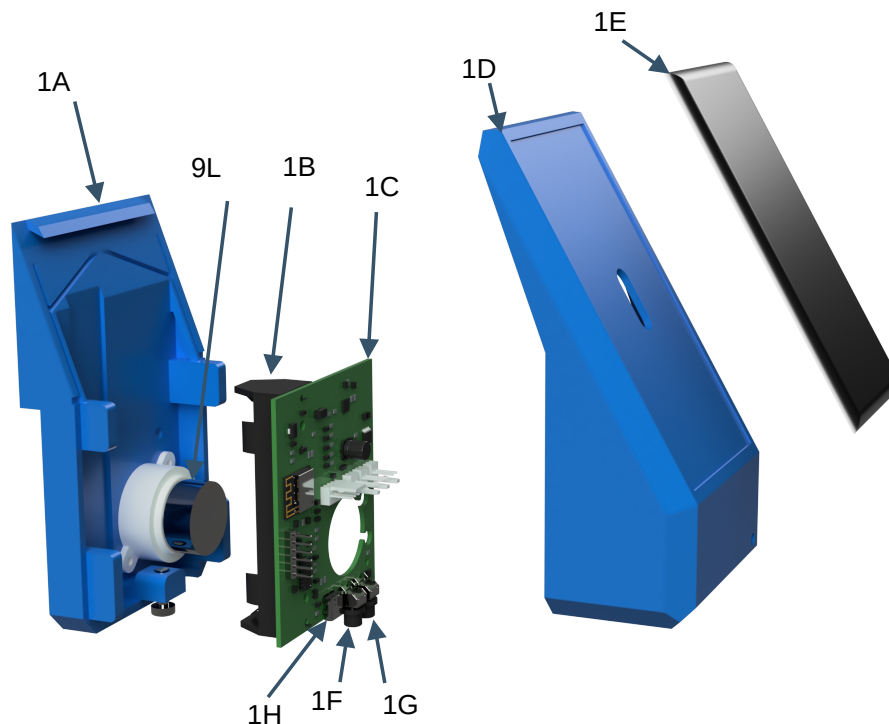
Tabulka 7.2: Popis komponent krmítka.

7.2 Blok elektroniky

Blok elektroniky (obr. 7.5) je kompaktní pohonná jednotka. Její součástí je motor (9L), který původně jako jediný měl pohánět krmítko. Nakonec byl použit i druhý motor aby byla zajištěna dostatečná rezerva výkonu pro větší zatížení v důsledku znečištění mechanismů a pozorovatelné křížení při pohánění z jedné strany. Většina elektroniky je umístěna na desce plošných spojů (1C), mimo se nachází pouze tenzometrická čidla a koncové vypínače s diodami. Na desce je držák baterie (1B) a dvojice tlačítek (1F a 1G). Krabice je navržena s ohledem na vodotěsnost proti stříkající vodě. Voda, která by se dostala mezi dvě části krabice (1A a 1D) by měla být navedena do drážek, kterými by měla být vyvedena ven mimo elektroniku. Pro nabíjení baterie je krabice vybavena solárním panelem (1E).

7.3 Elektronické obvody krmítka

Elektronika krmítka je realizována na jedné dvoustranné desce plošných spojů. Návrh desky byl proveden v softwaru KiCad. Deska je umístěna v malé krabici na bočnici krmítka. Většina komponentů je SMD typu, několik komponentů je vývodových (konektory aj.). Při



Obrázek 7.5: Blok elektroniky s pohonem.

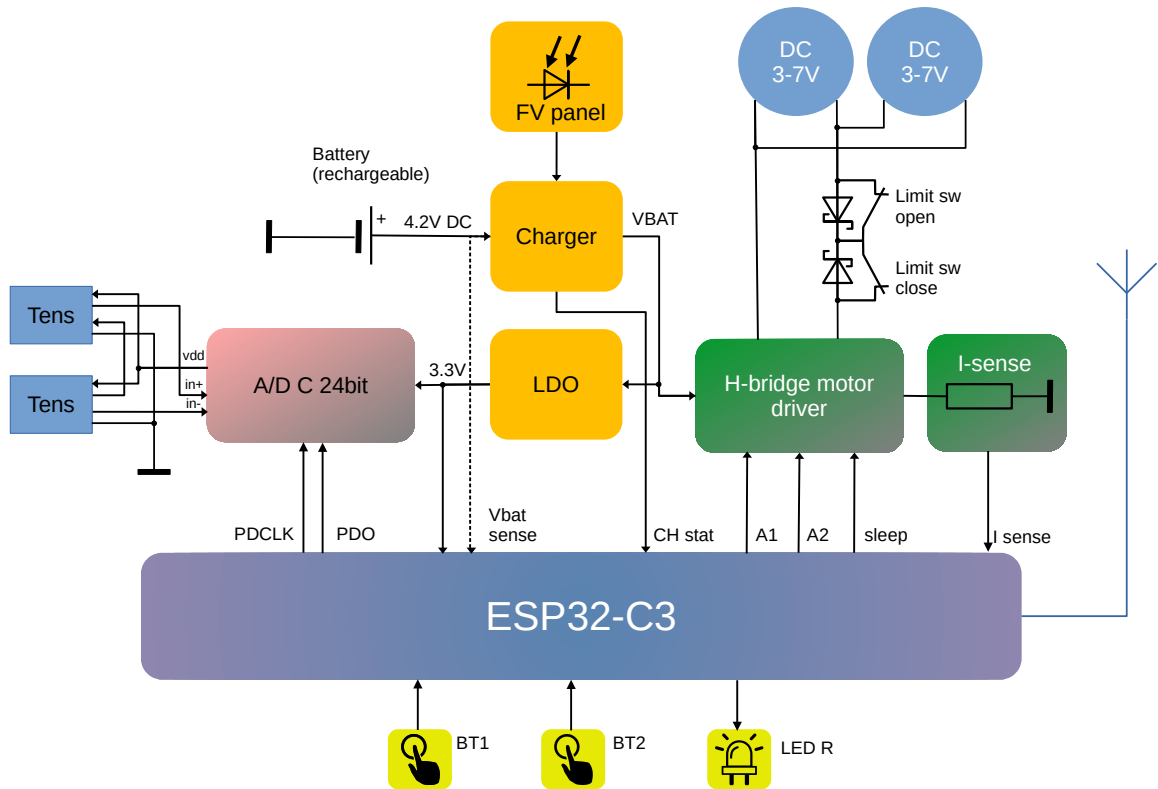
návrhu byl kladen důraz na co nejnižší spotřebu, proto při výběru komponentů a vlastního procesoru byla sledována možnost uvedení do režimu s minimální spotřebou.

