

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 10: Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace**

## **BeSafe lights (Interaktivní osvětlení elektrických dopravních prostředků)**

**David Rothbauer  
Praha**

**Praha 2022**

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 10: Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace**

**BeSafe lights  
(Interaktivní osvětlení elektrických dopravních  
prostředků)**

**BeSafe lights  
(Interactive lighting system for personal electrical  
means of transport)**

**Autoři:** David Rothbauer

**Škola:** SPŠE V Úžlabině 320, Praha 10, 100 00

**Kraj:** Praha

**Konzultant:** Ing. Petr Hellebrand

Praha 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 31.3.2022 .....

David Rothbauer

## **Anotace**

Tento projekt vznikl za účelem zvýšení viditelnosti a bezpečnosti uživatelů osobních elektrických dopravních prostředků za provozu. Projekt cílí na elektrické skateboardy a longboardy, avšak využití na ostatních prostředcích, jako např. elektrické koloběžky nebo jednokolky je také možné. Jelikož je produkt určen pro komerční využití, bylo cílem poskytnout uživateli co nejjednodušší zapojení a ovládání.

## **Klíčová slova**

elektrické dopravní prostředky, longboard, mobilní aplikace, osvětlení

## **Annotation**

This project was created to increase the visibility and safety of users of personal electrical means of transport. The project targets electric skateboards and longboards, but use on other vehicles, such as electric scooters or unicycles, is also possible. Because the product is intended for commercial use, the goal was to provide easy setup and configuration for the user.

## **Keywords**

electrical means of transport, longboard, mobile application, lighting

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>VOLBA TECHNOLOGIÍ</b> .....	<b>7</b>
2.1	SVĚTELNÝ ZDROJ .....	7
2.2	KOMUNIKACE S ŘÍDÍCÍ JEDNOTKOU DOPRAVNÍHO PROSTŘEDKU .....	8
2.3	MIKROKONTROLÉR ESP32 .....	8
2.3.1	<i>Technické parametry procesoru</i> .....	8
2.3.2	<i>Využití periferie procesoru</i> .....	10
2.4	BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE) .....	9
2.4.1	<i>Základní princip</i> .....	11
2.4.2	<i>Komunikace mezi aplikací a modulem osvětlení</i> .....	11
2.5	MOBILNÍ APLIKACE .....	12
<b>3</b>	<b>KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>13</b>
3.1	BLOKOVÉ SCHÉMA .....	13
3.2	REALIZACE JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ .....	13
3.2.1	<i>Napájení</i> .....	13
3.2.2	<i>Vstupní část</i> .....	14
3.2.3	<i>Výstupní část</i> .....	17
3.3	DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	17
3.3.1	<i>Návrh</i> .....	17
3.3.2	<i>Osazení</i> .....	18
3.4	VERZE PRODUKTU .....	18
3.4.1	<i>První verze</i> .....	18
3.4.2	<i>Druhá verze</i> .....	18
3.4.3	<i>Třetí verze</i> .....	19
3.4.4	<i>Čtvrtá verze</i> .....	19
3.4.5	<i>Vývojový modul</i> .....	19
3.5	KRYT, KRABÍČKA .....	19
<b>4</b>	<b>MOBILNÍ APLIKACE</b> .....	<b>21</b>
4.1	ZÁKLADNÍ ROZVRŽENÍ .....	21
4.1.1	<i>Aktivity</i> .....	21
4.1.2	<i>Fragmenty</i> .....	22
4.1.3	<i>Krajní lišta</i> .....	22
<b>5</b>	<b>OTA (OVER THE AIR) AKTUALIZACE</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>TESTOVACÍ PROVOZ</b> .....	<b>24</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>25</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>26</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>27</b>

# 1 Úvod a cíl práce

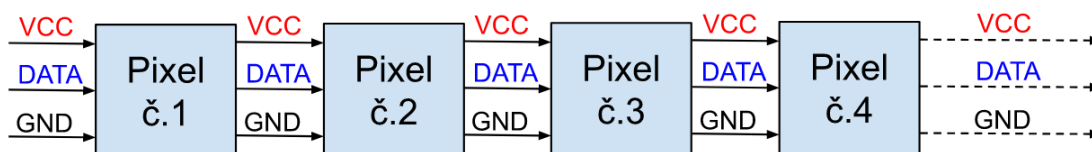
Ve světě se poměrně rychle rozvíjí trendy osobní elektrické přepravy jako např. elektrické koloběžky, jednokolky, elektrokola nebo skateboardy. Jízdní vlastnosti těchto prostředků se stále zlepšují, avšak jedno zůstává stejné – nedostatečné osvětlení. Po prozkoumání trhu a zjištění nedostatku produktů poskytujících ideální vlastnosti vznikl tento projekt. Stávající komerční řešení, dle mého názoru, cenově neodpovídají svým schopnostem, a navíc těmto produktům schází podpora ze strany výrobce, tzn. případný problém např. se softwarem pravděpodobně nebude vyřešen. Příkladem takového komerčního výrobku může být např. "Sport LED Strip Controller" od čínského výrobce Flipsky. Ve většině případů také poskytují jen jeden způsob komunikace, který už může v prostředí být využit jinak, tzn. nedostupný pro modul osvětlení. Cílem tohoto projektu je tedy vyvinout modul, který bude za jízdy reagovat na události jako je např. brzdění nebo signál pro změnu směru jízdy od uživatele, a pomocí světel k modulu připojených vizuálně upozorní ostatní účastníky provozu. Má poskytnout uživateli kompromis mezi cenou a vlastnostmi takového výrobku, udržovat aktivní podporu ve vývoji a průběžně poskytovat opravy chyb a nové funkce skrz aktualizace.

## 2 Volba technologií

Důležitým krokem byla volba správných technologií a hardwaru tak, aby bylo možné dosáhnout požadovaných funkcí a zároveň ponechat prostor pro vývoj do budoucna. Zároveň musí tyto technologie být dostupné a dobře zdokumentované. V opačném případě by práce s těmito technologiemi znamenala větší časovou náročnost vývoje produktu a mohla by přinést nejistotu ohledně určitých funkcí výsledného výrobku.

