

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra měření

# Přístupový systém pro dveře

**Ivan Chernikov**  
Otevřená informatika

Květen 2023  
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chernikov** Jméno: **Ivan** Osobní číslo: **492265**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Otevřená informatika**  
Specializace: **Internet věcí**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Přístupový systém pro dveře**

Název bakalářské práce anglicky:

**Access system for doors**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte průzkum trhu v oblasti chytrých zámků dveří. Definujte jejich klíčové parametry a diskutujte jejich výhody a nevýhody.
- 2) Navrhněte vlastní koncept chytrého zámku, který bude ovládat přístup do místnosti a bude možno jej instalovat bez zásadního zásahu do dveřního křídla.
- 3) Systém bude ovládán pomocí klávesnice, RFID tagu. Výstupní část bude ovládat otáčení klíčem nebo jeho náhradou.
- 4) Zvolte vhodné HW řešení, využijte dostupné SoC a přídatné moduly.
- 5) Vytvořte vhodné SW vybavení pro ovládání systému.
- 6) Otestujte zařízení na funkčnost z bodu 3.
- 7) Zhodnoťte dosažené parametry a diskutujte možná zlepšení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/> ISBN
- 2) Vedat O. - Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices, ISBN 978-1838641160
- 3) Singh R. - IoT based Projects: Realization with Raspberry Pi, NodeMCU and Arduino, ISBN 978-9389328523

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Janiček, Ph.D. katedra mikroelektroniky FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **28.06.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **09.02.2024**

\_\_\_\_\_  
Ing. Vladimír Janiček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Poděkování / Prohlášení

Děkuji svému vedoucímu Ing. Vladimíru Janíčkoví, Ph.D. za odborné rady a podporu při psaní této práce. Rád bych také poděkoval ČVUT za poskytnuté možnosti, profesionalitu zaměstnanců a pedagogů, kteří se podělili o své znalosti a zkušenosti v bakalářském studiu.

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

V Praze dne 25. 5. 2023

.....

## Abstrakt / Abstract

Projekt zkoumá a popisuje proces vývoje prototypu inteligentního elektronického zámku. Proces zahrnuje analýzu trhu s takovými zařízeními, popis koncepce, návrh a zdůvodnění výběru elektronických komponent a nakonec realizaci prototypu.

**Klíčová slova:** Dveřní automatizovaný systém, zámek dveří, inteligentní zámek, mikrokontrolér, ESP32, klávesnice, čtečka RFID, stejnosměrný motor

The project considers and describes the process of developing a prototype of a smart electronic lock. The process includes the analysis of the market of such devices, description of the concept, proposal and justification of the choice of electronic components and finally the implementation of the prototype.

**Keywords:** Door automation system, door lock, smart lock, microcontroller, ESP32, keypad, RFID reader, DC motor.

**Title translation:** Access system for doors

# Obsah /

|   |    |                                     |    |
|---|----|-------------------------------------|----|
| <b>1 Úvod</b> .....   | 1  | <b>Literatura</b> .....             | 28 |
| <b>2 Průzkum trhu</b> .....   | 2  | <b>A Obsah přiloženého CD</b> ..... | 33 |
| 2.1 Analýza typů a způsobů in-<br>terakce s inteligentními zámky .. | 2  |                                     |    |
| 2.2 Analýza dalších funkcí inte-<br>ligentních zámků .....          | 3  |                                     |    |
| <b>3 Návrh konceptu</b> .....                                       | 5  |                                     |    |
| 3.1 Mikrokontrolér (systém na<br>čipu) .....                        | 6  |                                     |    |
| 3.2 Externí modul zařízení .....                                    | 7  |                                     |    |
| 3.2.1 Klávesnice .....  | 7  |                                     |    |
| 3.2.2 Čtečka RFID .....   | 7  |                                     |    |
| 3.2.3 Zpětná vazba .....  | 8  |                                     |    |
| 3.2.4 Napájení externího<br>modulu .....                            | 8  |                                     |    |
| 3.2.5 Schéma zapojení exter-<br>ního modulu .....                   | 9  |                                     |    |
| 3.2.6 Návrh desek plošných<br>spojů externího modulu .              | 10 |                                     |    |
| 3.2.7 Ochranný obal externí-<br>ho modulu .....                     | 11 |                                     |    |
| 3.3 Interní modul zařízení .....                                    | 11 |                                     |    |
| 3.3.1 Motor .....   | 11 |                                     |    |
| 3.3.2 Ovládání motoru .....   | 12 |                                     |    |
| 3.3.3 Napájení interního mo-<br>dulu .....                          | 13 |                                     |    |
| 3.3.4 Schéma zapojení inter-<br>ního modulu .....                   | 14 |                                     |    |
| 3.3.5 Návrh desek plošných<br>spojů interního modulu ..             | 15 |                                     |    |
| 3.3.6 Ochranný obal interní-<br>ho modulu .....                     | 15 |                                     |    |
| <b>4 Návrh softwaru</b> .....                                       | 17 |                                     |    |
| 4.1 Komunikace zařízení .....                                       | 17 |                                     |    |
| 4.2 Serverová část pro správce .....                                | 18 |                                     |    |
| 4.3 Komunikace zařízení se ser-<br>verem .....                      | 21 |                                     |    |
| 4.4 Program pro externí modul ...                                   | 22 |                                     |    |
| 4.5 Program pro interní modul ...                                   | 23 |                                     |    |
| <b>5 Souhrn dosažených výsledků</b> ....                            | 25 |                                     |    |
| 5.1 Náklady na vytvoření proto-<br>typu .....                       | 25 |                                     |    |
| 5.2 Hodnocení funkčnosti proto-<br>typu .....                       | 25 |                                     |    |
| 5.2.1 Spotřeba energie .....  | 26 |                                     |    |
| <b>6 Závěr</b> .....  | 27 |                                     |    |

## Tabulky / Obrázky

|  |    |
|--|----|
| <b>2.1.</b> Seznam zámků vybraných pro srovnání .....                                  | 2  |
| <b>2.2.</b> Porovnání zámků podle způsobu interakce .....                              | 3  |
| <b>2.3.</b> Porovnání doplňkových funkcí zámků .....                                   | 4  |
| <b>5.1.</b> Seznam a cena komponentů ...   | 25 |
| <b>3.1.</b> Blokové schéma projektu .....  | 5  |
| <b>3.2.</b> Pinout Esp32 .....   | 6  |
| <b>3.3.</b> Membránová klávesnice 4x4 .....  | 7  |
| <b>3.4.</b> RFID modul RC522.....  | 8  |
| <b>3.5.</b> Aktivní bzučák 3.3V .....  | 8  |
| <b>3.6.</b> Step-up měnič ME2108 .....   | 9  |
| <b>3.7.</b> Schéma zapojení externího modulu .....                                     | 10 |
| <b>3.8.</b> Deska plochých spojů pro externí modul .....                               | 10 |
| <b>3.9.</b> Obal externí části .....   | 11 |
| <b>3.10.</b> DC motor JGY370 s převodovkou .....                                       | 12 |
| <b>3.11.</b> H-můstek L9110S modul.....  | 13 |
| <b>3.12.</b> Step-up měnič XL6009 .....  | 13 |
| <b>3.13.</b> Step-down měnič LM2569 .....  | 14 |
| <b>3.14.</b> Schéma zapojení interního modulu .....                                    | 14 |
| <b>3.15.</b> Deska plochých spojů pro interní modul.....                               | 15 |
| <b>3.16.</b> Obal interního modulu.....  | 16 |
| <b>3.17.</b> Komponenty uvnitř obalu .....   | 16 |
| <b>4.1.</b> Schéma interakce zařízení prostřednictvím BLE .....                        | 18 |
| <b>4.2.</b> Okno pro registraci uživatele ..   | 19 |
| <b>4.3.</b> Přihlašovací okno.....   | 20 |
| <b>4.4.</b> Hlavní stránka s tabulkou dat .  | 20 |
| <b>4.5.</b> Tabulka s údaji o tom, jak konkrétní uživatel zámek otevírá a zavírá ..... | 21 |
| <b>4.6.</b> Blokový diagram algoritmu externího modulu .....                           | 22 |
| <b>4.7.</b> Blokový diagram algoritmu interního modulu.....                            | 23 |



# Kapitola 1

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je realizace konceptu chytrého dveřního zařízení. Projekt se skládá ze tří hlavních fází. V první fázi budu analyzovat trh s inteligentními elektronickými zámky, zjišťovat jejich hlavní vlastnosti, podobnosti a rozdíly mezi zařízeními dostupnými v různých cenových segmentech. Získané údaje pak budou použité při realizaci vlastního prototypu zařízení. Druhá fáze bude spočívat ve formulaci potřebných požadavků a výběru vhodných komponent, které umožní realizaci nápadu. Třetí fáze je vlastní vytvoření prototypu z vybraných komponent a napsání softwaru pro zařízení.

Konečné zařízení se bude skládat ze dvou samostatných modulů. Jeden z nich bude označován jako interní nebo vnitřní modul, namontován na křídle dveří v oblasti zámkové vložky, a druhý jako externí nebo vnější modul, který bude instalován na vnější straně dveří, nebo v její blízkosti na vhodném místě. Externí modul je zodpovědný za interakci s uživatelem a obsahuje klávesnici a skener RFID a také modul pro zvukovou zpětnou vazbu. Externí modul komunikuje bezdrátově s interním modulem, který ovládá klíč nebo jeho náhradu v zámkové vložce a realizuje funkce otevírání a zavírání zámku.

# Kapitola 2

## Průzkum trhu

Tato kapitola se zabývá analýzou trhu inteligentních elektronických zámků. Všechny tyto zámky a jejich ceny jsou aktuální v době psaní této práce. Výběr zařízení pro srovnání byl proveden na základě tematických článků a hodnocení, v nichž se tato zařízení vyskytovala (např. výběr z The New York Times [1]). Lze tedy předpokládat, že prezentovaná zařízení jsou známými zástupci ve své třídě a cenové kategorii. Cílem srovnání bylo určit hlavní funkce a výhody inteligentních elektronických zámků pro další použití při vývoji vlastního zařízení. Analýza byla rozdělena do dvou částí. V první části se porovnává způsoby interakce s inteligentními elektronickými zámky v závislosti na jejich ceně a typu. Druhá část se zabývá dalšími funkcemi, které tato zařízení poskytují svým uživatelům.