Centrálním řídicím prvkem je procesorový modul ESP32-C3-MINI-1 z rodiny ESP32. Modul je osazen jednojádrovým procesorem ESP32-C3 s následujícími vlastnostmi:

- **Procesor:** Maximální taktovací frekvence 160 MHz
- **Paměti:**
 - Integrovaná ROM: 384 KB
 - Integrovaná SRAM: 400 KB
 - RTC SRAM: 8 KB
 - Integrovaná FLASH: 4 MB
- **Komunikační rozhraní:**
 - Wi-Fi 2,4 GHz (802.11 b/g/n)
 - Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh
- **Periferie:**
 - Přibližně 15 GPIO pinů
 - UART, SPI, USB
 - Časovače s možností PWM, watchdog

Dostupný je s integrovanou Wi-Fi anténou nebo s možností připojení externí antény. Pro naše účely byl použitý model s integrovanou anténou, protože se předpokládá, že krmítko není příliš vzdáleno od dvířek.

Na obrázku 7.6 je blokové schéma hardwarového řešení elektroniky krmítka a detailní schémata jsou v příloze B.2 a B.1.



Obrázek 7.6: Blokový diagram elektronických obvodů krmítka.

7.3.1 Ovládání motoru

Krmítko používá dvojici stejnosměrných kartáčových motorů (viz tab. 7.1). Motory jsou řízeny integrovaným budičem. Řízení je jen typu zapnuto/vypnuto v obou směrech. Použitý budič obsahuje dva nezávislé H-můstky, určené pro řízení krokového motoru. Proud motorů je snímán na rezistoru, jehož velikost je volena tak, aby nedocházelo k limitaci velikosti proudu budičem pro velikosti proudu potřebné k natáčení krmítka (vlastnost používaná při řízení krokových motorů). Napětí na tomto odporu je snímáno analogovým vstupem procesoru a umožňuje detekovat přetížení motorů, případně jejich vypnutí koncovým spínačem.

7.3.2 Jednoduché uživatelské rozhraní

Pro umožnění monitorování stavu a jednoduché lokální ovládání je vestavěna jednobarevná LED dioda a dvojice tlačítek. LED je přímo připojena k výstupu procesoru s možností PWM umožňující plynulé řízení jasu a tlačítka jsou připojena ke vstupům umožňujícím probuzení z deep sleep módu.

7.3.3 Napájení

Napájení je zajištěno z akumulátoru typu 18650 Li-ion s jmenovitým napětím 3,7 V a kapacitou 3200 mAh. Napětí 3,3 V pro procesor a externí AD převodník je zajištěno LDO stabilizátorem. Miniaturní fotovoltaický panel se využívá k dobíjení baterie a případně i napájení elektroniky. Toto je řízeno speciálním integrovaným obvodem pro řízení nabíjení článku a napájení z baterie. Stav nabíjení je indikován výstupem přivedeným do procesoru. Nabíjení baterie je možné také přes USB-C konektor (1H na obr. 7.5).

7.3.4 Měření hmotnosti nádobky

Tenzometrická čidla, která mají charakter rezistorových můstků poskytují velmi malý výstupní signál, proto je použit speciální 24bitový AD převodník (sigma-delta typu) s diferenciálním vstupem určený pro snímače tohoto typu. Převodník má nastavitelné zesílení v několika krocích. Aby měření hmotnosti nezáviselo na rozložení zatížení krmiva v nádobce, byly použity dva tenzometrické senzory, jejichž výstupy jsou zapojeny sériově, aby se sčítalo měření na levé i pravé straně. Toto jednoduché řešení dávalo z několika možných nejlepší výsledky.

7.4 Firmware

Firmware mikrokontroléru je stejně jako u dvířek napsán v jazyce C++ s využitím Arduino frameworku. Mikroprocesor je vybaven několika typy pamětí, které jsou využívány softwarem k různým účelům (viz tab. 7.3).

Označení paměti	Používá	Velikost	Využito
ROM-FLASH	Vestavěný bootloader	384 KB	-
SRAM	Proměnné RW, stack, heap, části kódu (interrupt funkce)	400 KB	-
FLASH	Firmware verze x	1,25 MB	828 KB
	Firmware verze y	1,25 MB	828 KB
	Souborový systém (LittleFS) pro ukládání logů	1,4 MB	-
RTC SRAM	oddíl NVS pro NV parametry	20 KB	-
	Deep sleep data	8 KB	-

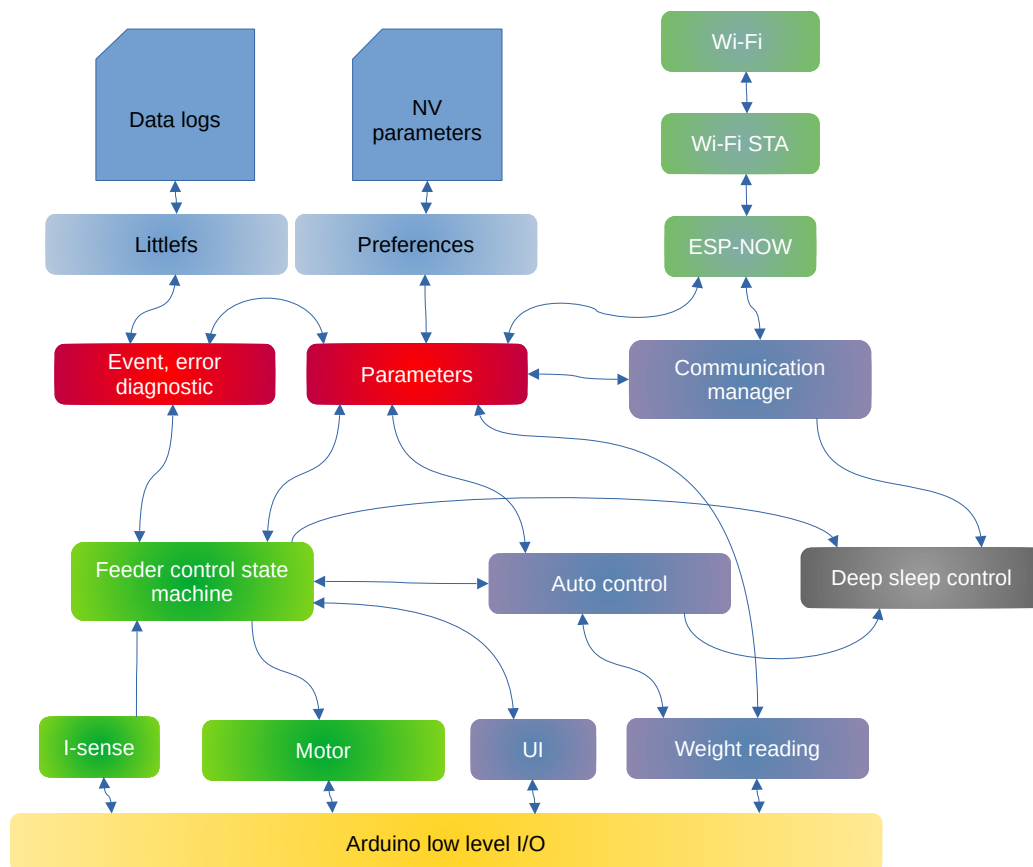
Tabulka 7.3: Přehled využití paměti procesoru krmítka.