### 2.1 Světelný zdroj

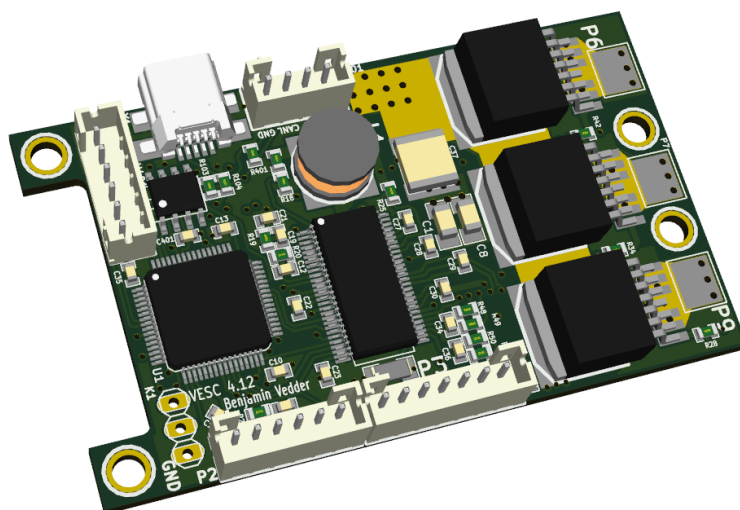
Základní komponentou osvětlení prostředku je světelný zdroj. Na trhu je mnoho možností různých druhů a v různých cenových relacích. Světelný zdroj součástí tohoto projektu není, avšak kvůli snaze produkovat samotný modul za nízkou cenu oproti konkurenci, musí i zdroj světla být za přijatelnou cenu. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k volbě jednoho z nejrozšířenějších způsobů osvětlení – LED páskům. Těchto pásků je několik typů, např. jednobarevné, RGB, nebo pásy s možností adresování jednotlivých pixelů, tzv. adresovatelné. Jelikož má modul za cíl integrovat do osvětlení více funkcí jako např. směrové indikátory nebo brzdomá světla, čehož by bylo nepraktické se snažit dosáhnout pomocí klasických, jednobarevných nebo RGB neadresovatelných LED pásků, bylo přistoupeno k páskům adresovatelným. Tyto pásy mají zpravidla vstup pro napájení a jeden až dva datové vstupy, kdy se jedná buď o datový a časovací signál, nebo datový signál samotný. Pro vývoj projektu byly použity adresovatelné pásy založené na LED čipu WS2812B od výrobce Worldsemi. Tento výběr byl uskutečněn z důvodu velmi jednoduché komunikace a možnosti napájecího napětí 5V. Každý čip (dále jen pixel) přijme 24 bitů (8 bitů pro červenou složku, 8 bitů pro zelenou, a 8 bitů pro složku červenou), a z jeho výstupního pinu pošle jen data následující po těchto 24 bitech, směřující do následujícího pixelu. Pro 8 pixelů je nutné poslat  $8 \cdot 24$  bitů, tedy 192 bitů. Celá komunikace probíhá na kmitočtu 800kHz.



Obrázek 1: Blokový diagram adresovatelného LED pásku

## 2.2 Komunikace s řídicí jednotkou dopravního prostředku

Každý elektrický dopravní prostředek má svou řídicí jednotku, která se stará o komunikaci a řídí ostatní prvky systému. Jelikož mají tyto prostředky většinou třífázové asynchronní motory, bývá jedním z těchto prvků regulátor, který motor řídí a komunikuje s výše zmíněnou jednotkou. Nejrozšířenější řídicí jednotkou a zároveň regulátorem se v oblasti hobby elektrických dopravních prostředků staly regulátory VESC (Vedder Electric Speed Controller). Základ těchto regulátorů je plně open-source včetně firmwaru, což umožňuje jednoduché replikace nebo modifikace. Tyto regulátory podporují mnoho způsobů komunikace s ostatními prvky prostředku, jako např. PWM, UART nebo automobilovou sběrnici CANBUS. Aby uživatel nemusel narušovat PWM signál vstupující do řídicí jednotky (viz kapitola "Vstupní část"), byl jako jeden z cílů projektu stanoven požadavek na komunikaci s řídicí jednotkou (regulátorem) a následovně získávání potřebných dat. Tato komunikace by měla probíhat, z důvodu robustnosti, přes výše zmíněnou sběrnici CANBUS.



Obrázek 2: VESC regulátor v4.12 (Vedder, 2006)

## 2.3 Mikrokontrolér ESP32

Z důvodu nízké spotřeby, vysokého výpočetního výkonu a schopnosti bezdrátové komunikace byl pro modul vybrán mikrokontrolér ESP32. Další jeho funkce jsou shrnuty v následujících kapitolách.

### 2.3.1 Technické parametry procesoru

- podpora Wi-Fi (standard 802.11 b/g/n, 2.4 GHz)



- podpora Bluetooth (Bluetooth Classic i Bluetooth Low Energy)
- podpora OTA (viz OTA (Over The Air) aktualizace)
- dvoujádrový procesor Xtensa LX6, takt jádra až 240 MHz
- až 16MB FLASH, 448 kB ROM, 520 kB SRAM, 16 kB RTC SRAM, QSPI pro připojení externích pamětí
- 34 vstupně-výstupních pinů
- SPI, I2C, I2S, UART, CAN, IR, PWM
- algoritmy pro šifrování AES, HASH, RSA, ECC, RNG
- LEDC, MCPWM, ADC/DAC, PCNT
- napájecí napětí 2.3 až 3.6 V

(Espressif Systems, 2022)

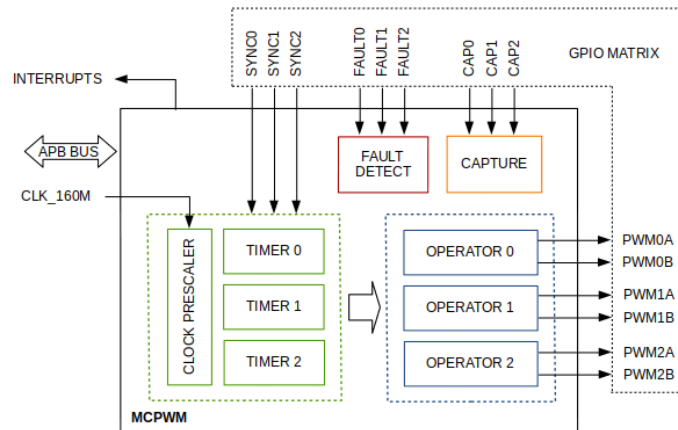
### 2.3.2 Využití periferie procesoru

Funkce poskytnuté periferiemi procesoru významně zjednodušily proces vývoje. Bez těchto periferií by funkce musely být implementovány softwarově, což by nejen zvýšilo nároky na výpočetní výkon procesoru, ale také prodloužilo dobu vývoje z důvodu náročnosti takové implementace.