### 2.1 Analýza typů a způsobů interakce s inteligentními zámky

Chytré elektronické zámky lze rozdělit na dva typy podle způsobu instalace. Tyto dva typy jsou zámky, které vyžadují výměnu mechanismu dveří, a zámkové adaptéry. Tyto typy budou dále pro zjednodušení označovány jako náhrada a adaptér. První z nich nahrazuje celý zámek, zatímco druhý vyžaduje pouze výměnu části zámku nebo instalován nad stávajícím mechanismem. V tabulce 2.1 je uveden seznam zařízení vybraných pro analýzu, jejich typ a cena.

| Název zařízení                       | Dále pod názvem | Typ     | Cena (Kč) |
|--------------------------------------|-----------------|---------|-----------|
| Aquara n100 [2]                      | Aquara          | Náhrada | 7800      |
| Xiaomi Automatic Smart Door Lock [3] | Xiaomi          | Náhrada | 7000      |
| Samsung SHP-DS510 [4]                | Samsung         | Náhrada | 6400      |
| Kwikset Halo Touch [5]               | Kwikset         | Náhrada | 3400      |
| Wyze Lock Bolt [6]                   | Wyze Lock       | Náhrada | 1500      |
| August Wi-Fi Smart Lock [7]          | August          | Adaptér | 4800      |
| Nuki 3.0 [8]                         | Nuki 3.0        | Adaptér | 3900      |
| Danalock V3 [9]                      | Danalock        | Adaptér | 3500      |
| SwitchBot Lock [10]                  | SwitchBot Lock  | Adaptér | 3000      |

**Tabulka 2.1.** Seznam zámků vybraných pro srovnání.

Oba typy zámků výborně plní hlavní funkci otevírání a zavírání dveří a poskytují uživateli další pohodlí a funkce oproti běžným dveřním zámkům. Každý z nich má však ve vztahu k tomu druhému své výhody a nevýhody. Náhradní zámky jsou spolehlivější, ale jejich instalace je náročnější. Vyplatí se ujistit, že vybraný zámek je vhodný pro instalaci do vašich dveří. Naproti tomu montáž adaptérového zámku nevyžaduje mnoho úsilí; montuje se na vnitřní stranu dveří v oblasti zámkové vložky, aniž by bylo nutné

| Název zařízení | Klávesnice | RFID | Otisk prstu | BT/WiFi | Nouz. přístup |
|----------------|------------|------|-------------|---------|---------------|
| Aquara         | Ano        | Ano  | Ano         | Ano     | Ano           |
| Xiaomi         | Ano        | Ano  | Ano         | Ano     | Ano           |
| Samsung        | Ano        | Ano  | Ne          | Ne      | Ano           |
| Kwikset        | Ne*        | Ne   | Ano         | Ano     | Ano           |
| Wyze Lock      | Ano        | Ne   | Ano         | Ne      | Ne            |
| August         | Ne         | Ne   | Ne          | Ano     | Ne            |
| Nuki 3.0       | Ne*        | Ne   | Ne          | Ano     | Ne            |
| Danalock       | Ne*        | Ne   | Ne          | Ano     | Ne            |
| SwitchBot Lock | Ne*        | Ne*  | Ne*         | Ano     | Ne            |

**Tabulka 2.2.** Porovnání zámků podle způsobu interakce.

demontovat zámek nebo dveře. Tato možnost má výraznou výhodu zejména v nájemních bytech nebo ubytovnách. Na úkor své univerzálnosti však mají i nevýhody. Tabulka 2.2 porovná výše uvedené zámky z hlediska možností interoperability, které nabízejí uživatelům.

Přítomnost klávesnice znamená, že elektronický zámek je schopen ukládat hesla do paměti zařízení a přijímat jejich zadávání. Položka RFID signalizuje, že zařízení je schopno číst elektronické karty a klíče. Otisk prstu znamená, že zařízení je rovněž schopno snímat biometrický otisk prstu a poskytovat možnost ovládat zařízení na základě tohoto otisku. BT/WiFi označuje, že zařízení má schopnost připojit se k jiným zařízením nebo k domácí internetové síti. Po připojení k Bluetooth je zařízení často schopno detekovat blízkost zařízení, které bylo dříve přidáno do seznamu přístupových zařízení, což pak umožňuje otevřít zámek zcela bezkontaktně pouhým přiložením telefonu. Poslední uvedený bod znamená, že zařízení umožňuje v případě potřeby otevřít zámek klíčem.

Je třeba poznamenat, že k mnoha uvedeným zařízením je možné zakoupit přídatný modul, který rozšiřuje jejich funkčnost o nové možnosti, ale cena tohoto modulu může činit více než 50% ceny zařízení (např. klávesnice pro zámek Danalock V3 [11]). V takovém případě je v tabulce 2.2 políčko označeno hvězdičkou.

Z tohoto srovnání je zřejmé, že zámek, který nahrazuje uzamykací mechanismus dveří, má větší počet způsobů interakce než adaptéry. Je to proto, že když je zařízení nainstalováno uvnitř dveří, je snadné připojit externí komponenty, jako jsou klávesnice a skenery, k části odpovědné za ovládání zamykacího mechanismu, takže je možné zařízení vybavit více funkcemi s menším úsilím. V případě adaptérů je nutné vyřešit problém synchronizace modulu uvnitř a vně místnosti, a proto většina adaptérových zámků používá jako hlavní způsob interakce s uživatelem bezdrátové připojení.

## 2.2 Analýza dalších funkcí inteligentních zámků

Kromě způsobů interakce s chytrým zámkem nabízejí výrobci uživatelům řadu funkcí, které mohou být zaměřeny jak na zvýšení uživatelského komfortu, tak na zajištění dodatečného zabezpečení. V tabulce 2.3 jsou tyto funkce uvedeny a je označeno, která zařízení jimi disponují.

Druhý sloupec ukazuje možnost připojení elektronického zámku ke službám Apple HomeKit nebo jeho ovládání hlasovými asistenty Amazon Alexa nebo Google Assistant.

V této tabulce jsou některé položky označeny hvězdičkou, což znamená, že existují zařízení s podporou chytré domácnosti nebo hlasového asistenta, ale to závisí na verzi zařízení, kterou je třeba při nákupu upřesnit.

| Název          | Připojuje se k | Bezpečná vložka | Sledování | Bezpečná hesla | Detekce vloupání |
|----------------|----------------|-----------------|-----------|----------------|------------------|
| Aquara         | Amazon/Google  | Ano             | Ano       | Ano            | Ano              |
| Xiaomi         | Apple HomeKit  | Ano             | Ano       | Ano            | Ano              |
| Samsung        | Amazon/Google  | Ano             | Ano       | Ano            | Ano              |
| Kwikset        | Amazon/Google  | Ano             | Ano       | Ne             | Ne               |
| Wyze Lock      | Amazon/Google  | Ne              | Ano       | Ano            | Ne               |
| August         | Ne             | Ne              | Ano       | Ne             | Ne               |
| Nuki 3.0       | Apple HomeKit* | Ne              | Ano       | Ne             | Ne               |
| Danalock       | Ne*            | Ne              | Ano       | Ne             | Ne               |
| SwitchBot Lock | Amazon/Google  | Ne              | Ano       | Ne             | Ne               |

**Tabulka 2.3.** Porovnání doplňkových funkcí zámků.

Další funkce se týkají zabezpečení, které tato zařízení nabízejí svým uživatelům. Například zámky adaptéry neposkytují dodatečnou ochranu uzamykací vložky, protože se montují na dveře, aniž by nahrazovaly některou z komponent uzamykacího mechanismu. Výrobci zámků, které zcela mění mechanismus, na svých webových stránkách uvádějí, že jejich zámkové vložky byly dodatečně certifikovány a testovány proti vloupání.

Možností správy zařízení je možnost sledování přístupu k zámku, tj. sledovat, kdy a který oprávněný uživatel zámeček otevřel nebo zavřel.

Režim zabezpečeného hesla je možnost zadat na klávesnici delší sekvenci čísel, v níž se skryje správná kombinace, která umožní přístup. Tato funkce pomáhá udržet heslo v bezpečí a co nejvíce ztížit jeho zkopírování případným neoprávněným osobám. Většina zámků typu adaptér má také tuto funkci, ale jak je uvedeno výše, nejsou vybaveny klávesnicí ve standardní výbavě.

Detekce neoprávněného vniknutí znamená schopnost zařízení signalizovat prostřednictvím sirény a/nebo elektronického oznámení, že došlo k vloupání, což umožňuje včasné přijetí opatření.

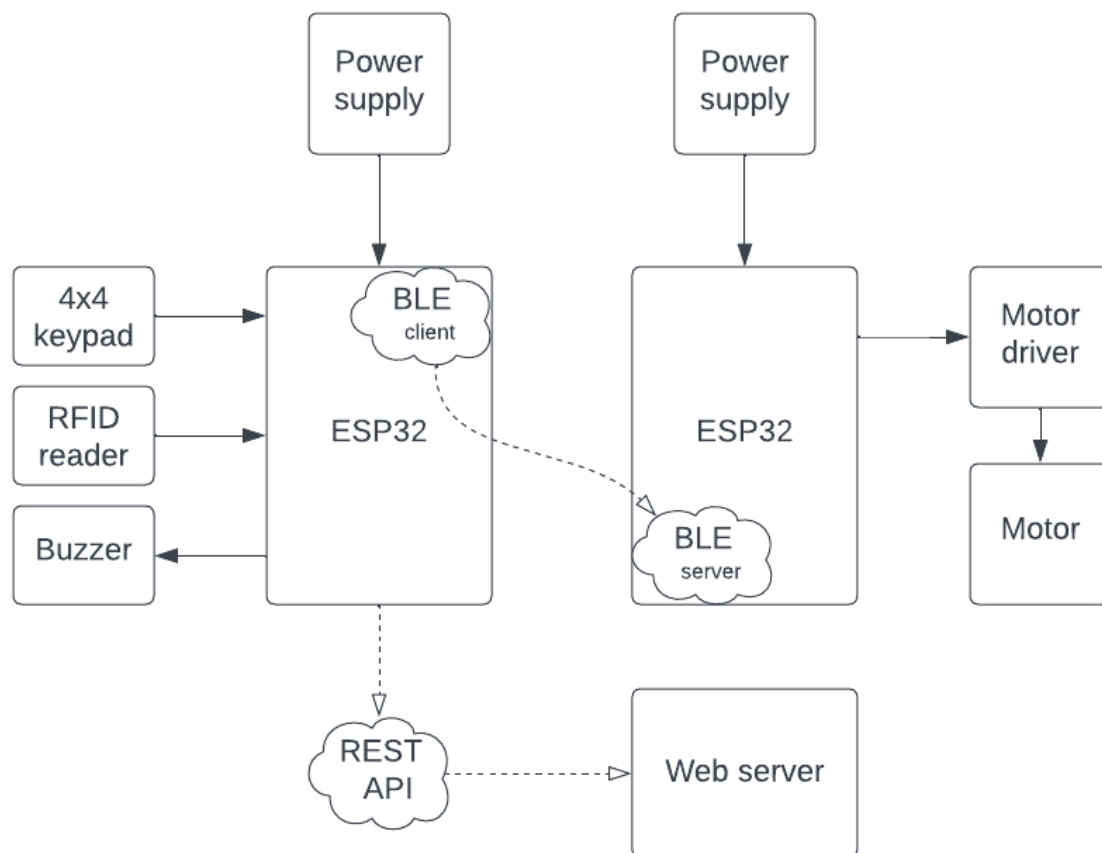
Tabulka 2.3 již jasně ukazuje rozdíly mezi drahými modely náhradních zámků a ostatními zástupci na seznamu. Poskytují více funkcí, které zvyšují pohodlí a bezpečnost.

# Kapitola 3

## Návrh konceptu

Jako základ byl zvolen typ elektronického zámku adaptéru. Tento typ zařízení je univerzálnější, snadno se instaluje a nevyžaduje výměnu žádné části mechanismu dveří. Bylo rozhodnuto vybavit prototyp klávesnicí a čtečkou karet RFID, aby jej bylo možné používat bez dalších zařízení. Z předchozí kapitoly je zřejmé, že všechna moderní elektronické zámky poskytují možnost sledovat činnost zařízení, takže prototyp bude mít i tuto funkci. Bude také implementována funkce zabezpečeného zadávání hesel.