Procesor používá preemptivní multitaskingový operační systém freeRTOS portovaný pro tento typ procesoru.

Firmware krmítka zajišťuje následující funkce:

- řízení pohonu krmítka,
- měření hmotnosti nádobky,
- automatické otvírání a zavírání krmítka,
- komunikace s dvířky.

Architektura firmwaru dvířek je znázorněna na obrázku 7.7. Využívá se zde v maximální možné míře moduly a třídy, které byly vyvinuty pro dvířka.



Obrázek 7.7: Softwarová architektura krmítka.

7.4.1 Parametry

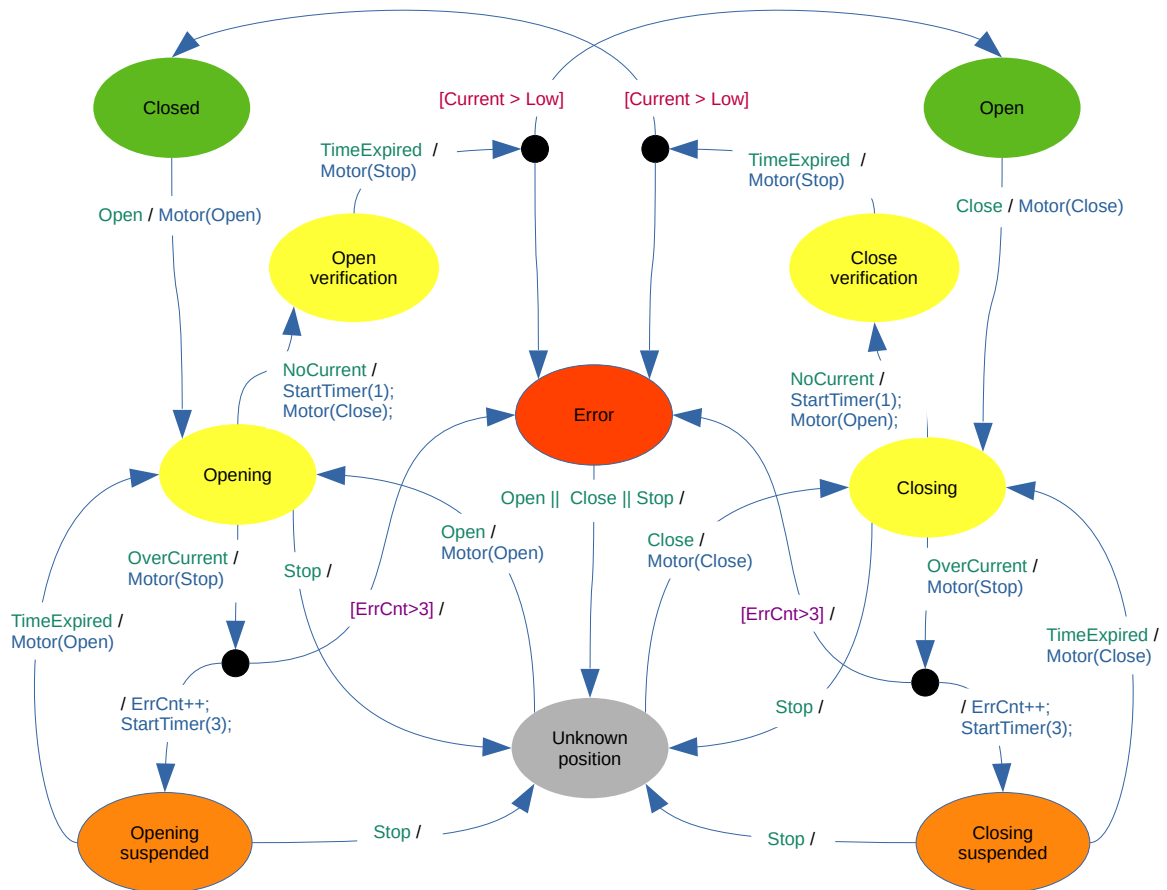
Parametry jsou implementovány obdobně jako u dvířek. Jsou zde přidány parametry, které mají hodnotu uloženou v RTC paměti, vlastností těchto parametrů je, že uchovávají hodnotu i během deep sleepu. Navíc u každého parametru lze definovat, zda se má sdílet jeho definice a hodnota po síti ESP-NOW.

7.4.2 Stavový automat krmítka

Stavový automat Mealyho typu je implementován obdobně jako stavový automat dvířek a je znázorněn na obrázku 7.8. Ve stavovém automatu jsou zpracovávány události uvedené v tabulce 7.4.

Událost	Význam
Stop	Povel zastavit
Open	Povel otevřít
Close	Povel zavřít
OverCurrent	Detekováno překročení proudu motoru
NoCurrent	Přerušen proud motorem
TimeExpired	Vypršení časovače

Tabulka 7.4: Události zpracovávány ve stavovém automatu krmítka.



Obrázek 7.8: Stavový automat krmítka.

7.4.3 Diagnostika serva

Diagnostika používá stejný modul jako dvířka, počet událostí a chyb je zde početně menší.

7.4.4 Automatické ovládání krmítka

Pro automatické zavírání krmítka se vychází z času východu a západu slunce získaného z dvířek. Z tohoto času je odvozen čas zavření, resp. otevření krmítka parametrem.