#### MCPWM (Motor Control Pulse Width Modulator)

Procesor ESP32 nabízí dvě MCPWM jednotky. Tyto jednotky byly navrženy pro řízení různých druhů motorů, a proto s nimi lze pohodlně řídit např. motory stejnosměrné nebo bezkartáčové. Každá jednotka nabízí možnost 6 PWM výstupů, 3 CAPTURE vstupy, 3 FAULT vstupy a 3 SYNC vstupy. Jelikož jsou MCPWM jednotky nezávislé na samotných výpočetních jádrech procesoru, a mají své vlastní hardwarové časovače, lze s nimi velmi precizně generovat PWM výstupy nebo snímat signály na CAPTURE vstupech. Právě vstupů CAPTURE využívá modul osvětlení pro snímání délky PWM signálu z přijímače ovladače (viz Vstupní část). Po konfiguraci jednotky je při každé náběžné nebo sestupné hraně signálu vysláno do procesoru přerušení s přesným časem tohoto okamžiku. Po dvou

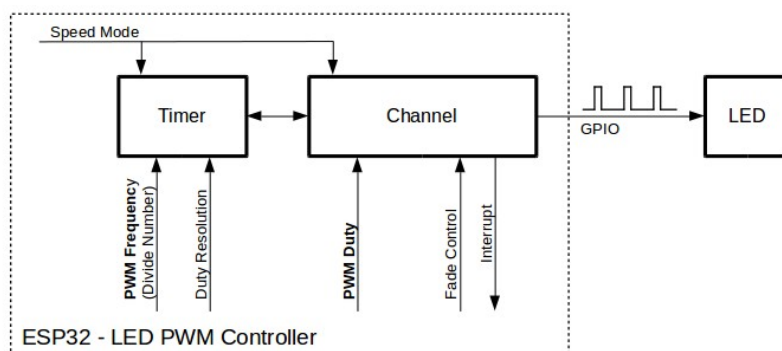
přerušeních procesor vypočítá časovou diferenci, která je rovna délce snímaného pulzu. Tato hodnota je poté použita pro signalizaci brzdového signálu.



Obrázek 3: Blokový diagram MCPWM jednotky (Espressif Systems)

## LEDC

Další periferií, kterou procesor nabízí, je LEDC. Tato periferie slouží pro generování PWM signálu bez potřeby zásahu procesoru. Generovaný signál je primárně zaměřen na ovládání jasu LED diod, ovšem využití např. pro ovládání modelářských servomotorů je také možné. LEDC nabízí až 16 nezávislých výstupních kanálů, z nichž 3 jsou v modulu osvětlení využity pro ovládání jasu RGB LED diody na DPS, která informuje uživatele o různých provozních stavech zařízení.



Obrázek 4: Blokové schéma LEDC jednotky (Espressif Systems)

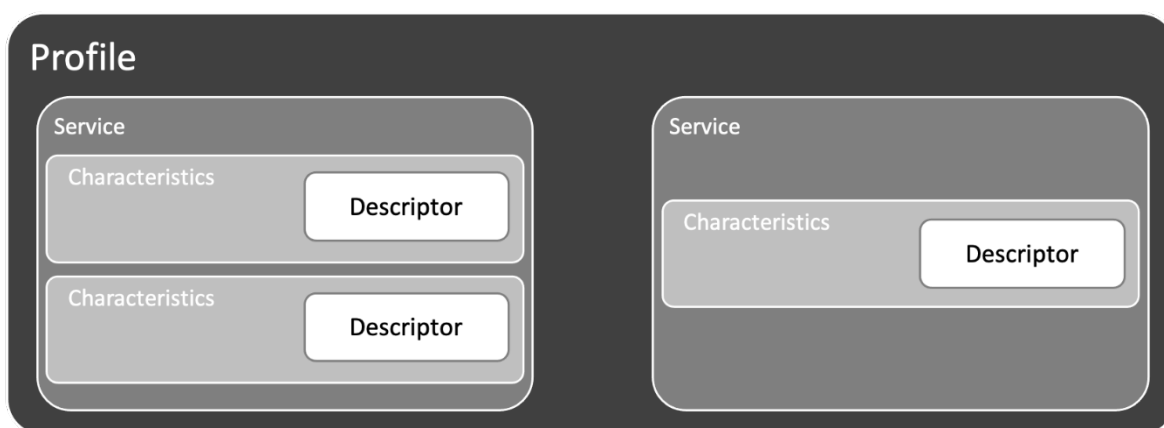
## 2.4 Bluetooth Low Energy (BLE)

Technologie Bluetooth se od doby jejího vzniku v roce 1994 stala jednou z nejpopulárnějších technologií pro bezdrátový přenos dat. Tato technologie má kromě číslovaných verzí také

rozdělení na Classic a Low Energy (dále jen "LE"). Pro tento projekt byla z důvodu možnosti filtrace zařízení vybrána verze LE.

### 2.4.1 Základní princip

Základním principem Bluetooth Low Energy (dále jen "BLE") jsou dvě role zařízení, buďto server, nebo klient. Server poskytuje tzv. services, a klient se k serveru pomocí požadavku o připojení může připojit. Service slouží jako obálka pro charakteristiky, a každá charakteristika může kromě své hodnoty mít také tzv. descriptor, využívaný při tzv. notifikacích, což jsou upozornění pro klienta ze strany serveru o změně hodnoty určité charakteristiky.