Schéma konečného zařízení je znázorněno na obrázku 3.1. Zařízení se skládá ze dvou samostatných částí. Každá z nich obsahuje mikrokontrolér a komponenty nezbytné pro realizaci všech zamýšlených funkcí. Externí část zařízení obsahuje klávesnici a skener RFID, interní část je zodpovědná za příjem signálů z první a za ovládání motoru, který následně otáčí klíčem nebo jeho náhradou. Každý díl je v pevném pouzdře vytištěném na 3D tiskárně.

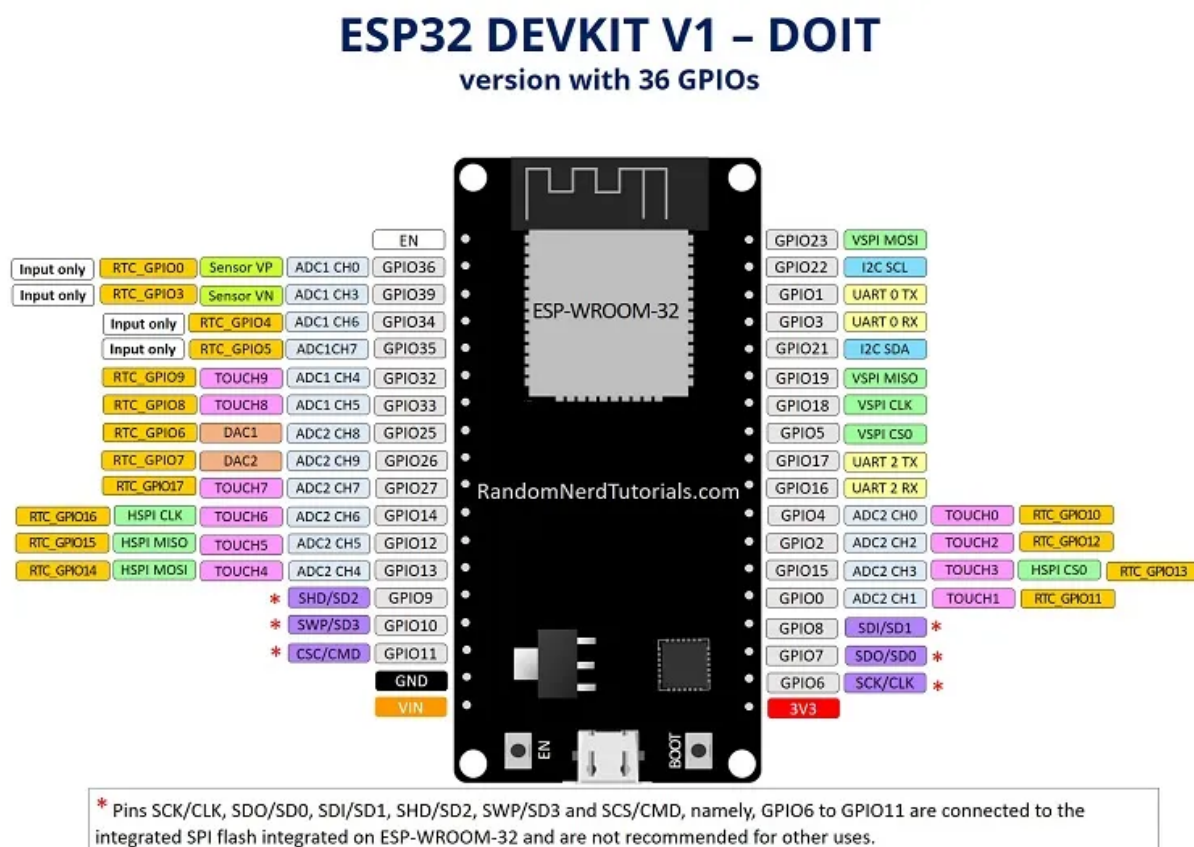


Obrázek 3.1. Blokové schéma projektu.

### 3.1 Mikrokontrolér (systém na čipu)

Systém na čipu, známý také jako SoC, je integrovaný obvod, který využívá jednu platformu a zahrnuje do ní celý elektronický nebo počítačový systém. Přesně jak název napovídá, jedná se o celý systém na jednom čipu. Součásti, které SoC v sobě obvykle obsahuje, zahrnují mimo jiné centrální procesorovou jednotku, vstupní a výstupní porty, vnitřní paměť a také analogové vstupní a výstupní bloky. V závislosti na druhu systému, který byl zmenšen na velikost čipu, může vykonávat řadu funkcí včetně zpracování signálu, bezdrátové komunikace, umělé inteligence a dalších [12]. Většina dnešních elektronických zařízení má nějaký systém na čipu, který je srdcem a mozkiem zařízení a provádí předem stanovené algoritmy na základě přijatých dat.

Pro tento projekt byl vybrán systém na bázi čipů řady Esp32 od čínského výrobce Espressif Systems. Esp32 je řada nízkonákladových systémů založených na mikrokontrolérech s nízkou spotřebou energie. Vývojová deska je založená na dvoujádrovém procesoru Tensilica LX6, jehož taktovací frekvence je nastavitelná od 80 MHz do 240 MHz, součástí je 520kB paměti RAM a vnitřní paměť 4MB SPI Flash pro uživatelské aplikace. Významnou výhodou pro projekt je to, že modul dokáže bezdrátově komunikovat po rozhraní WiFi 2,4GHz a Bluetooth 4.0 díky integrované anténě. Existuje podpora Arduino IDE a s NodeMCU [13].



Obrázek 3.2. Pinout Esp32.

Mnoho firem vyrábí vývojové desky založené na tomto mikrokontroléru. Obrázek 3.2 ukazuje vývojovou desku a popis I/O pinů od výrobce Doit model development kit v1. Tato deska byla vybrána především z důvodu kombinace dostupnosti a množství

vestavěných funkcí. Vysoký výkon, vysoký počet pinů a integrovaná anténa umožňují realizovat všechny zamýšlené funkce projektu a minimalizovat počet dalších elektronických součástek. Také podpora vývojového prostředí Arduino IDE zjednoduší proces vývoje softwaru, jelikož díky obrovské komunitě je pro projekt k dispozici velké množství HW modulů a SW knihoven

## 3.2 Externí modul zařízení

Esp32 je společný pro oba moduly komponent. Tato kapitola specifikuje komponenty potřebné k realizaci externího modulu. Hlavní funkcí externího modulu je interakce s uživatelem, tj. zadání hesla a naskenování klíče RFID a následné vysílání signálů do interního modulu na základě přijatých dat.

### 3.2.1 Klávesnice

Maticová klávesnice, je skupina spínačů zapojených do matice X-Y nebo řádek-sloupec. Stisknutím tlačítka se propojí řádek se sloupcem, po zpracování vstupních signálů matice lze určit, které tlačítko bylo stisknuto.

Uspořádáním tlačítek do matice na rozdíl od jejich přímého připojení ke vstupním pinům lze obvykle snížit množství kabeláže, což zjednodušuje zapojení. Pro tento projekt byla zvolena numerická membránová klávesnice velikosti 4x4 (obrázek 3.3). Dodatečné klávesy klávesnice (A-D) se použijí k ovládání funkcí zařízení.



Obrázek 3.3. Membránová klávesnice 4x4 [14].

Maticové klávesnice jsou levné a snadno dostupné. Hlavním faktorem při výběru klávesnice je proto kvalita sestavy a vhodná velikost a způsob připojení. V tomto případě má klávesnice 8 otvorů pro připojení zařízení k vodičům nebo sběrnici, z nichž 4 odpovídají řádkům a 4 sloupcům maticové klávesnice.

### 3.2.2 Čtečka RFID

Radiofrekvenční identifikace (RFID) využívá elektromagnetické pole k automatické identifikaci a sledování značek připevněných k objektům. Systém RFID se skládá z malého rádiového transpondéru, rádiového přijímače a vysílače. Po aktivaci elektromagnetickým dotazovacím impulzem z blízkého čtecího zařízení RFID vysílá šíteček zpět do čtečky digitální data, obvykle identifikační číslo [15].

Pro tento projekt byl vybrán modul RC522 zobrazený na obrázku 3.4, který je zodpovědný za čtení karet a tagů RFID.



**Obrázek 3.4.** RFID modul RC522 [16].

Malé rozměry, cenová dostupnost a vhodné vlastnosti pro projektové účely byly hlavními důvody pro výběr tohoto modulu. Tato čtečka umožňuje čtení karet a čipů typu Mifare1 S50, S70, Mifare1 Mifare UltraLight, Mifare Pro, Mifare DESFire. Nízký pracovní proud v rozmezí 13-26 mA, proud v režimu spánku nepřekročí 80uA, a vynikající vzdálenost pro čtení karet a čipů až 60 mm - to byly také důvody pro výběr tohoto skeneru.

### ■ 3.2.3 Zpětná vazba

Zpětná vazba označuje upozornění uživatele na to, co se zařízením provedl. Tak, aby bylo snadno pochopitelné, že zařízení přijalo vstup z klávesnice nebo skeneru RFID. V tomto projektu byla dána přednost piezodynamickému bzučáku, který bude vydávat zvuk při stisknutí tlačítek klávesnice, skenování karet a čipů a při provádění dalších funkcí modulu.

Obrázek 3.5 ukazuje bzučák použitý v projektu.



**Obrázek 3.5.** Aktivní bzučák 3.3V [17].

### ■ 3.2.4 Napájení externího modulu

V tomto projektu je vyloučena jakákoli forma externího kabelového napájení, aby byla zachována univerzálnost a snadnost použití a instalace zařízení, proto je nutné uvažovat



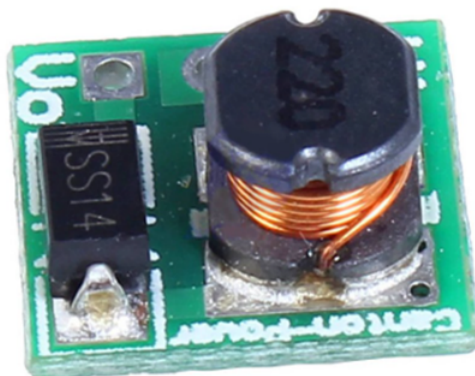
o napájení z baterie nebo akumulátoru. V takovém případě je důležité předem znát potřebné parametry pro napájení a správnou funkci všech součástí jednotky, aby bylo možné zajistit potřebné napájení při zachování snadného používání.

Podle tabulek 8 a 17 z dokumentace výrobce mikrokontroléru Esp32 [18] nepřekročí spotřeba kontroléru spolu s bzučákem a čtečkou RFID 350 mA při provozním napětí 3,3 V. Vycházejí z těchto údajů, byla zvolena varianta s napájením ze dvou li-ion baterií s použitím měniče napětí na 3,3V.

Impulsní měnič DC/DC je elektronický obvod, který obsahuje indukční cívku. Je cyklicky připojován a odpojován od zdroje napájení. Protože cívku je třeba cyklicky nabíjet, musí obvod obsahovat také kondenzátor, který filtruje elektrický signál a udržuje hodnotu výstupního napětí. Tranzistor nebo tyristor funguje jako regulační prvek, který řídí časování toku elektrického proudu. Měniče DC/DC pulzního typu jsou založeny na jevu indukčnosti. Při přerušení proudu protékajícího cívku se v magnetickém poli indukovaném kolem cívky vytvoří elektromotorické napětí a na svorky cívky se přivede napětí s opačnou polaritou. Řízením proudu a doby spínání obvodu je možné nastavit vlastní indukční napětí [19].