Krmítko se navíc automaticky zavírá a otevírá za účelem doplnění krmiva, a to tehdy, když hmotnost krmiva v nádobě klesne pod předem nastavenou úroveň a zůstane pod touto úrovní po určitou dobu. Vážení krmiva probíhá pouze v době, kdy je krmítko otevřené. Pokud krmítko během tří pokusů nedosáhne stanoveného množství krmiva, proces doplňování se přeruší a nebude pokračovat.

7.4.5 Tlačítka a indikace LED

Tlačítka umožňují manuální otevírání (1F na obr. 7.5) a zavírání (1G na obr. 7.5) krmítka. Dlouhý stisk delší jak 3 sekundy aktivuje párování s dvířky. Pokud je procesor v deep sleepu, stisk jakéhokoli z tlačítek převede procesor do normálního aktivního režimu.

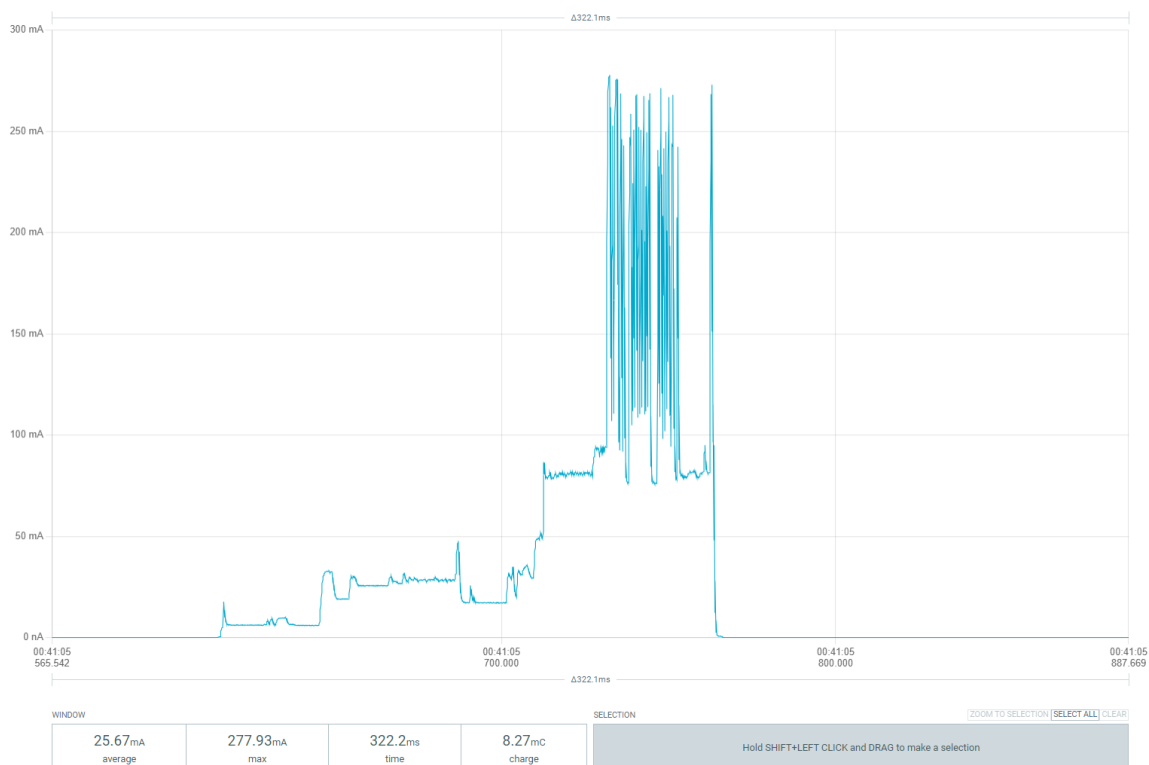
LED slouží k jednoduché indikaci stavů dle tabulky 7.5.

Stav	Stav LED
Otevírání nebo zavírání	Rychlé blikání LED
Neznámá poloha	Nesvítí
Chyba	Krátké bliknutí LED s dlouho periodou
Zavřená a otevřená poloha	Nesvítí
Párování	Plynulé rozsvěcování a stmívání LED
Spárováno	Několik rychlých bliknutí
Vybitý akumulátor	Dvě krátké bliknutí LED s dlouho periodou

Tabulka 7.5: Indikace stavů krmítka pomocí LED.

7.4.6 Řízení spotřeby

Procesor je maximum času v deep sleep módu, ze kterého je po určité době probouzen RTC obvodem, případně stiskem tlačítek. Po probuzení provede zvážení nádoby, naváže komunikaci s dvířky, poté odešle data a případně přijme data a pokud nejsou aktivovány nějaké delší dobu trvající akce (otáčení nebo upgrade FW), tak zase přejde do stavu deep sleepu. Na obrázku 7.9 je znázorněn proud při nejběžnějším krátkém probuzení, provedení komunikace a opětovné usnutí. Při 60sekundové periodě probouzení je střední proud $140 \mu\text{A}$ a při 30sekundové periodě je střední proud $250 \mu\text{A}$. Všechny tyto údaje o spotřebě jsou uvedeny při maximálním výkonu Wi-Fi.



Obrázek 7.9: Graf spotřeby proudu krmítka při probuzení a komunikaci.

Kapitola 8

Závěr

Bakalářská práce si dala za cíl vytvořit zařízení pro automatizování drobného chovu slepic, která by vykonávala rutinní každodenní úkony a umožňovala přitom vzdálené monitorování a ovládání. Internetový průzkum dostupných zařízení na trhu ukázal, že snad jediným, ale dostupným zařízením jsou dvířka. Dostupné jsou typy dvířek v širokém cenovém rozpětí jednak podle země původu, tak i podle podporovaných funkcí. Typy jen s minimální konektivitou patřily do skupiny těch s vyšší cenou. Na základě tohoto přehledu jsem definoval požadavky na funkci navrhovaných dvířek, které by splňovaly všechny funkce dvířek dostupných na trhu a byly rozšířeny o funkce, které by zlepšily bezpečnost, spolehlivost a uživatelský komfort a přitom byly cenově srovnatelné s dostupnými dvířky. Výchozím předpokladem bylo, že napájení bude z externího zdroje a příkon dvířek není limitován jako při provozu z baterií. To umožnilo, aby se dvířka stala mimo svou vlastní základní funkci i centrálním členem, který bude komunikovat nějakou úspornou komunikací s prvky příslušenství většinou bateriově napájenými a přitom bude připojeno do Wi-Fi sítě s podporou standardních protokolů (HTTP, MQTT).