Obrázek 5: Hierarchie BLE

Každý service nebo charakteristika má svůj UUID (Universal Unique Identifier), neboli univerzální identifikátor. Jedná se o 128bitové číslo, pomocí kterého je možné jednotlivé prvky hierarchie od sebe odlišit. Tento identifikátor také může být použit pro filtrování zařízení ze strany klienta. Aby se klient mohl připojit, musí nejdříve být zařízení s rolí serveru viditelné, čehož dosáhne vysláním tzv. advertisement paketů. Tyto pakety mohou obsahovat data navíc, jako např. UUID některého ze serviců. Pomocí toho se může klientské zařízení rozhodnout, jestli zařízení vysílající tyto pakety je to, ke kterému se chce připojit. Na tomto principu aplikace k modulu osvětlení umožní uživateli připojit se pouze ke správnému zařízení, a nenabídne zařízení jiná (viz Fragmenty).

### 2.4.2 Komunikace mezi aplikací a modulem osvětlení

Při komunikaci mezi modulem a aplikací je modul v postavení serveru a aplikace je v roli klienta. Modul nabízí jeden service s dvěma charakteristikami, přičemž jedna je určena pro příjem a druhá pro odesílání dat. Tento styl komunikace napodobuje sběrnici UART

a samotná komunikace probíhá pomocí paketů. Každý paket obsahuje několik základních prvků:

- hlavička - slouží jako informace o začátku datového proudu paketu
- délka paketu - informace o délce celého paketu, délka bloku dat je o čtyři menší než délka celého paketu
- ID paketu - slouží pro identifikaci účelu paketu, podle této hodnoty jsou data paketu dále zpracovávána
- data - dodatečné informace jako např. přenášené hodnoty jasu
- konec paketu - slouží jako informace o konci datového proudu paketu

<b>START BYTE</b>	<b>LENGTH</b>	<b>ID</b>	<b>DATA</b>	<b>END BYTE</b>
-------------------	---------------	-----------	-------------	-----------------

Obrázek 6: Struktura datového paketu

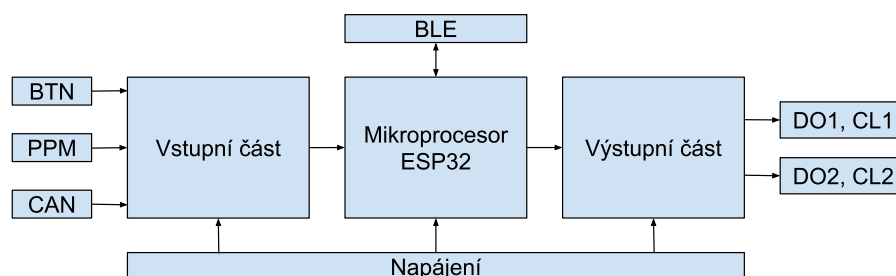
Po připojení modulu osvětlení k aplikaci, po vyslání požadavku aplikací, začne modul vysílat tzv. alive pakety v intervalu 2s. Tyto pakety zajišťují, že aplikace včas pozná, když se modul nečekaně odpojí. Samotný systém Android tuto situaci v občasných případech vyhodnotí až po 30s, což je téměř nepřípustné.

## 2.5 Mobilní aplikace

Měnění parametrů a nastavení modulu osvětlení je vyřešeno přes mobilní aplikaci. Jelikož modul s aplikací komunikuje přes výše zmíněné BLE, je nutné, aby zařízení na kterém je aplikace používána tuto technologii podporovalo. Dalším požadavkem pro toto zařízení je operační systém Android minimální verze 7. Toto omezení bylo nastaveno z důvodu chybějící podpory určitých funkcí aplikace ve starších verzích operačního systému, což by značně omezovalo funkčnost a komfort při používání aplikace.

## 3 Konstrukce zařízení

### 3.1 Blokové schéma



Obrázek 7: Blokové schéma modulu osvětlení

### 3.2 Realizace jednotlivých částí

Úkolem jednotlivých částí zařízení je přizpůsobit všechny signály tak, aby byly zpracovatelné procesorem ESP32, případně signály z procesoru upravit tak, aby vyhovovaly příslušným periferiím.

#### 3.2.1 Napájení

Baterie, ze kterých se napájí motory těchto dopravních prostředků neboli baterie tzv. trakční, mívají napětí v řádech desítek voltů. Napětí o této úrovni není vhodné pro napájení samotných LED pásků, ani procesoru v modulu. Proto je nutné zahrnout prvek, který toto napětí sníží na potřebnou úroveň – měnič napětí. Jinou možností, jak snížit napětí může být např. lineární regulátor. Jelikož se však výkon světelných zdrojů pohybuje v desítkách wattů, bylo by takové řešení velmi neefektivní kvůli velkému ztrátovému výkonu. Proto modul využívá externího spínaného měniče napětí. Tyto měniče jsou známé pod pojmem step down nebo step up podle toho, zda napětí snižují nebo zvyšují. Jelikož je požadováno napájecí napětí 5V nebo 12V, podle volby LED pásku, využívá tento projekt externí step down měnič. Původním plánem bylo integrovat měnič do modulu. Taková integrace je ovšem poměrně náročná, jelikož je nutné obvod měniče navrhnut tak, aby i při zátěži proudem o velikosti několika ampér nevyzařoval do okolí velké množství tepla, a nerušil komunikaci a chod ostatní elektroniky šumem nebo rušením na napájecí koleji. Z toho důvodu bylo od tohoto řešení prozatím ustoupeno a bude realizováno v budoucích fázích projektu. Externí měnič, který je nyní využíván, je založen na integrovaném obvodu LT3800, a dle výrobce poskytuje možnost až 100W zátěže. Tento integrovaný obvod je plánováno využít i při implementaci vlastního návrhu měniče do samotného modulu. Jelikož je vhodné poskytovat i základní

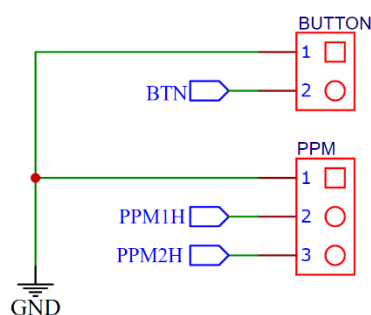
ochranu modulu, obsahuje napájecí kolej 4A výměnnou pojistku. V dalších verzích bude do obvodu kromě měniče přidána také ochrana proti opačné polaritě, jelikož takový stav by velmi pravděpodobně způsobil poškození modulu.