Obrázek 3.6 ukazuje zvolený regulátor napětí pro externí modul z 3 V na 3,3 V, který zajistí potřebné napájení jednotky. Malá velikost 11x10.6x7.5mm byla dalším argumentem pro volbu tohoto modulu. Při vstupním napětí 3 V je schopen poskytnout až 480 mA.

Hlavní nevýhodou je vyšší zvlnění proudu, vyšší vstupní/výstupní kapacita, vyšší ztráty. Toto řešení však umožňuje zjednodušit schéma zapojení při zachování požadované úrovně napětí.

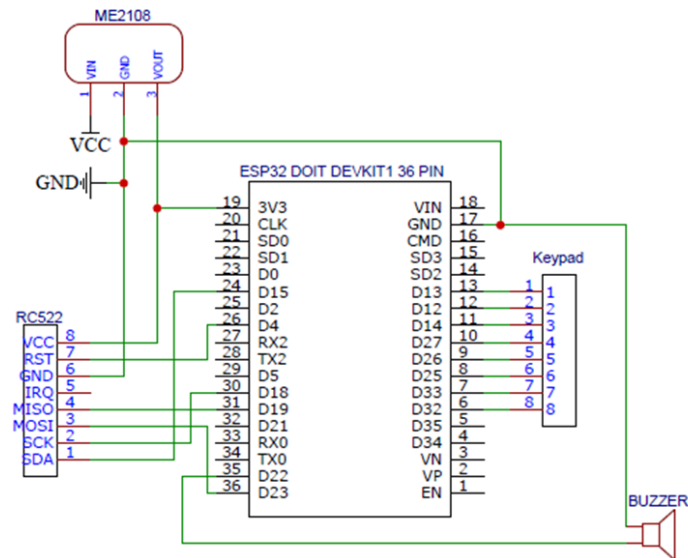


Obrázek 3.6. Step-up měnič ME2108 [20].

### ■ 3.2.5 Schéma zapojení externího modulu

K vytvoření schématu zapojení a desky plošných spojů byl použit software EasyEDA [21], který nabízí praktický nástroj pro realizaci schémat zapojení a rozsáhlou knihovnu různých komponent přidávaných uživateli.

V projektu byly použity některé moduly navržené jinými uživateli, z nichž některé byly upraveny tak, aby odpovídaly počtu pinů nebo skutečné velikosti součástky. Chybějící komponenty byly navrženy pomocí nástrojů programu podle skutečných velikostí a parametrů komponent. Obrázek 3.7 ukazuje konečné schéma zapojení vnější části zařízení.

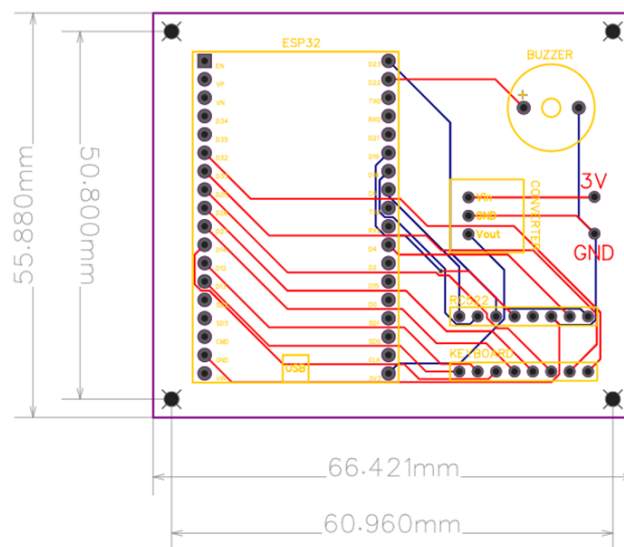


Obrázek 3.7. Schéma zapojení externího modulu.

### 3.2.6 Návrh desek plošných spojů externího modulu

Deska plošných spojů je deska z dielektrického materiálu, na jejímž povrchu a/nebo v jejímž objemu jsou vytvořeny elektricky vodivé obvody elektronického obvodu. Deska s plošnými spoji je určena k elektrickému a mechanickému propojení různých elektronických součástek. Elektronické součástky na desce s plošnými spoji jsou připojeny svými vývody k prvkům vodivého obrazce, obvykle pájením [22].

Jak bylo uvedeno výše, k návrhu desek plošných spojů byly použity nástroje poskytované aplikací EasyEDA. Obdélníková deska plošných spojů se skládá ze dvou vrstev, vodivé stopy jsou široké 0,254 mm a standardní vzdálenost mezi připojovacími otvory 2,54 mm. V rozích každé desky byly vytvořeny otvory pro montáž. Schéma desky je znázorněno na obrázku 3.8. Výroba byla objednána u společnosti JLCPCB [23].



Obrázek 3.8. Deska plošných spojů pro externí modul.

Mikrokontrolér byl k desce připojen pomocí dutinkových lišt, což umožnilo snadné odpojení zařízení pro účely ladění. Ostatní komponenty byly namontovány přímo k desce. V projektu bylo použito samostatné pouzdro na baterie, které bylo rovněž připojeno k desce na určených místech.

### ■ 3.2.7 Ochranný obal externího modulu

Obal zařízení byl vyroben pomocí technologie 3D tisku. Výsledkem tohoto řešení byl robustní kryt, který dokonale odpovídal velikosti vybraných komponent. Pro návrh obalu bylo nutné vytvořit 3D model se zadanými parametry a k tomuto účelu byl použit program Autodesk Fusion 360 [24]. K výrobě (tisku) byla použita 3D tiskárna společnosti Flying Bear Ghost 6 [25] s použitím filamentu eSun PETG [26]. Model připravený k tisku v takzvaném programu sliceru UltiMaker Cura [27].

Konečný obal externího modulu je malá dvoudílná krabička s výřezem pro klávesnici na přední straně krytu. Ve spodní části je otvor pro zapnutí a vypnutí jednotky. Na obou bočních stranách jsou dva otvory pro spolehlivé uzavření krytu pro šroub standardní velikosti M2. Velikost sestaveného modulu na obrázku 3.9 je 96x75x46 mm.



Obrázek 3.9. Obal externí části.

## ■ 3.3 Interní modul zařízení

Vnitřní modul je určen k upevnění na dveřní křídlo v oblasti zámku. Adaptér spojuje motor se zámkem nebo jeho náhradou v zámkové vložce. Po obdržení signálu z vnějšího modulu působí motor na klíč a uvádí do činnosti mechanismus zámku, který otevírá nebo zavírá dveře.

### ■ 3.3.1 Motor

Stejnoseměrný motor (DC) je typ elektrického stroje, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou. Stejnoseměrné motory přijímají elektrickou energii prostřednictvím stejnosměrného proudu a přeměňují ji na mechanickou rotaci.

Stejnoseměrné motory využívají magnetické pole, které vzniká z generovaných elektrických proudů a které pohání pohyb rotoru upevněného ve výstupním hřídeli. Výstupní točivý moment a otáčky závisí na elektrickém vstupu i na konstrukci motoru [28].

Motor hraje v tomto projektu klíčovou roli, protože právě motor pohání zamykací mechanismy a umožňuje zařízení odemkat a zamykat dveře. Vlastní měření provedená na několika zámcích ukázala, že síla potřebná k působení na běžný zámek se pohybuje

v rozmezí 8-10 kg\*cm (0,8-1 N\*m). Na základě těchto údajů byl vybrán vhodný motor, který je uveden na obrázku 3.10. Jedná se o motor JGY370 s převodovkou a konečným točivým momentem 12 kg\*cm a maximální rychlostí 20 ot/min [29]. Motor vyžaduje k provozu napětí 12V a maximální výkon je 3W.

Tento motor byl dodán s magnetickým enkodérem v zadní části. Enkodér bude použit k přesnému určení otáček motoru.



Obrázek 3.10. DC motor JGY370 s převodovkou.

### ■ 3.3.2 Ovládání motoru

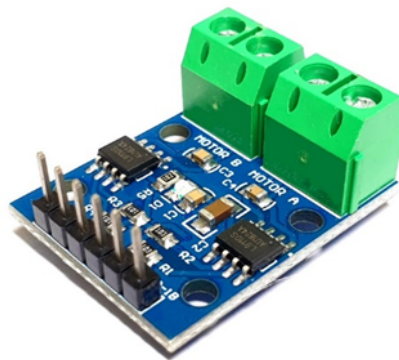
K řízení směru otáčení DC motoru lze použít tzv. H-můstek který je elektronickým obvodem, tento obvod umožňuje průchod proudu zátěží v přímém i zpětném směru. Pokud je k tomuto obvodu připojen stejnosměrný motor, bude se točit buď ve směru hodinových ručiček, nebo proti směru hodinových ručiček. Velikost proudu je možné modulovat také přepínáním klíčů pomocí signálu PWM [30].

Pro projekt byl vybrán hotový modul založený na čipu L9110S [31]. Malý modul [32] s možností ovládat dva motory současně je zobrazen na obrázku 3.11.

Tento modul má následující parametry:

- Typ: čip 2 x L9110S
- Vstupní napětí 2.5-12VDC
- Trvalý proud, až 800mA, na kanál
- TTL / CMOS kompatibilní
- Rozměry: 28x21mm

V tomto projektu bude použit pouze jeden výstup pro motor, druhý zůstane nevyužitý. Pro připojení k desce plošných spojů bylo nutné změnit orientaci vstupních pinů a odstranit plastové svorkovnice a nahradit je výstupními piny.



Obrázek 3.11. H-můstek L9110S modul.

### ■ 3.3.3 Napájení interního modulu

Vnitřní modul se skládá ze dvou hlavních součástí: motoru a mikrokontroléru Esp32, které vyžadují napájení 12 V a 3,3 V. V důsledku toho je třeba zajistit několik napájecích zdrojů nebo použít již výše zmíněné regulátory napětí. Pro tento projekt byla zvolena druhá možnost.

Bylo rozhodnuto napájet zařízení pomocí 6V zdroje sestávajícího ze 4 baterií nebo akumulátorů typu AA. V souladu s tím je pro provoz motoru zapotřebí regulátor zvyšující napětí z 6 V na 12 V a regulátor snižující napětí z 6 V na 3,3 V pro provoz mikrokontroléru, k němu bude připojen také enkodér

Obrázek 3.12 ukazuje step-up regulátor napětí XL6009 [33]. Vstupní napětí je 5-35 V a výstupní napětí je rovněž 5-35 V. Výstupní napětí lze nastavit otáčením proměnného rezistoru na těle jednotky.



Obrázek 3.12. Step-up měnič XL6009.

Na obrázku 3.13 je znázorněn step-down regulátor napětí LM2596 se vstupním napětím 4,5-40 V a výstupním napětím 3-35 V. Výstupní napětí lze také nastavit změnou odporu rezistoru.