Práce začala konstrukcí dvířek. Zde bylo nutné vybrat vhodný typ pohonu dvířek, který spočíval ve výběru vhodného motoru s převodovkou a mechanismu pohybu dvířek. Nakonec jsem se rozhodl pro pohon s využitím ozubeného hřebenového převodu. Návrh kompletní mechanické konstrukce byl pak proveden v CAD programu Fusion 360 a AutoCad, který předpokládal využití 3D tisku, se kterým mám zkušenosti a navíc vlastníme dva typy 3D tiskáren (FDM a SLA typu).

Dále bylo nutné provést návrh elektronických obvodů, to je schéma a desky plošných spojů. Ty byly provedeny v programu KiCad. Pro výrobu desky bylo využito portálu JL-CPCB, který má příznivé ceny a dodací podmínky. Osazení komponenty bylo provedeno v domácích podmínkách s využitím mikropájký a horkovzdušného pájedla.

Těžištěm prací byla implementace řídicího softwaru (FW) a programu pro grafické uživatelské rozhraní. Tyto práce byly provedeny v prostředí Microsoft Visual Studio Code s nadstavbou Platformio. Pro použité typy procesorů je základní nízkourovňovou platformou ESP-IDF. Implementovaný firmware využívá Arduino knihovny, které přistupují k hardwarovým prostředkům procesoru přes ESP-IDF funkce.

Vzhledem k použití C++ byly pro implementaci funkčních bloků použity třídy, které umožňují využití výhodných vlastností objektového jazyka jako je zapouzdření, dědičnost a polymorfismus.

Při vývoji softwaru byl pro ladění a debugování softwaru využit standardní sériový výstup a také vestavěný JTAG debugger přístupný přes USB-C port. Nejprve bylo implementováno řízení polohy servopohonu s detekcí dorazů a chyb. Velké úsilí bylo věnováno

stavovému automatu, který zajišťoval provedení zavření a otevření dvířek a to i v situaci, kdy došlo k nějakému problému. Osvědčil se stavový automat realizovaný tabulkou definující pro každou událost a aktuální stav funkci, která provede zpracování události a případný přechod do jiného stavu.

Časově náročné bylo vytvoření Wi-Fi připojení a grafického uživatelského rozhraní, které bylo přístupné s použitím webové prohlížeče. Pro implementaci webové aplikace byl použit javascriptový framework Vue.js, který se vyznačuje svou schopností efektivně zpracovávat a aktualizovat data na webové stránce pomocí techniky zvané „data binding“, umožňuje automatickou synchronizaci dat zařízení s uživatelským rozhraním. Webové rozhraní umožňuje uživatelský přístup ke všem parametrům dvířek a také obsahuje webová rozhraní pro podporovaná příslušenství, v našem případě to bylo krmítko a kamera.

Ze skupiny tzv. příslušenství bylo vyvinuto automatizované krmítko. Opět zde bylo nutné vymyslet kompletní mechanické řešení. Bylo realizováno a otestováno několik typů mechanismů, pohonů a motorů, než se podařilo najít provozuschopné řešení. Mechanicky je opět založeno na komponentech vyrobených 3D tiskem.

Návrh elektroniky zde představoval jednak návrh desky plošných spojů a také propojení s několika externími komponenty jako byly tenzometrická čidla, koncové spínače a motor. Specifikem návrhu byl výběr komponentů s minimální spotřebou nebo s možností uspávání, protože napájení bylo řešené z vestavěného akumulátoru.

Návrh firmwaru využíval v maximální možné míře třídy, které byly vyvinuty pro dvířka. Specifikem bylo řešení komunikace Wi-Fi s extrémně nízkou spotřebou ESP-NOW a řízení spotřeby. Po ukončení požadovaných úloh je procesor přepínán do deep sleep stavu a periferní obvody (budič motoru a externí AD převodník) do sleep stavu s tím, že je periodicky probouzen pro přenos stavu a případné zpracování povelů z nadřazeného systému (dvířek).

Dalším příslušenstvím, které bylo odzkoušeno, bylo použití ESP modulu s kamerou. K datu vydání této práce byl vyřešen firmware umožňující zobrazení statických snímků na webovém rozhraní dvířek a návrh mechanického řešení. Po elektrické stránce se jednalo pouze o použití modulu ESP32-CAM a zdroje napětí.

Dvířka, která byla vyvinuta jako první, byla testována během několika měsíců, přičemž nebyly zaznamenány žádné problémy, které by zabránily otevření nebo zavření. V případě krmítka bylo testování podstatně kratší, protože bylo nutné řešit mechanické obtíže spojené s těsností násypky, dostatečného výkonu motoru (při 3 V) a také vážení pohyblivé nádoby.

Pro cenové srovnání bylo možné určit cenu materiálových nákladů. Náklady na práci a jiné nebylo možné stanovit. Ceny použitých elektronických komponentů jsou poměrně vysoké, protože se jedná o standardní ceny pro kusové množství. Výsledek je uveden v tabulce 8.1 pro dvířka a v tabulce 8.2 pro krmítko.

Skupina	Cena s DPH (Kč)
Elektronika (DPS)	715,-
Mechanické díly pohon	272,-
Motor	500,-
Wi-Fi anténa externí	60,-
Mechanické díly dvířka	298,-
Materiálové náklady celkem	1 845,-

Tabulka 8.1: Materiálové náklady dvířek.

Skupina	Cena s DPH (Kč)
Elektronika (DPS)	450,-
Motory	60,-
Ostatní el. díly	430,-
Mechanické díly	1 162,-
Materiálové náklady celkem	2 102,-

Tabulka 8.2: Materiálové náklady krmítka.

Srovnáme-li materiálové náklady u dvířek, tak lze odhadovat, že by bylo možné realizovat finální výrobek s prodejní cenou kolem 4 000 Kč, což je cena dvířek dostupných na trhu, avšak vlastnostmi nedosahující úrovně navržených dvířek.

Testování provedené na vyvinutých komponentech potvrdily proveditelnost daného řešení, ale je nutné provést dlouhodobější testování v podmínkách reálného kurníku a výběhu slepic, kdy bude vystaveno povětrnostním vlivům exteriéru, to je různým teplotám, vlhkosti, slunečnímu svitu a v neposlední řadě také různému druhu znečištění, které doprovází tento chov.