### 3.2.2 Vstupní část

Vstupní část modulu zajišťuje příjem dat, ať už se jedná o binární senzor jako je např. stisk tlačítka nebo úpravu napěťových úrovní PWM signálu pro zpracování mikrokontrolérem.

#### Tlačítko

Tlačítko slouží jako základní ovládací prvek v případě, že uživatel nebude mít po ruce mobilní telefon s aplikací, nebo bude chtít provést základní akci jako např. vypnutí nebo změnu režimu, kdy je nepraktické aplikaci otevírat. Tlačítko spíná proti zemi, a zámkity jsou ošetřeny interním pull-up rezistorem. V aplikaci má uživatel možnost nakonfigurovat parametry, jako je např. typ tlačítka nebo akce při stisku nebo podržení. Použití tlačítka je volitelné, proto je možné ho v aplikaci úplně zakázat.



Obrázek 8: Zapojení tlačítka a PWM vstupů (spoj BTN vede přímo do procesoru)

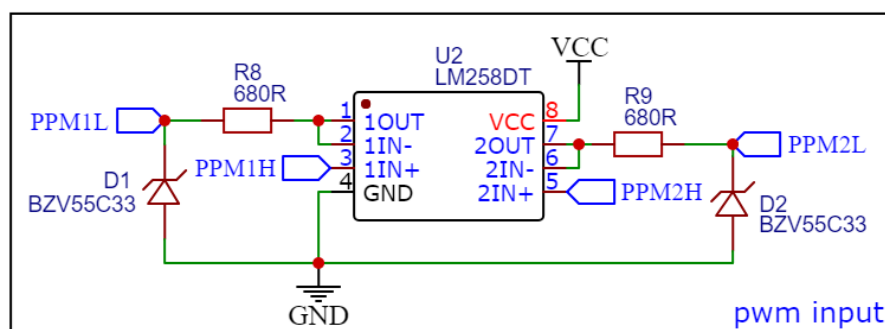
## PWM

U elektrických longboardů a dalších prostředků s dálkovým ovládním je běžně využíváno standartních modelářských ovladačů, jejichž přijímače poskytují signál PWM nebo PPM<sup>1</sup>, který udává množství požadované akcelerace nebo decelerace. Samotný signál je tvořen pulzem o délce mezi 1000us až 2000us a poté 20ms pauzou.



Obrázek 9: Časový průběh PWM signálu (Spsychalski, 2016)

Právě délka onoho pulzu skrývá informaci o množství požadované akcelerace, kdy 1000us představuje minimum a 2000us maximum. Modul tuto délku změří s přesností na mikrosekundy pomocí MCPWM jednotky (viz Využité periferie procesoru), a poté jízdni situaci vyhodnotí. Některé ovladače umožňují vysílání více kanálů signálu najednou. Tyto volitelné kanály je možné v modulu využít jako vstup např. pro světlo indikující změnu směru. Jelikož v případě využití PWM vstupu tento signál využívají dva procesory najednou (procesor modulu osvětlení a procesor řídicí jednotky dopravního prostředku), je nutné zajistit, aby nevznikalo rušení, nebo signál nebyl příčinou čtení zkreslen. Proto je vhodné, aby vstupy na modulu osvětlení měly co možná největší vstupní odpor. Takovou vlastnost zajišťuje duální operační zesilovač LM258 společně se stabilizátorem na výstupu.

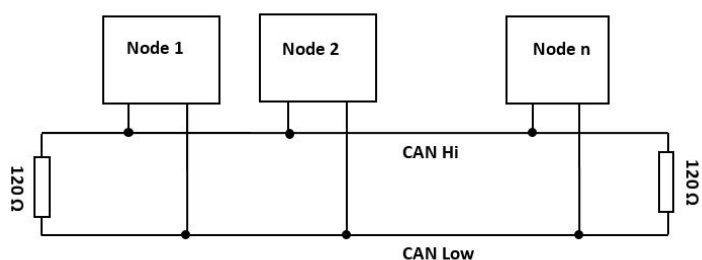


Obrázek 10: Zapojení operačního zesilovače

<sup>1</sup> V komerčních produktech je zkratka PPM nesprávně využívána pro PWM signál, přestože se jedná o rozdílný způsob modulace dat. Z důvodu komerčního zaměření dodržuje toto nesprávné označení i modul osvětlení.

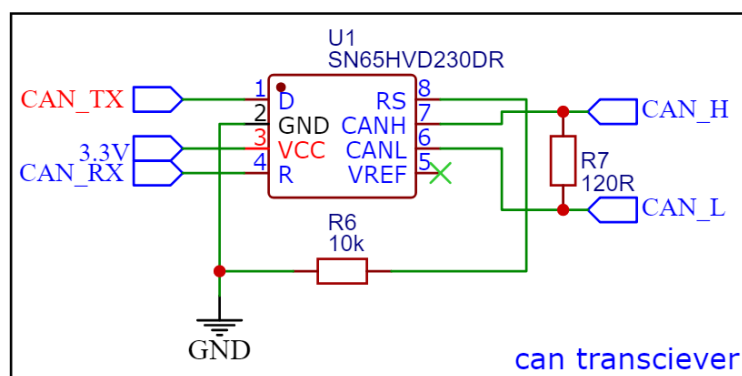
## CANBUS

Jelikož ne všechny systémy využívají PWM pro přenos dat, je vhodné zahrnout i jiný způsob komunikace modulu osvětlení s řídicí jednotkou prostředku. Ideální by bylo využití sběrnice, jež umožňuje připojení více zařízení najednou, aby nenastávala omezení jako např. nemožnost připojení dalšího zařízení při využití UART. Dalším požadavkem byla jednoduchost zapojení, proto byla zvolena sběrnice CANBUS. Tato sběrnice je hojně využívána nejen v automobilovém průmyslu díky její robustnosti a nízké náchylnosti na rušení.