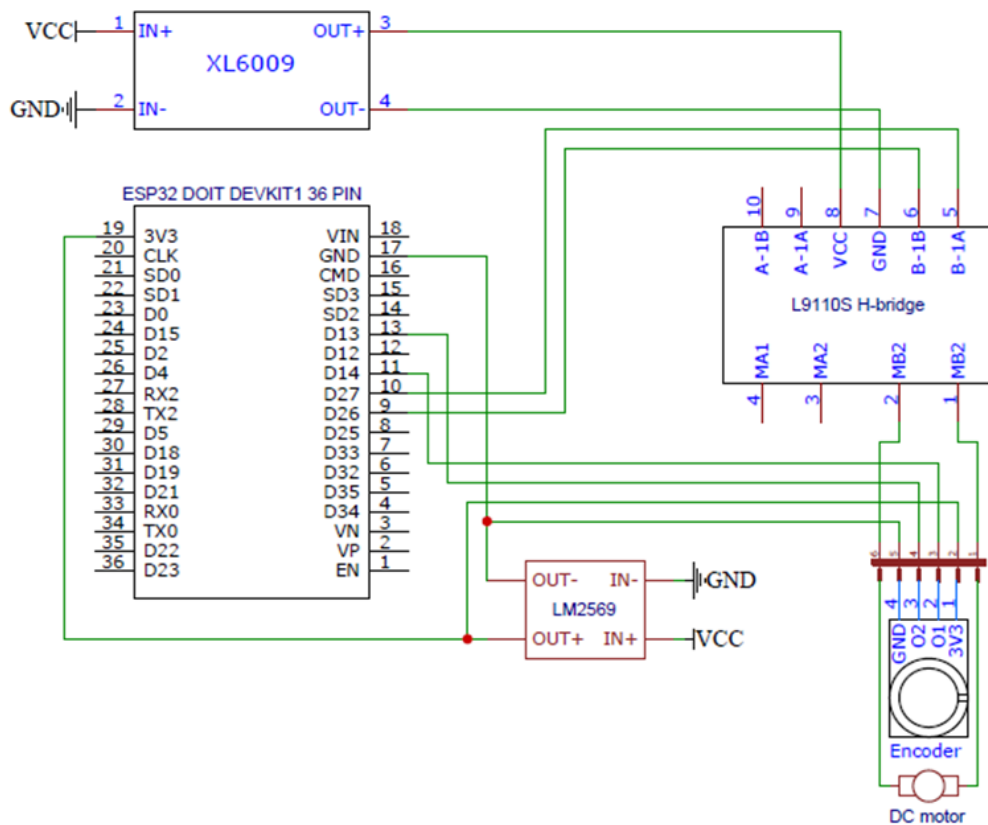
Oba moduly mají malé rozměry, pro připojení používají dva vstupy a dva výstupy a mají více než dostatečné parametry pro řádné napájení modulu.



Obrázek 3.13. Step-down měnič LM2569 [34].

### 3.3.4 Schéma zapojení interního modulu

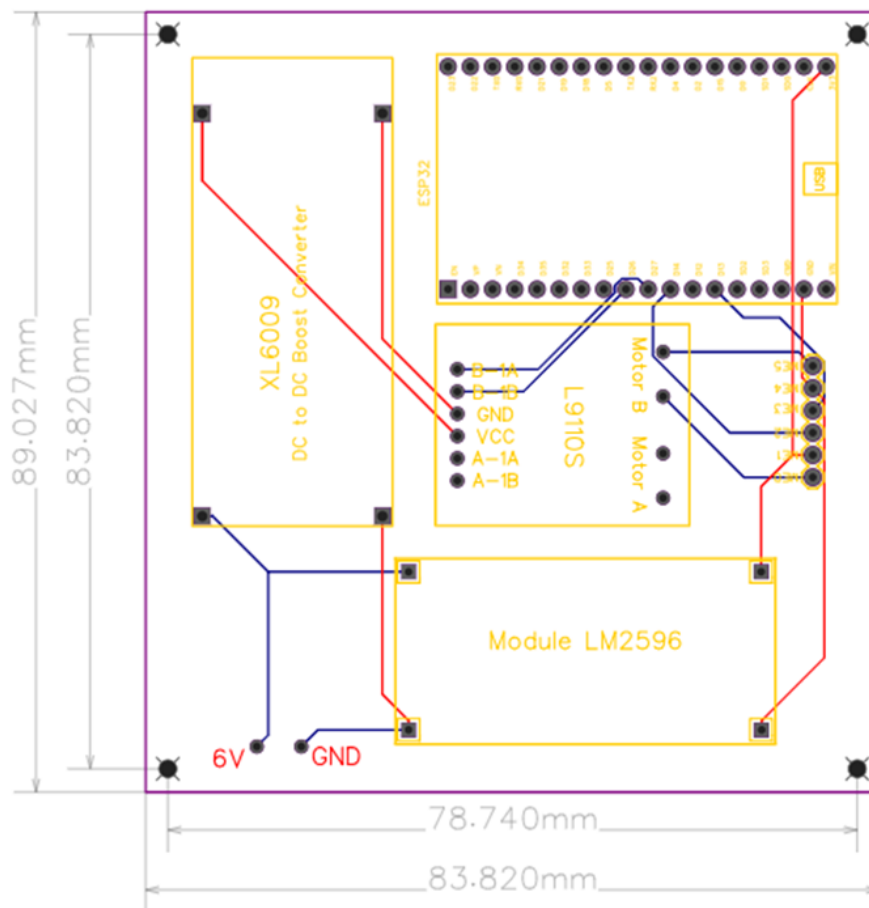
Obrázek 3.14 níže ukazuje schéma zapojení vnitřního modulu.



Obrázek 3.14. Schéma zapojení interního modulu.

### 3.3.5 Návrh desek plošných spojů interního modulu

Deska plošných spojů pro interní modul, která je znázorněna na obrázku 3.15, je vyrobena stejnou technologií a nástroji jako pro externí modul.



Obrázek 3.15. Deska plošných spojů pro interní modul.

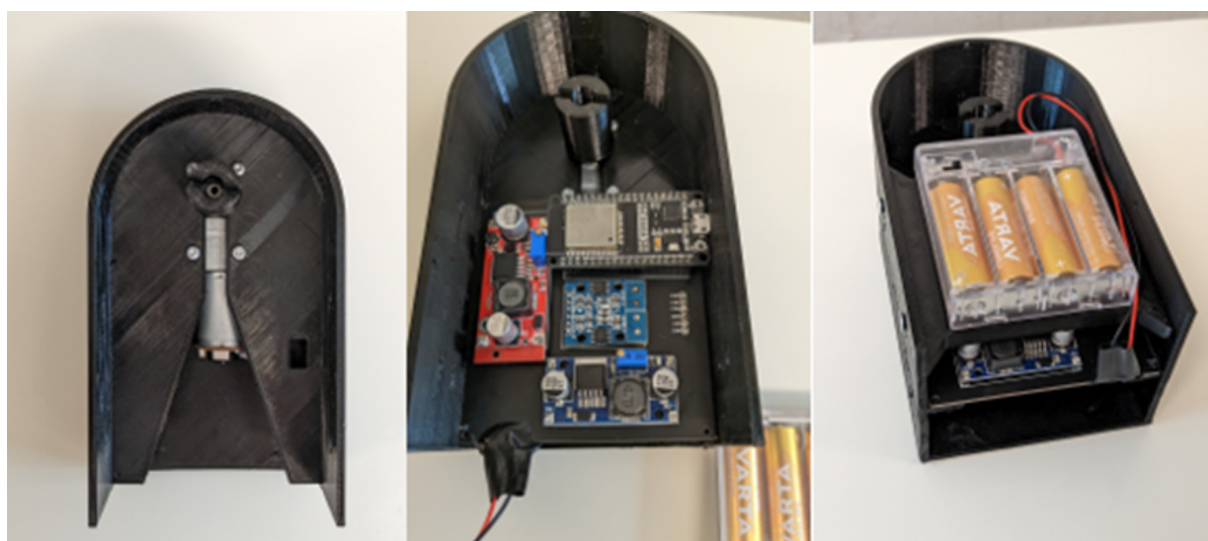
Mikrokontrolér a h-můstek byly k desce připojeny pomocí dutinkových lišt, ostatní komponenty byly namontovány přímo na desku. Připojovací kolíky motoru byly vzhledem k plánovanému designu finální jednotky vedeny na druhou stranu. Pouzdro baterie bylo stejně jako u externího modulu oddělené a připojené ke konektorům na desce.

### 3.3.6 Ochranný obal interního modulu

Obal pro vnitřní modul se skládal ze dvou hlavních částí a dvou doplňkových částí. Hlavními částmi (obrázek 3.16) jsou zadní kryt, který je díky svému tvaru a třem šroubům připevněn k zámkové vložce a zajištěn k ní, druhá část obsahuje všechny součásti zařízení včetně motoru. Dalšími částmi (obrázek 3.17) jsou odnímatelná polička, která je namontována uvnitř pouzdra a na níž je připevněn bateriový blok. Další přídatnou částí je adaptér ve tvaru klíče pro motor, který umožňuje aplikovat točivý moment motoru na otáčení klíče ve vložce zámku. Na obrázku je také konečné uspořádání komponent uvnitř obalu.



Obrázek 3.16. Obal interního modulu.



Obrázek 3.17. Komponenty uvnitř obalu.



# Kapitola 4

## Návrh softwaru

K napsání programu pro zařízení byl použit software ArduinoIDE. Díky kompatibilitě s mikrokontroléry rodiny Esp32 a velké uživatelské podpoře ze strany výrobců HW a softwaru bylo možné najít velké množství hotových knihoven, což usnadnilo psaní kódu.

Hlavní výzvou při navrhování a psaní softwaru pro chytrá elektronická zařízení napájená z baterií nebo akumulátorů je autonomie nebo jinými slovy energetická účinnost. Správné naprogramování, které využívá pouze nezbytné zdroje zařízení ve správných časových okamžicích, může výrazně prodloužit životnost baterií a akumulátorů, a tím zlepšit použitelnost celého zařízení.

Hlavní funkcí pro zlepšení energetické účinnosti zařízení v tomto projektu je funkce hlubokého spánku neboli deep sleep [35]. V tomto režimu je většina funkcí mikrokontroléru vypnuta a nespotřebovává žádnou energii.

Procesor lze probudit z hlubokého spánku pomocí časovače, tzv. touchpadu nebo z externího zdroje. První způsob využívá interní časovač RTC, který se při přechodu do hlubokého spánku nevypíná. Odpočítáním nastavené doby časovač vyvolá přerušení, jehož důsledkem je návrat k normálnímu provozu zařízení. Druhá metoda využívá 1 z 10 pinů GPIO kapacitního senzoru. Třetí umožňuje konfigurovat pin tak, aby detekoval změny napětí.

V tomto projektu byla použita první a třetí metoda. Externí modul se probudí z režimu hlubokého spánku po stisknutí klávesy na klávesnici, zatímco interní modul se pravidelně probouzí a ponechává malé okno pro připojení, pokud není zahájeno žádné připojení, vrátí se do režimu spánku. To znamená, že po většinu času jsou obě jednotky v režimu maximální úspory energie.

Frekvence procesoru byla také programově omezena na 80 MHz (výchozí frekvence je 240 MHz) za účelem snížení spotřeby energie.