Literatura

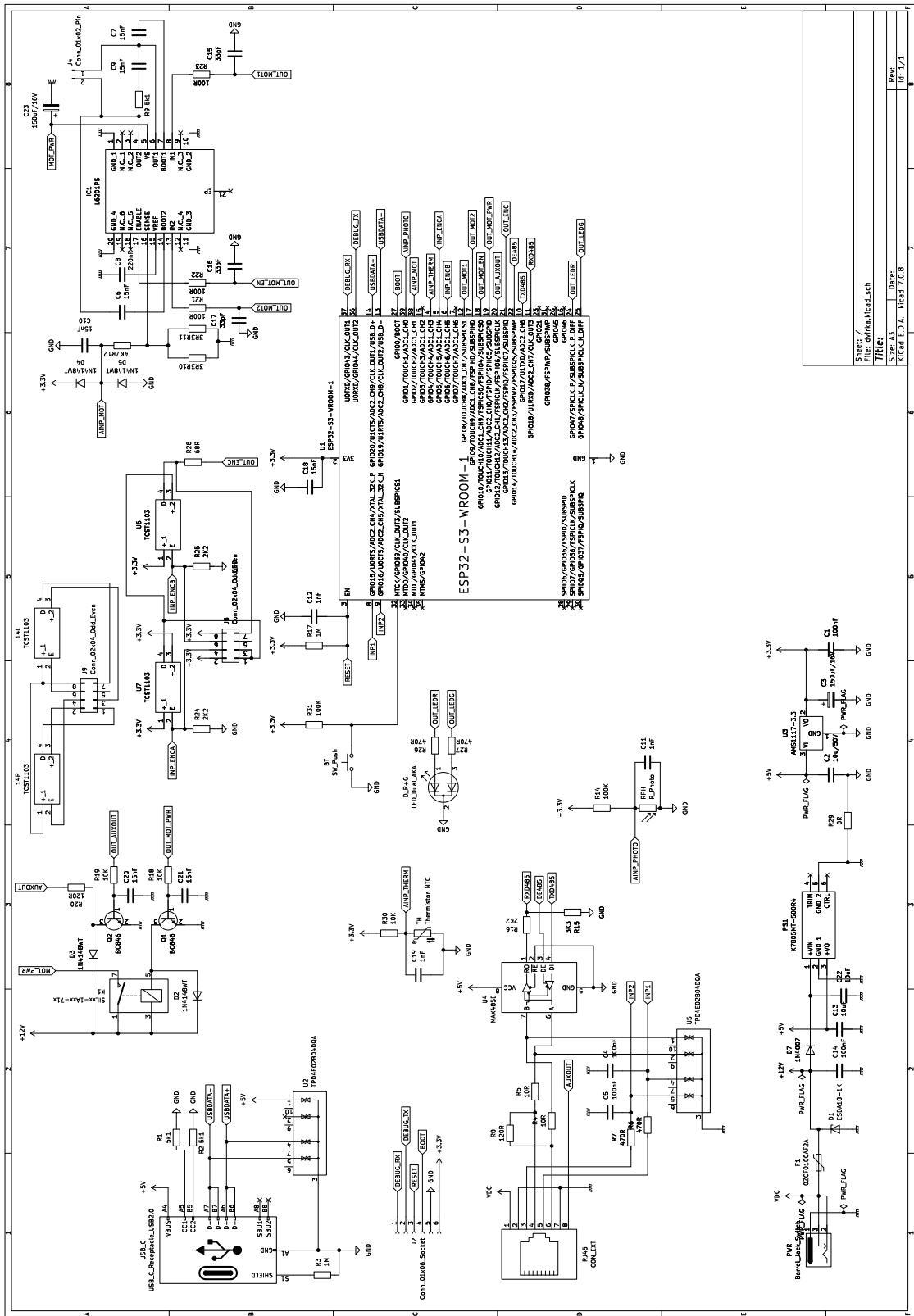
- [1] ANDERSON, M. *Understanding Bluetooth Mesh Networking* online. 1. března 2019. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/33885-understanding-bluetooth-mesh-networking>. [cit. 10. 4. 2024].
- [2] BASUMALLICK, C. *Zigbee vs. Z-Wave: Understanding 10 Key Differences* online. 22. června 2022. Dostupné z: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/zigbee-vs-z-wave/>. [cit. 8. 4. 2024].
- [3] *Automatická Dvířka Chickdoor Simple* online. Dostupné z: <https://eshop.chytrykurnik.cz/kurnikova-dvirka/automaticka-dvirka-chickdoor-simple/>. [cit. 10. 4. 2024].
- [4] *Locking Combi Premium* online. Dostupné z: <https://www.chickenguard.eu/product/locking-combi-premium/>. [cit. 10. 4. 2024].
- [5] CIARLONE, J. *What Is The Distance Of WiFi Signals?* online. 20. prosince 2022. Dostupné z: <https://services.hummingbirdnetworks.com/blog/what-is-the-distance-of-a-wifi-signal>. [cit. 5. 4. 2024].
- [6] CONTRIBUTORS, W. *Home Assistant* online. 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Home_Assistant. [cit. 18. 4. 2024].
- [7] CONTRIBUTORS, W. *Z-Wave* online. 2024. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>. [cit. 8. 4. 2024].
- [8] CONTRIBUTORS, W. *Zigbee* online. 2024. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>. [cit. 8. 4. 2024].
- [9] DUTTA, S. *Bluetooth vs Bluetooth Low Energy* online. 18. května 2022. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy/>. [cit. 6. 4. 2024].
- [10] ELAHI, A. a GSCHWENDER, A. *ZigBee Wireless Sensor And Control Network*. 1. vyd. Pearson, 2009. ISBN 978-0137134854.
- [11] HIVEMQ. *MQTT & MQTT 5 Essentials*. HiveMQ GmbH, 2020. ISBN 978-3-00-067913-1. <http://telpar.altervista.org/Arduino/hivemq-ebook-mqtt-essentials.pdf>.
- [12] HUANG, D. *802.11ax fundamentals: Target Wake Time (TWT)* online. 25. září 2018. Dostupné z: <https://>