Obrázek 11: Diagram CANBUS sítě (pico Technology)

CANBUS využívá diferenciálních signálů, díky čemuž není nutné mezi zařízeními sdílet zemnicí vodič, který by mohl mít na komunikaci nepříznivé vlivy. Proto pro komunikaci stačí dva vodiče, označované jako "CAN\_L" a "CAN\_H". Tato sběrnice je podle dokumentace schopna dosáhnout maximální rychlosti 1Mbit/s. Pro komunikaci přes sběrnici CAN je pro zařízení nutné obsahovat tzv. CAN controller a CAN transceiver. Zatímco transceiver zajišťuje tvorbu diferenciálních signálů, controller se stará o správné časování těchto signálů. Procesor ESP32 již zmiňovaný CAN controller obsahuje, proto při návrhu modulu osvětlení stačilo přidat transceiver, konkrétně integrovaný obvod SN65HVD230DR.



Obrázek 12: Zapojení CAN transceiveru SN65HVD230DR



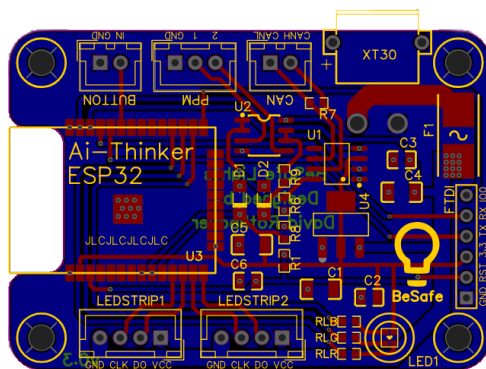
### 3.2.3 Výstupní část

Výstupní část modulu slouží k přenosu datového signálu z procesoru do adresovatelných LED pásků. Jelikož jsou 5V verze těchto pásků schopny pracovat s logickým signálem o úrovni 3,3V, není prozatím signál nijak upravován a k jeho přenosu nejsou využity speciální komponenty. Přestože kompatibilita s 12V verzemi pásků byla také ověřena, logická úroveň 3,3V už nesplňuje výrobcem doporučenou hodnotu v dokumentaci. Nejen z tohoto důvodu, ale také z důvodu ochrany bude v budoucích verzích do této části modulu přidáno galvanické oddělení realizované optočleny. Snaha o realizaci byla započata již u druhé verze modulu. Při frekvenci datového signálu 800kHz je nutné použít optočleny určené pro digitální přenosy dat, které jsou na českém trhu dostupné v minimálním množství a s neodpovídajícími cenami. Proto tato fáze čeká na nalezení vhodného zdroje těchto komponent.

## 3.3 Deska plošných spojů

### 3.3.1 Návrh

Pro modul byla zvolena dvouvrstvá deska o normalizované tloušťce 1.6 mm. Kvůli požadavku malé velikosti bylo při návrhu co nejvíce využito součástek pro povrchovou montáž (SMD). Kvůli dvou vrstvám mědi je nutné i využití prokovů - vodivých spojů mezi vrstvami. Z těchto důvodů bylo odstoupeno od myšlenky DPS vyrábět na fréze, a výroba byla přenechána na profesionální firmě JLCPCB. Tato volba také přinesla možnost velmi přesného a kvalitního potisku desky. Přestože je pro uživatele samotná DPS nepřístupná a potisk není vidět, je potisk užitečný zejména při osazování desky. Návrh DPS byl vytvořen v programu EasyEDA.



Obrázek 13: Návrh DPS (v0.3) z programu EasyEDA

### 3.3.2 Osazení

SMD komponenty je nutno osazovat se zvýšenou opatrností z důvodu jejich malé velikosti, a proto větší náchylnosti ke způsobení zkratu nesprávným pájením. Jelikož se prozatím jednalo o kusovou výrobu, byly všechny komponenty pájeny ručně. Do budoucna je v plánu využití takzvaného "stencil", což je tenký plech s výřezy přesně na místech komponent tam, kde se poté nanese pájecí pasta. Po umístění komponent na nanesenou pájecí pastu se celá DPS ohřeje horkým vzduchem nebo zespodu, nahřívací podložkou. Poté zbývá osadit THT (Through Hole Technology, komponenty s drátovými vývody) komponenty, což jsou v případě modulu konektory pro periferie a napájení.

## 3.4 Verze produktu

Jelikož je obtížné a téměř nemožné navrhnout komerční výrobek na první pokus, prošly návrh a výroba DPS několika (doposud třemi) verzemi. Každá verze přinesla vylepšení oproti verzi předchozí, avšak po pár měsících se projeví nedostatky a hned se přecházelo na verzi další. Jelikož tento projekt bude do budoucna pokračovat, jsou již pro čtvrtou verzi sepsány podklady, a po doladění detailů bude vytvořena zakázka pro výrobu.

### 3.4.1 První verze

Tato verze je, což už název naznačuje, vývojově nejstarší. Obsahovala proto minimum komponent a HW funkcí, ale díky tomu byla nejmenší. Velmi rychle se na ní projevila absence odporového děliče a korektního napájecího konektoru, proto bylo v tomto případě využito dvojpólové svorkovnice, která shodou okolností, do otvorů pro konektor pasovala. Dalším problémem byla šířka některých spojů. LED pásy mohou od určité délky požadovat napájecí proud v řádech ampér, a takové hodnoty nebylo přes tenké spoje DPS možné přenášet. Na této verzi byl připraven konektor pro připojení ke sběrnici UART, který však nebyl nikdy využit a v dalších verzích modulu byl odstraněn. Problémů poté následovalo více, a proto přišla verze druhá. Fotodokumentace viz příloha č. 3.