### 4.1 Komunikace zařízení

Dalším důležitým aspektem, který bylo nutné při psaní programu vyřešit, je jak spolu budou obě části zařízení komunikovat. Je třeba připomenout, že jakékoliv kabelové spojení mezi zařízeními bylo vyloučeno, v důsledku toho se volba zúžila na výběr metody bezdrátového přenosu dat. Mikrokontrolér Esp32 má integrovanou anténu, což umožňuje používat bezdrátové komunikační protokoly, jako jsou Wi-Fi, Bluetooth a Bluetooth Low Energy (BLE), bez dalších modulů. Výběr komunikačních protokolů se v tomto projektu omezil na volbu mezi vlastním protokolem ESP-NOW [36], který pracuje na frekvenci 2,4 GHz, speciálně navrženým společností Espressif pro rychlou a efektivní výměnu krátkých zpráv mezi zařízeními podporujícími tento protokol, a BLE [37], který pracuje na stejné frekvenci a který je energeticky úspornou verzí rozšířené technologie Bluetooth.

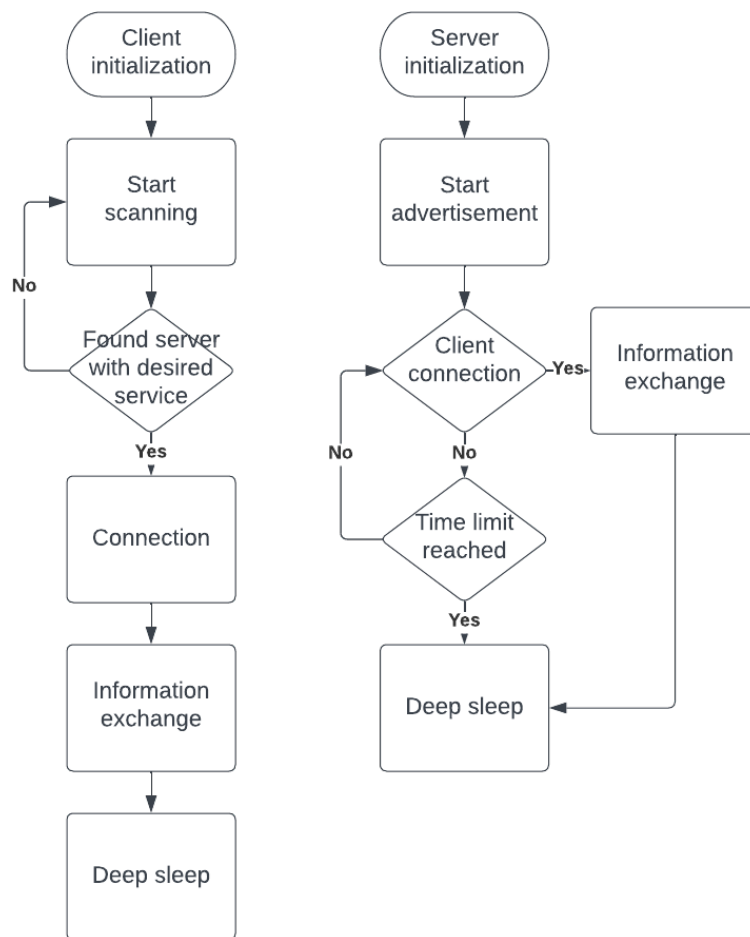
Na základě údajů uvedených v diplomové práci Sizena Neupaneho z Grand Valley State University z prosince 2018 [38], která studuje a porovnává tři protokoly bez-

drátové komunikace: nRF24L01+, BLE a ESP-NOW, bylo rozhodnuto použít BLE, protože byl při testech energeticky úspornější než ESP-NOW.

Technologie BLE zahrnuje dva typy zařízení, která spolu komunikují, a to klienta a server. Server vyšle signál zvaný advertisement, klient tento signál přijme a naváže spojení. Server pak může poskytovat informace o službách a charakteristikách služby. Tyto služby a charakteristiky jsou označeny takzvaným UUID [39], jehož prostřednictvím může klient vyhledat požadovanou službu a požádat o přístup k ní. Po dokončení všech kroků si klient a server mohou vyměňovat informace. Po skončení výměny informací lze spojení jednostranně ukončit.

V tomto zařízení vykonává funkci klienta externí modul, který po zpracování uživatelského vstupu odešle příkaz internímu modulu. V závislosti na přijatém příkazu se vnitřní jednotka otevře, zavře dveře nebo nedělá nic.

Algoritmus interakce využívající BLE je znázorněn na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1. Schéma interakce zařízení prostřednictvím BLE.

## 4.2 Serverová část pro správce

Součástí projektu bylo také vytvoření webové stránky, která by sloužila ke správě elektronického zámku. Při nastavení zařízení bude možné jej propojit s existujícím účtem na této stránce, po jehož spuštění bude možné získávat údaje o interakci se zámekem

(logy otevření a zavření), bude možné přidávat a mazat hesla, synchronizovat údaje mezi zařízením a serverem.

Tato webová stránka byla napsána v integrovaném vývojovém prostředí IntelliJ IDEA verze Ultimate [40] v jazyce Java s využitím frameworku Spring [41].

Framework Spring, nebo jednoduše Spring, je jedním z nejpopulárnějších frameworků pro tvorbu webových aplikací v jazyce Java. Pro tento projekt byl vybrán proto, že se jedná o efektivní řešení nabízející bohatou sadu nástrojů pro psaní webových stránek libovolné složitosti.

Úplný seznam použitých technologií:

- Java 17 [42] - programovací jazyk, který poskytuje velké množství nástrojů pro psaní backendových aplikací.
- Maven [43] - nástroj pro automatizaci sestavování projektů.
- Spring security [44] - součást celkového frameworku zodpovědná za registraci, přihlašování, správu a bezpečné ukládání hesel.
- Spring web [45] - nástroj, který poskytuje více způsobů vytváření flexibilních webových služeb.
- JSON Web Token (JWT) [46] - internetový standard pro vytváření dat s volitelným šifrováním, jejichž užitečné zatížení obsahuje JSON.
- Thymeleaf [47] - moderní šablonovací jádro Java na straně serveru pro webové i samostatné prostředí.
- MySQL [48] - systém správy relačních databází.
- MySQL connector Java [49] - oficiální driver JDBC pro MySQL.
- Project Lombok [50] - široce používaná knihovna jazyka Java, která se používá k minimalizaci nebo odstranění šablonovitého kódu.

Pro vzhled a ovládání byl použit open source framework CSS Bootstrap [51].

V tomto okamžiku musí být zařízení a server připojeny ke stejné lokální síti, aby spolu mohly komunikovat. Teoreticky by server mohl být umístěn globálně na internetu a přístupný z libovolné sítě s přístupem k internetu.

Webová stránka nabízí registraci a přihlášení pomocí uživatelského jména a hesla, které si uživatel zvolí. Tyto údaje se následně zadají do zámku, aby zařízení mohlo aktualizovat informace na serveru. Přihlašovací jména a šifrovaná hesla jsou uložena v databázi. Registrační a přihlašovací okno je znázorněno na obrázcích 4.2 a 4.3.

**Registration**

Username

Enter username

Password

Enter password

**Register** Already registered? [Login here](#)

**Obrázek 4.2.** Okno pro registraci uživatele.

## Login Form

Username \*

Password \*

[Login](#) Not registered? [Register/SignUp Here](#)

Obrázek 4.3. Přihlašovací okno.

Po registraci a správném zadání údajů do přihlašovacího pole se otevře hlavní stránka se seznamem hesel a možností přidat k nim jména pro rozlišení. V tabulce je také uvedeno, zda byl k heslu přiřazen klíč RFID, datum poslední interakce se zařízením, zda šlo o otevření nebo zavření zámku, a také možnost zobrazit celou historii interakcí pro konkrétní heslo. Na obrázku 4.4 je zobrazena domovská stránka s výše zmíněnou tabulkou.

Lock access control system Register Logout

### cherniva list of users

| User   | Password | Uid      | Last interaction  | Action | Details              |
|--------|----------|----------|-------------------|--------|----------------------|
| Ivan   | 137482   | 70707070 | 20.05.23 15:31:50 | close  | <a href="#">show</a> |
| Jan    | 981233   |          | 20.05.23 10:23:35 | close  | <a href="#">show</a> |
| Katka  | 312932   | A70088B9 | 20.05.23 12:07:47 | open   | <a href="#">show</a> |
| Viktor | 324724   | CC6544AD |                   |        | <a href="#">show</a> |
| Alice  | 901230   |          | 19.05.23 19:01:22 | close  | <a href="#">show</a> |

Add new user



[Add](#) [Update](#) [Delete](#)

Obrázek 4.4. Hlavní stránka s tabulkou dat.

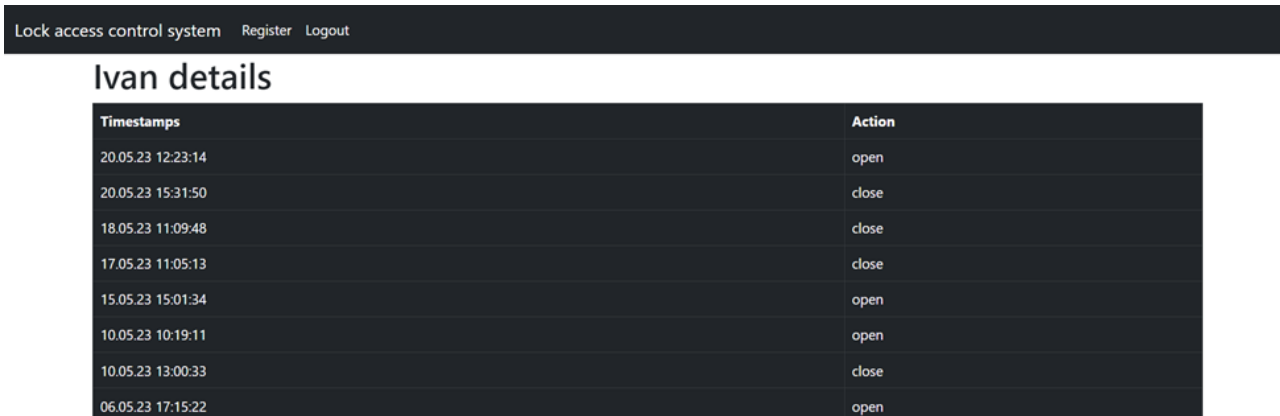
Tabulku lze seřadit podle jména uživatele nebo podle data interakce se zařízením.

Pro přidání nového hesla je třeba vyplnit dvě pole pod tabulkou a kliknout na tlačítko přidat. Nové údaje se okamžitě objeví v tabulce. Alternativním způsobem přidání přihlašovacích údajů je jejich přidání prostřednictvím klávesnice zařízení. Zařízení má funkci přidání hesla, které se okamžitě uloží do paměti a po synchronizaci se serverem se

zobrazí i v tabulce. K tomuto heslu je možné přidat jméno pomocí klávesy pro obnovení na webové stránce.

Data lze odstranit také pomocí funkce na webové stránce nebo v zařízení. Po synchronizaci se data aktualizují na serveru i v zařízení.