- [//www.commscope.com/blog/2018/802.11ax-fundamentals-target-wake-time-twt/](https://www.commscope.com/blog/2018/802.11ax-fundamentals-target-wake-time-twt/). [cit. 5. 4. 2024].
- [13] KETRIS. *Chov slepic pro úplné začátečníky* online. 28. ledna 2024. Dostupné z: <https://www.ketris.cz/clanek/15/chov-slepice-pro-uplne-zacatecniky/>. [cit. 21. 4. 2024].
- [14] KULHARY, R. *Introduction of ZigBee* online. 22. února 2023. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-zigbee/>. [cit. 7. 4. 2024].
- [15] LEJSALOVÁ, A. *11 nejoblíbenějších plemen slepic, které hodně snáší* online. 13. srpna 2022. Dostupné z: <https://hobbio.cz/nejoblibenejsi-plemena-slepice/>. [cit. 20. 4. 2024].
- [16] MITCHELL, B. *How Fast Is a Wi-Fi Network?* online. 16. června 2021. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/how-fast-is-a-wifi-network-816543>. [cit. 4. 4. 2024].
- [17] *Motorek 3-9V/ s převodovkou, 2,5-7,5RPM, typ Micro 300* online. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/1752c-motorek-3-9v-s-prevodovkou-25-75rpm-typ-micro-300/>. [cit. 21. 4. 2024].
- [18] *Motor DFRobot DC 12V 40RPM se šnekovým převodem* online. Dostupné z: <https://botland.cz/uhlove-stejnospmerne-motory-s-prevodovkou/14342-motor-dfrobot-dc-12v-40rpm-se-snekovym-prevodem-6959420910823.html>. [cit. 21. 4. 2024].
- [19] *Motor s převodovkou a vysokým točivým momentem DC 12V 14RPM S30K* online. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1506-motor-dc-12v-14rpm-s30k-s-prevodovkou-vysoky-tocivy-moment.html>. [cit. 21. 4. 2024].
- [20] *Motor s převodovkou 25GA-370 12V 60RPM* online. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1466-motor-12v-dc-60rpm-s-prevodovkou-silny-tocivy-moment-25mm.html>. [cit. 21. 4. 2024].
- [21] NETSPOT. *Explaining WiFi Standards* online. 2024. Dostupné z: <https://www.netspotapp.com/blog/wifi-standards/>. [cit. 4. 4. 2024].
- [22] PETFOOD, J. *Chov slepic – rady chovatelky* online. 14. ledna 2023. Dostupné z: <https://www.juko-krmiva.cz/cz/chov-slepice-rady-chovatelky-na-co-je-dulezite-myslet-a-nezapomenout-pri-chovu>. [cit. 21. 4. 2024].
- [23] *Run Chicken Door Eternal Gray - Solar Powered Automatic Chicken Coop Door* online. Dostupné z: <https://run-chicken.eu/product/run-chicken-door-eternal-gray-solar-powered-automatic-chicken-coop-door/>. [cit. 10. 4. 2024].
- [24] SHELBY, Z.; HARTKE, K. a BORMANN, C. *The Constrained Application Protocol (CoAP) RFC 7252*. RFC Editor, červen 2014. Dostupné z: <https://doi.org/10.17487/RFC7252>. [cit. 10. 4. 2024].
- [25] SIG, B. *Bluetooth Technology Overview* online. 2024. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. [cit. 6. 4. 2024].
- [26] SPONÅS, J. G. *Things You Should Know About Bluetooth Range* online. 25. ledna 2023. Dostupné z: <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/things-you-should-know-about-bluetooth-range>. [cit. 10. 4. 2024].

- [27] SYSTEMS, E. *ESP-NOW* online. 2024. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>. [cit. 12. 4. 2024].
- [28] SYSTEMS, E. *ESP32 ESP-IDF Programming Guide* online. 25. dubna 2024. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/esp-idf-en-master-esp32.pdf>. [cit. 25. 4. 2024].
- [29] TEAM, A. M. *Overview of IoT Device Communication* online. 24. dubna 2024. Dostupné z: <https://www.agilevision.io/blog/overview-of-iot-device-communication/>. [cit. 25. 4. 2024].
- [30] TEAM, N. *Types of Network Topology Explained* online. 13. května 2021. Dostupné z: <https://www.nakivo.com/blog/types-of-network-topology-explained/>. [cit. 4. 4. 2024].
- [31] TECHNOLOGIES, A. *Introduction to Bluetooth Classic* online. 2020. Dostupné z: <https://www.argenox.com/library/bluetooth-classic/introduction-to-bluetooth-classic/>. [cit. 6. 4. 2024].
- [32] TECKCHANDANI, A. *What's the Difference between OFDMA and MU-MIMO in 11ax?* online. 13. března 2019. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/967147/what-s-the-difference-between-ofdma-and-mu-mimo-in-11ax.html>. [cit. 5. 4. 2024].