### 3.4.2 Druhá verze

Druhá verze přinesla kromě odporového děliče pro vstupní signály z ovladače i vylepšenou napájecí část modulu. Konkrétně se jednalo o napájecí konektor typu XT30, jež byl vybrán z důvodu velké rozšířenosti tohoto typu konektorů (XT) v modelářství. Dalším rozdílem byly tentokrát již posílené spoje napájecí koleje uzpůsobené pro větší proudovou zatížitelnost a absence výše zmíněného UART vývodu. Ve zkušebním provozu vyšlo najevo,

že odporový dělič není dobrým způsobem snižování napětí z přijímače ovladače. I přes velké hodnoty odporů představoval tento obvod zátěž způsobující proudový tok 5 mA, což velmi často způsobovalo nepřesné čtení délky pulzu zapříčiněné jeho zkreslením pod zátěží. Proto bylo nutné vstupní odpor modulu zvýšit, aby k těmto jevům nedocházelo. Fotodokumentace viz příloha č. 4.

### **3.4.3 Třetí verze**

Po několikaměsíční fázi testování druhé verze modulu přišla na řadu verze třetí. V této verzi byl pod anténu procesoru přidán výřez, který má umožnit co možná nejlepší šíření signálu z antény. Nejpodstatnější změnou je však operační zesilovač ve vstupní části modulu, který zajišťuje dostatečně velký vstupní odpor. Další změnou oproti druhé verzi je CAN transceiver, zajišťující převod diferenciálního signálu z CAN sběrnice na signál logický, srozumitelný procesoru a také RGB LED dioda, která slouží pro signalizaci stavu zařízení. V neposlední řadě byla přidána 4A výměnná pojistka a byly provedeny drobné kosmetické úpravy, jako např. zakulacení rohů DPS. Fotodokumentace viz příloha č. 5a, 5b a 5c.

### **3.4.4 Čtvrtá verze**

Přestože čtvrtá verze ještě nemá fyzickou podobu, jsou již známy změny, které na ní oproti verzi třetí budou. Jedná se např. o obvod ochrany proti převrácené polaritě, optočleny pro galvanické oddělení výstupních periférií od procesoru nebo měřící rezistor pro měření proudu tekoucího do LED pásků. Žádné z těchto změn nejsou pro funkčnost modulu nutné, proto na výrobu čtvrté verze nebyl kladen nátlak takový, jako na verze předchozí s důležitými změnami.

### **3.4.5 Vývojový modul**

Součástí vývojového procesu byl také tzv. vývojový modul. Jedná se o ručně vyrobenou verzi modulu osvětlení na prototypové desce, která slouží k testování nových funkcí, případně měření a ověřování chování modulu. Díky modularitě se dá modul s procesorem vyměnit za jiný, nebo je možné jednoduše testovat různé typy optočlenů a operačních zesilovačů. Fotodokumentace viz příloha č. 2.

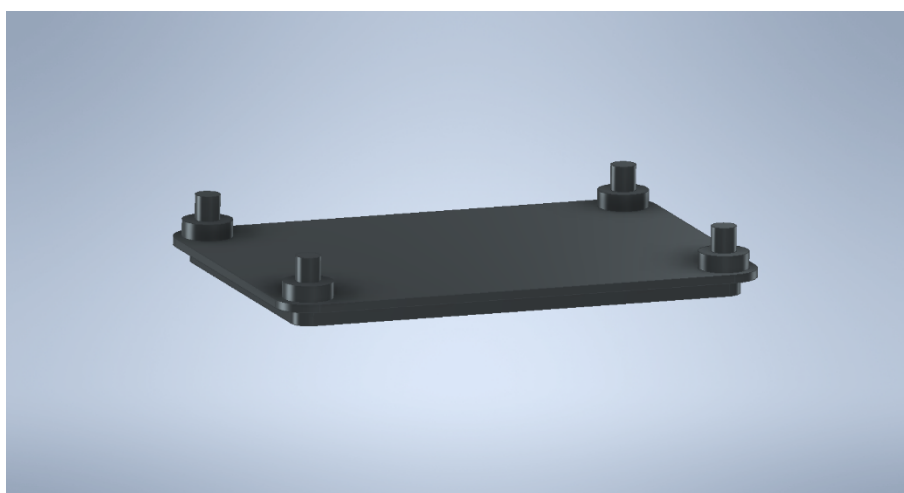
## **3.5 Kryt, krabička**

Poslední důležitou součástí výrobku je ochrana proti mechanickému a elektrickému poškození. Té bylo dosaženo dvoudílným plastovým krytem vyrobeným pomocí technologie

3D tisku. Spodní část je vyrobena z pevného materiálu, a slouží jako základna celého krytu. Vrchní část krytu je však z materiálu flexibilního, který poskytuje ideální vlastnosti pro jednoduché sejmutí krytu z výrobku v případě potřeby. Díky kombinaci těchto dvou materiálů není nutné využití dalších mechanických prvků pro spojení dvou částí, jelikož flexibilita umožňuje využití límce, který části krytu drží spolehlivě pohromadě. Transparentnost flexibilního materiálu umožňuje prostup světla z LED diody krytem.



Obrázek 14: Vrchní část krytu



Obrázek 15: Spodní část krytu

## 4 Mobilní aplikace

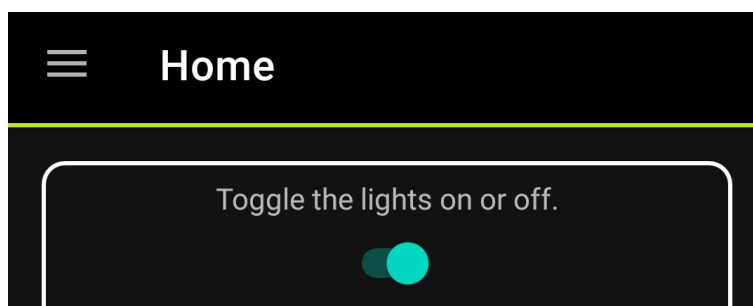
Mobilní aplikace pro ovládání modulu osvětlení je naprogramována v jazyce Java a byla vytvořena ve vývojovém prostředí Android Studio. Z toho důvodu je kompatibilní pouze se zařízeními se systémem Android. Aplikace pro svůj běh vyžaduje oprávnění "Poloha", z důvodu využití BLE, které toto oprávnění vyžaduje a "Úložiště", které je využíváno při manipulaci se soubory firmwaru modulu. V aplikaci je využito dynamických textových zdrojů, což umožňuje jazykové přizpůsobení aplikace na základě nastavení telefonu uživatele. V současné chvíli je podporována pouze čeština a angličtina, ovšem přidání dalšího jazykového zdroje je otázkou překladu stávajících pojmů.