Ve sloupci podrobnosti je u každého řádku k dispozici tlačítko `show`, které po kliknutí otevře kompletní seznam interakcí se zámek pomocí příslušného hesla nebo klíče RFID, tato stránka je znázorněna na obrázku 4.5.



| Timestamps        | Action |
|-------------------|--------|
| 20.05.23 12:23:14 | open   |
| 20.05.23 15:31:50 | close  |
| 18.05.23 11:09:48 | close  |
| 17.05.23 11:05:13 | close  |
| 15.05.23 15:01:34 | open   |
| 10.05.23 10:19:11 | open   |
| 10.05.23 13:00:33 | close  |
| 06.05.23 17:15:22 | open   |

**Obrázek 4.5.** Tabulka s údaji o tom, jak konkrétní uživatel zámek otevírá a zavírá.

## 4.3 Komunikace zařízení se serverem

Princip, na kterém je založena komunikace mezi serverem a zařízením, se nazývá REST [52]. Representational State Transfer je způsob vytvoření rozhraní pomocí protokolu HTTP. Samotný REST není standardem ani protokolem. Vývojáři se při vytváření efektivních serverů pro své webové stránky a aplikace řídí principy rozhraní REST API. Tyto principy umožňují vytvářet architekturu serveru pomocí dalších protokolů: HTTP, URL, JSON a XML. Každý objekt na serveru v protokolu HTTP má svou vlastní jedinečnou adresu URL. Rozhraní REST API má 4 metody HTTP, které se používají k působení na objekty na serverech:

- GET (načtení informací)
- DELETE (odstranění dat)
- POST (přidání nebo změna dat)
- PUT (běžná aktualizace dat)

Každý požadavek HTTP má hlavičku, za kterou následuje popis objektu na serveru - to je jeho stav.

Při počáteční konfiguraci si zařízení kromě síťových údajů vyžádá údaje pro připojení k serveru, na základě těchto dat zařízení kontaktuje server pomocí HTTP metody POST na adresu `http://ip_adresa_servru/api/login`. Zařízení odešle přihlašovací údaje a heslo v následujícím tvaru

```
{"username": "...", "password": "..."}

```



Údaje o síťovém připojení a serverech jsou získány od uživatele při prvním zapnutí a po obnovení všech nastavení. Připojení k síti Wi-Fi pomocí knihovny WiFi.h [53] a komunikace se serverem za účelem získání JWT proběhne okamžitě [54], poté se jednotka přepne do standardního provozního režimu.

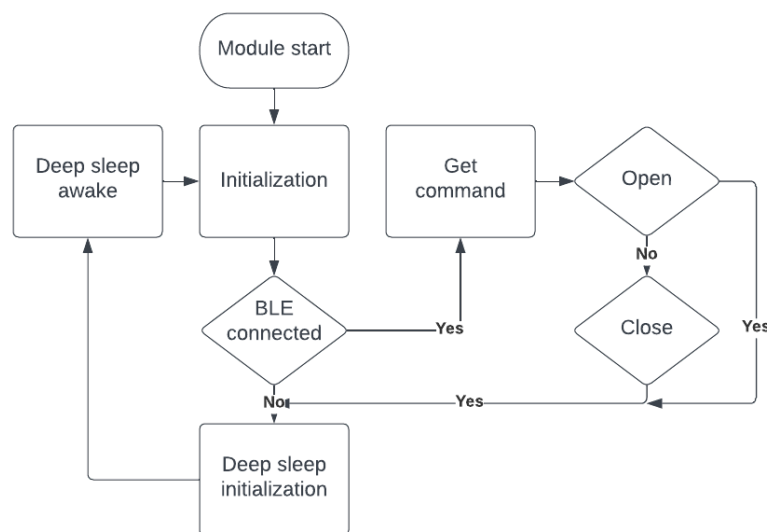
Pro účely načítání dat byl zvolen klasický komunikační protokol Bluetooth, který umožňuje připojení k zařízení pomocí mobilu a zadání všech potřebných údajů. K implementaci této funkce byla použita knihovna BluetoothSerial.h [55] a k připojení k zařízení byla použita aplikace Serial Bluetooth Terminal [56]. Tato volba byla učiněna z důvodu pohodlnosti tohoto protokolu a nemožnosti realizovat zadávání údajů jiným způsobem. Vzhledem k tomu, že se předpokládá, že tato funkce bude použita pouze při prvním spuštění a obnovení nastavení pomocí resetu, nebude mít použití Bluetooth místo BLE vliv na energetickou účinnost zařízení.

Inicializace modulu zahrnuje nastavení pinů GPIO pro klávesnici, skener RFID a piezoelektrický reproduktor. Tyto funkce jsou implementovány bez použití knihoven třetích stran, s výjimkou konfigurace modulu RFID, pro kterou byla použita knihovna MFRC522.h [57]. Princip komunikace a důvody pro použití BLE byly zmíněny výše v kapitole 4.1. K naprogramování těchto funkcí pro oba moduly byly použity třídy z knihovny EPS32\_BLE\_Arduino [58].

Uživatelský vstup je přenesen do samostatného proudu, takže uživatel může začít zadávat heslo nebo RFID, zatímco zařízení se nadále připojuje k internímu modulu. Toto řešení snižuje latenci připojení, a tím zlepšuje uživatelský zážitek při používání zařízení. Všechna hesla a údaje potřebné pro správnou funkci jednotky jsou uloženy v trvalé paměti jednotky. Pro práci s vnitřní pamětí se používá knihovna SPIFFS.h [59].

## 4.5 Program pro interní modul

Funkce vnitřního modulu je mnohem jednodušší a spočívá v tom, že přijímá příkaz z externího modulu a na základě přijatého příkazu rozhoduje o zavření nebo otevření dveří. Tato funkcionality je znázorněna na diagramu uvedeném na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7. Blokový diagram algoritmu interního modulu.

Algoritmus je následující. Po aktivaci čeká zařízení po časový interval 1 na připojení BLE, pokud během této doby není zjištěno žádné připojení, přejde zařízení do režimu spánku na časový interval 2. V této době jsou tyto časové intervaly 3 a 15 sekund. Jejich změnou je možné ovlivnit dobu provozu a použitelnost zařízení (pokud prodloužíte časový interval 2, bude doba provozu vyšší, ale je zde možnost delšího čekání na připojení externího zařízení a možnost předání příkazu). Pokud zařízení zjistí připojení, ověří ho výměnou adres mac zařízení, a pokud ověření proběhne úspěšně, zařízení bude čekat na 1 ze 2 typů příkazů: otevřít nebo zavřít. Zařízení také zjistí, kdy není spojení s externí jednotkou, k tomu dojde, pokud bylo na externí části zadáno nesprávné heslo, vypršel časový limit pro zadání hesla nebo byla externí jednotka nakonfigurována s hlavním klíčem.



# Kapitola 5

## Souhrn dosažených výsledků

V této kapitole je konečné zařízení hodnoceno z hlediska účinnosti, funkčnosti a nákladů.

### 5.1 Náklady na vytvoření prototypu

V tabulce 5.1 je uveden seznam všech součástí a materiálů potřebných ke zhotovení prototypu. Cena všech komponentů je uvedena bez nákladů na dodání. Konečná cena rovněž nezahrnuje baterie nebo dobíjecí baterie pro napájení zařízení.

| Typ a model součásti            | Množství             | Cena (Kč) |
|---------------------------------|----------------------|-----------|
| Doit ESP32 devkit v1            | 2                    | 218       |
| JGY-370 12V motor s převodovkou | 1                    | 350       |
| H-můstek L9110                  | 1                    | 38        |
| Step-up měnič napětí XL6009     | 1                    | 78        |
| Step-up měnič napětí ME2108     | 1                    | 24        |
| Step-down měnič napětí LM2569   | 1                    | 38        |
| Aktivní bzučák 3.3V             | 1                    | 6         |
| Membranová klávesnice 4x4       | 1                    | 90        |
| Čtečka RFID rc522               | 1                    | 58        |
| Bateriový box 4AA               | 1                    | 34        |
| Bateriový box 2AA               | 1                    | 28        |
| PCB                             | 2                    | 20        |
| Dutinková lišta 18 pinů         | 4                    | 16        |
| Šrouby M2                       | 9                    | 30        |
| Šrouby M3                       | 4                    | 12        |
| Materiál pro 3D tisk            | (0.358kg * 445Kč/kg) | 160       |
|                                 | Celkem               | 1200      |

Tabulka 5.1. Seznam a cena komponentů.

### 5.2 Hodnocení funkčnosti prototypu

Hotový prototyp je zařízení sestávající ze dvou samostatných modulů, které jsou nezávisle napájeny. Jeden modul je v projektu označen jako interní modul, který je připevněn k zámkové vložce a otáčí vloženým v ní klíčem. Druhý neboli vnější modul je zařízení malých rozměrů s klávesnicí, pod níž je ukryt skener RFID. Oba spolu komunikují bezdrátově. Zařízení se synchronizuje se serverem a poskytuje údaje o používání. Přístupové údaje je možné měnit jak lokálně v zařízení, tak globálně prostřednictvím webového serveru.

Všechny funkce zařízení zahrnují možnost přidání velkého počtu šestiznakových hesel, možnost jejich odstranění v případě potřeby. Je možné přidávat a ovládat zařízení

pomocí klíčů RFID, které lze v případě potřeby rovněž odstranit. Byla implementována funkce bezpečného zadávání hesla, kdy se délka přijímané sekvence číslic zvýší z 6 na 20, a pokud tato sekvence obsahuje dříve uloženou 6 znakovou sekvenci, zařízení je schopno ji detekovat a povolit přístup. Při otevírání a zavírání dveří se ukládají časové údaje a informace o akci, které se buď ručně, nebo automaticky každých 12 hodin synchronizují se serverem. Zařízení má předem uložená data administrátorského klíče, pomocí kterého lze v případě potřeby přidávat a odstraňovat hesla v zařízení, synchronizovat data se serverem a resetovat nastavení a uložená.

Zařízení využívá k nastavení času server ntp a připojení WiFi, tato činnost se provede jednou při zapnutí zařízení, ale v případě poruchy a nemožnosti získat čas to zařízení dokáže zjistit a nastavit potřebné parametry znovu.

Počáteční konfigurace se provádí připojením k zařízení prostřednictvím telefonu, to je třeba provést jednou po prvním zapnutí nebo obnovení všech nastavení.

### ■ 5.2.1 Spotřeba energie

Význam energetického managementu v projektu tohoto druhu byl v tomto článku již několikrát zmíněn. Byly popsány metody, jak snížit spotřebu proudu zařízení.

Za pozornost stojí i to, že původní plán počítal s napájením obou modulů pomocí tužkových bateriek. Dvě pro externí a čtyři pro interní modul. Testy s hotovým prototypem však ukázaly, že tento způsob napájení není stabilní, protože baterie, ačkoli poskytovaly potřebnou úroveň napětí, neměly dostatek energie pro napájení zařízení, v důsledku čehož pracovalo nestabilně. Nakonec bylo rozhodnuto použít dobíjecí akumulátory stejného tvaru (AA). Bylo zakoupeno šest akumulátorů 1600 mAh 1,5 V. Tato varianta napájení zajistila stabilní a správný provoz obou modulů.

Externí modul pro svůj provoz v tomto projektu vyžaduje 60 mA bez zapnuté antény a 100 mA při použití Bluetooth, BLE nebo Wi-Fi. Tato hodnota byla snížena z původních 115mA snížením frekvence procesoru na 80MHz. V režimu hlubokého spánku zařízení spotřebovává 15mA, což se liší od hodnoty udávané výrobcem 10-150uA.

Spotřeba interního modulu je 80 mA, když je motor v klidu, a stoupá na 330 mA, když motor běží. Motor potřebuje přibližně 8 sekund na dokončení 2 otáček klíčem, protože rychlost postupně dosahuje maximálně 20 otáček za minutu pomocí PWM, aby se předešlo problémům s poklesem napětí při náhlém zapnutí motoru.