Příloha A

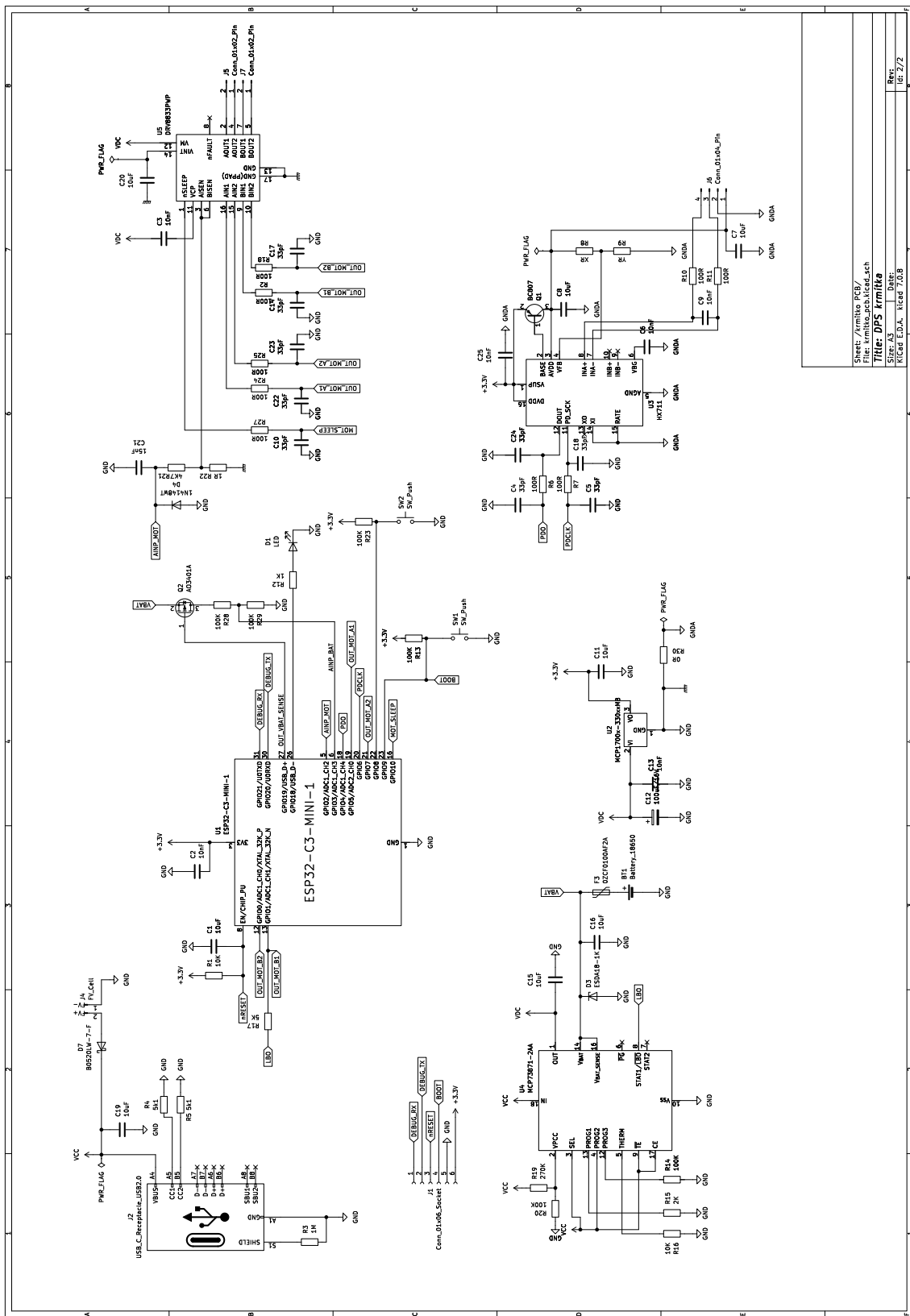
Schéma automatických dvířek



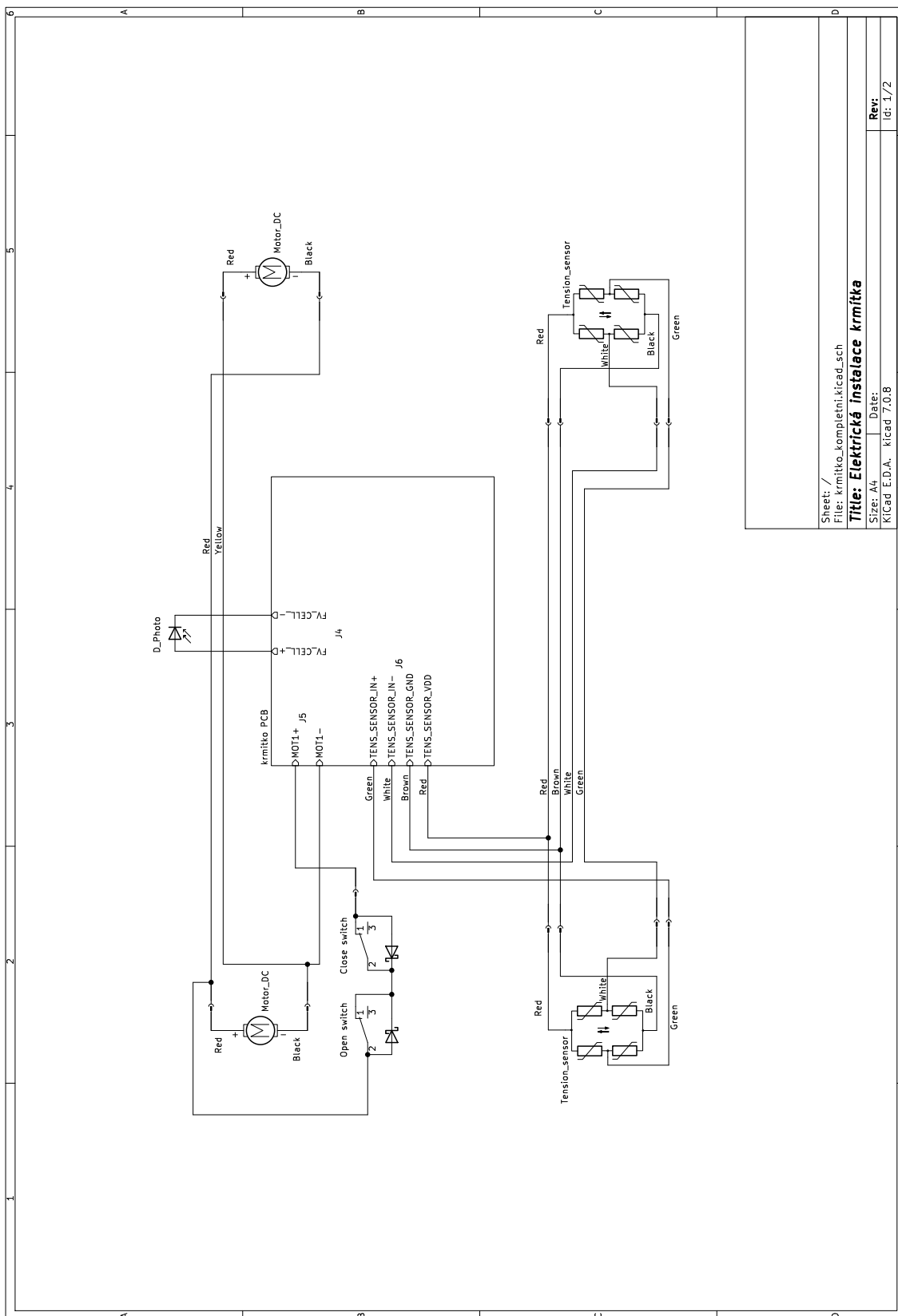
Obrázek A.1: Schéma DPS automatických dvířek.

Příloha B

Schéma automatického krmítka



Obrázek B.1: Schéma DPS automatického krmítka.



Obrázek B.2: Schéma elektrické instalace krmítka.