Tyto hodnoty jsou vyšší, než se očekávalo, což má negativní vliv na životnost baterie zařízení. V případě externího modulu je možné snížit spotřebu odstraněním dalších LED diod přítomných na tělesech součástí zařízení. Je také možné zvolit jiný mikrokontrolér s nižší taktovací frekvencí a modul BLE s lepší energetickou účinností. V případě interního modulu je možným řešením upravit zapojení tak, aby řídicí jednotka používala tranzistory pro regulaci napájení obvodu s motorem a H-můstkem, které vyžadují 12V.

# Kapitola 6

## Závěr

Hlavním cílem tohoto projektu bylo navrhnout a realizovat prototyp inteligentního elektronického zámku. Důraz byl kladen na vytvoření univerzálního zámkového adaptéru se samostatným modulem pro interakci s uživatelem a modulem pro ovládání mechanismu zamykání dveří.

Po průzkumu trhu s inteligentními elektronickými zámky byly zjištěny hlavní požadavky na funkci těchto zařízení. Dalším krokem byl výběr správných elektronických součástek pro vytvoření funkčního prototypu. Následující fází bylo propojení všech elektronických komponent zařízení, pro které bylo naplánováno schéma zapojení a zkonstruována deska plošných spojů. Byl vymodelován a vytištěn na 3D tiskárně funkční ochranný kryt zařízení. Poslední důležitou částí projektu bylo napsání softwaru pro zařízení a také webového serveru, který umožnil rozšířit funkčnost zařízení.

Výsledkem projektu byl funkční prototyp zařízení, který splňoval všechny úkoly a fungoval jako elektronický zámek. Po případném vylepšení HW a doplnění SW má dokončené hotové zařízení potenciál stát se alternativou k existujícím řešením dostupným na trhu.

## Literatura

- [1] The 4 Best Smart Locks of 2023 The New York Times Reviews by Wirecutter [online]. *NYTimes*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/the-best-smart-lock/>.
- [2] Aqara Smart Door Lock N100 [online]. *Aqara*. [cit. 22.05.2023].  
[https://www.aqara.com/eu/smart\\_door\\_lock\\_n100.html](https://www.aqara.com/eu/smart_door_lock_n100.html).
- [3] Xiaomi Automatic Smart Door Lock [online]. *Xiaomi*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.mi.com/global/product/xiaomi-automatic-smart-door-lock/>.
- [4] SHP-DS510 - SamsungDigitalLife [online]. *Samsung digital life*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.samsungdigitallife.com/samsung-digital-door-locks/shp-ds510/>.
- [5] Fingerprint Door Lock - Halo Touch [online]. *Kwikset*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.kwikset.com/halo-touch>.
- [6] WyzeLock Bolt [online]. *Wyze*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.wyze.com/products/wyze-lock-bolt>.
- [7] August WiFi smart-lock [online]. *August*. [cit. 22.05.2023].  
<https://august.com/products/august-wifi-smart-lock>.
- [8] Nuki Smart Lock 3.0 [online]. *Nuki*. [cit. 22.05.2023].  
<https://nuki.io/en/smart-lock/>.
- [9] Danalock V3 Smart Lock [online]. *Danalock*. [cit. 22.05.2023].  
<https://danalock.com/products/danalock-v3-smart-lock>.
- [10] SwitchBot Lock [online]. *SwitchBot*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.switch-bot.com/products/switchbot-lock>.
- [11] Danalock Keypad [online]. *Alza*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.alza.cz/danalock-danapad-v3-elektronicky-kodovy-zamek-bazar-d7745007.htm>.
- [12] System On Chip [online]. *Abysillicon*. [cit. 22.05.2023].  
<https://anysilicon.com/what-is-a-system-on-chip-soc/>.
- [13] ESP32 Wi-Fi a Bluetooth MCU [online]. *Espressif*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.
- [14] 4x4 Maticová klávesnice [online]. *Laskakit*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.laskakit.cz/arduino-4x4--maticova-tlacitkova-klavesnice-plastova>.
- [15] Radio-frequency identification [online]. *Wikipedia*. [cit. 22.05.2023].  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification).
- [16] RC522 RFID Datasheet [online]. *Handsontec*. [cit. 22.05.2023].  
<http://www.handsontec.com/dataspecs/RC522.pdf>.
- [17] Aktivní bzučák 3.3V [online]. *Laskakit*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.laskakit.cz/aktivni-bzucak-3-3v/>.

- [18] ESP32 Series Datasheet [online]. *Espressif*. [cit. 22.05.2023].  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [19] DC-to-DC converter [online]. *Wikipedia*. [cit. 22.05.2023].  
[https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter).
- [20] ME2108 step-up regulator datasheet [online]. *Nanjing Micro One*. [cit. 22.05.2023].  
[https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Nanjing-Micro-One-Elec-ME2108A33M3G\\_C236804.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Nanjing-Micro-One-Elec-ME2108A33M3G_C236804.pdf).
- [21] EasyEDA - Online PCB design and circuit simulator [online]. *EasyEDA*. [cit. 22.05.2023].  
<https://easyeda.com/>.
- [22] Deska plošných spojů (DPS) [online]. *Kicad*. [cit. 22.05.2023].  
<https://kicad.spseol.cz/cojedps.html>.
- [23] PCB Prototype a PCB Fabrication Manufacturer - JLCPCB [online]. *JLCPCB*. [cit. 22.05.2023].  
<https://jlcpcb.com/>.
- [24] Autodesk Fusion 360 [online]. *Autodesk*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.fusion360.cz/>.
- [25] Flying Bear Ghost 6 Classic FDM 3D Printer [online]. *Flyingbear*. [cit. 22.05.2023].  
<https://3dflyingbear.com/products/flying-bear-ghost-6-fdm-3d-printer>.
- [26] eSUN PETG 1.75MM 3DFilament [online]. *eSUN*. [cit. 22.05.2023].  
<https://esun3dstore.com/collections/3d-filament/products/esun-petg-filament-1-75mm-3d-printer-filament-petg-accuracy-0-05mm-1kg-2-2lbs-spool-3d-printing-materials-for-3d-printers-1>.
- [27] Professional 3D printing made accessible Ultimaker [online]. *Ultimaker*. [cit. 22.05.2023].  
<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>.
- [28] DC motor [online]. *Rs-online*. [cit. 22.05.2023].  
<https://ie.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/dc-motors-guide>.
- [29] DC 12V 10/20/30/40/100 RPM Hochdrehmoment Schneckengetriebemotor [online]. *Amazon*. [cit. 22.05.2023].  
[https://www.amazon.de/dp/B08BFS8X3P/ref=pe\\_27091401\\_487024491\\_TE\\_item?th=1](https://www.amazon.de/dp/B08BFS8X3P/ref=pe_27091401_487024491_TE_item?th=1).
- [30] H-Bridges Basics [online]. *Modularcircuits*. [cit. 22.05.2023].  
<http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>.
- [31] L9110 motor control driver chip datasheet [online]. *Elecrow*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.elecrow.com/download/datasheet-l9110.pdf>.
- [32] H-můstek L9110S [online]. *Laskakit*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.laskakit.cz/h-mustek-radic-l9110s/>.
- [33] XL6009 step-up regulator datasheet [online]. *Haoyuelectronics*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/XL6009/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf>.
- [34] LM2596 step-down regulator datasheet [online]. *Onsemi*. [cit. 22.05.2023].  
[https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Nanjing-Micro-One-Elec-ME2108A33M3G\\_C236804.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Nanjing-Micro-One-Elec-ME2108A33M3G_C236804.pdf).

- [35] Sleep Modes - ESP32. ESP-IDF Programming Guide latest documentation [online]. *Espressif*. [cit. 22.05.2023].  
[https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/sleep\\_modes.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/sleep_modes.html).
- [36] ESP-NOW Wireless Communication Protocol [online]. *Espressif*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>.
- [37] Bluetooth Technology Overview [online]. *Bluetooth*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.
- [38] Sizen. A Comparative study of Wireless Star Networks Implemented with Current Wireless Protocols [online] NEUPANE. *Scholarworks gvsu*. [cit. 22.05.2023].  
<https://scholarworks.gvsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1920&context=theses>.
- [39] Universally unique identifier [online]. *Wikipedia*. [cit. 22.05.2023].  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Universally\\_unique\\_identifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Universally_unique_identifier).
- [40] IntelliJ IDEA [online]. *Jetbrains*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.jetbrains.com/idea/>.
- [41] Spring framework [online]. *Spring*. [cit. 22.05.2023].  
<https://spring.io/>.
- [42] JDK 17 Builds from Oracle [online]. *JDK Java*. [cit. 22.05.2023].  
<https://jdk.java.net/17/>.
- [43] Apache Maven [online]. *Maven Apache*. [cit. 22.05.2023].  
<https://maven.apache.org/>.
- [44] Spring Security [online]. *Spring*. [cit. 22.05.2023].  
<https://docs.spring.io/spring-security/reference/index.html>.
- [45] Spring web [online]. *Spring*. [cit. 22.05.2023].  
<https://docs.spring.io/spring-boot/docs/current/reference/html/web.html>.
- [46] OAuth 2.0 Resource Server JWT [online]. *Spring*. [cit. 22.05.2023].  
<https://docs.spring.io/spring-security/reference/servlet/oauth2/resource-server/jwt.html>.
- [47] Thymeleaf [online]. *Thymeleaf*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.thymeleaf.org/>.
- [48] MySQL [online]. *MySQL*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.mysql.com/>.
- [49] MySQL connector Java [online]. *Mvnrepository*. [cit. 22.05.2023].  
<https://mvnrepository.com/artifact/mysql/mysql-connector-java>.
- [50] Project Lombok [online]. *Project Lombok*. [cit. 22.05.2023].  
<https://projectlombok.org/>.
- [51] Bootstrap. HTML, CSS a JS library [online]. *Bootstrap*. [cit. 22.05.2023].  
<https://getbootstrap.com/>.
- [52] What is a REST API? [online]. *RedHat*. [cit. 22.05.2023].  
<https://www.redhat.com/en/topics/api/what-is-a-rest-api>.
- [53] arduino-esp32/libraries/WiFi [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/WiFi>.
- [54] arduino-esp32/libraries/HTTPClient [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/HTTPClient>.

- 
- [55] arduino-esp32/libraries/BluetoothSerial [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/BluetoothSerial>.
- [56] Serial Bluetooth Terminal application [online]. *Google play store*. [cit. 22.05.2023].  
[https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai\\_morich.serial\\_bluetooth\\_terminal&hl=en&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_bluetooth_terminal&hl=en&gl=US).
- [57] miguelbalboa/rfid: Arduino RFID Library for MFRC522 [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
<https://github.com/miguelbalboa/rfid>.
- [58] nkolban/ESP32\_BLE\_Arduino library source for the ESP32 BLE support for Arduino [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
[https://github.com/nkolban/ESP32\\_BLE\\_Arduino](https://github.com/nkolban/ESP32_BLE_Arduino).
- [59] arduino-esp32/libraries/SPIFFS [online]. *GitHub*. [cit. 22.05.2023].  
<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/SPIFFS>.





# Příloha **A**

## Obsah přiloženého CD

K práci bude přiloženo CD s videoukázkou zařízení, programové kódy pro Arduino IDE, serverový projekt napsaný ve frameworku Spring v Javě a uživatelský manuál k hotovému zařízení.

- Video zařízení v provozu
- Zdrojové kódy - C++ pro Arduino IDE
- Zdrojové kódy - Java
- Návod k použití