### 4.1 Základní rozvržení

Cílem aplikace bylo poskytnout uživateli komfortní ovládání modulu osvětlení, a proto je nutné, aby byla aplikace přehledná a uživatel se v ní mohl dobře orientovat. Proto byl zvolen přístup s rozdělením na fragmenty.

#### 4.1.1 Aktivity

Aplikace je rozdělena na 2 základní aktivity a to aktivitu hlavní a aktivitu pro nastavení. Hlavní aktivita obsahuje menu a s ním spojené fragmenty, kde může uživatel modul osvětlení nastavovat, viz příloha č. 7a. V aktivitě nastavení se nachází prvky pro změny chování aplikace jako např. výběr mezi světlým a tmavým režimem aplikace. V obou aktivitách je v horní části rozložení barevný pruh, který svou barvou znázorňuje aktuální stav připojení modulu osvětlení a uživatel je tak o tomto stavu informován po celou dobu používání aplikace.



Obrázek 16: Indikátor připojení (zelená čára) na domovské obrazovce

### **4.1.2 Fragmenty**

Jelikož by bylo nepraktické mít v aplikaci všechny parametry nastavení modulu na jedné obrazovce, jsou tyto prvky rozděleny do skupin, které se nachází v jednotlivých fragmentech. Ukázky jednotlivých fragmentů se nachází v přílohách č. 7a, 7b a 7c.

### **4.1.3 Krajiní lišta**

Krajiní lišta, pro vývojáře tzv. side bar, je rozdělena na dvě části. Ve vrchní části se nachází indikátor stavu připojení spolu s počítadlem přijatých paketů, a ve spodní části se nachází menu, sloužící pro přepínání mezi jednotlivými fragmenty. Aktuálně vybraný fragment je znázorněn barevným zvýrazněním odpovídající položky v tomto menu. Ukázka této lišty se nachází v příloze č. 7d.

## 5 OTA (Over The Air) aktualizace

Jedním z cílů projektu bylo průběžně vydávat nové funkce skrze aktualizace, které bude možné vykonat přes mobilní aplikaci. Aby uživatel mohl zahájit proces aktualizace, musí být modul osvětlení k aplikaci připojen. Po připojení modul osvětlení do aplikace odešle svou verzi hardwaru i softwaru a poté si aplikace dostupnost nového firmwaru ověří sama. Tento proces lze inicializovat i ručně ve fragmentu pro aktualizaci, viz příloha č. 7c. Pro ověření dostupnosti si aplikace z domény besafelights.eu stáhne soubor ve formátu JSON, ve kterém se nachází informace o kompatibilitě verzí firmwaru s verzemi hardwaru.

```
1  {
2    "name": "besafelights_fw_index",
3    "releaseDate": "2022-03-18T00:00:00.000Z",
4    "md5": "ba3ae4a2d9791e06189d725ca3e05f2e",
5    "fw_builds": [
6      {
7        "ver": 0.1,
8        "hw_compatible_until": 0.1,
9        "releaseDate": "2021-08-15T00:00:00.000Z",
10       "md5": "19732e5ca56db56a421793381aecdef3"
11     },
12     {
13       "ver": 0.2,
14       "hw_compatible_until": 0.3,
15       "releaseDate": "2021-08-15T00:00:00.000Z",
16       "md5": "901fc784078bbb719f74bea6b3c96cf7"
17     },
18     {
19       "ver": 1,
20       "hw_compatible_until": 0.3,
21       "releaseDate": "2021-03-18T00:00:00.000Z",
22       "md5": "a31eb3c76d7eb961b85b01ff96b17c0e"
23     }
24   ]
25 }
```

Obrázek 17: JSON soubor pro kontrolu verzí FW modulu

Při nalezení novější verze softwaru, než je verze v připojeném modulu aplikace stáhne příslušný soubor do úložiště zařízení, konkrétně do "/ext/besafeData/ota/". Po úspěšném stažení souboru aplikace do modulu vyšle paket s ID 250, což modul vyhodnotí jako začátek aktualizace firmwaru a ukončí všechny nepodstatné procesy. Poté se obsah souboru firmwaru přenesou po blocích 256 bytů do modulu. Přenesená data se v modulu ukládají do flash paměti a po dokončení přenosu a ověření kontrolního součtu se tato data přesunou do jednoho z bootovacích oddílů procesoru, ze kterého procesor po restartování data načte. V současné době je přenosová rychlost mezi aplikací a modulem osvětlení zhruba 3kB/s, což znamená dobu aktualizace okolo 6 minut. V budoucnu je určitě cílem tuto rychlost co nejvíce zvýšit.

## 6 Testovací provoz

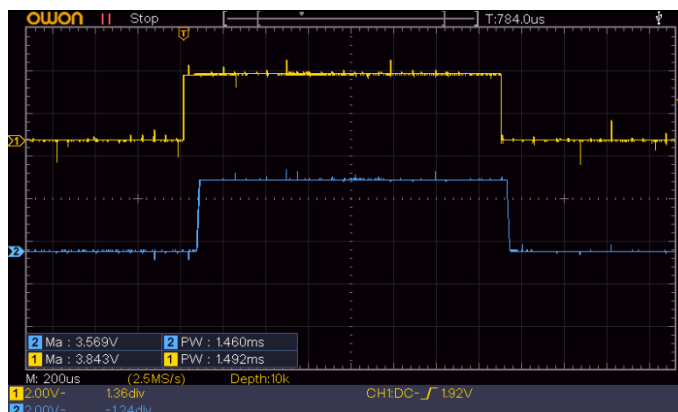
Testování a zkoušení nových funkcí při vývoji dává dobrý dojem o funkčnosti celého výrobku, avšak testování ve venkovním prostředí skutečně prověří zdali, modul osvětlení splňuje svůj účel.

Jedním z problémů, který se projevil až ve venkovním prostředí, je barva směrových světel. Kvůli aditivnímu způsobu tvorby barev RGB led pásků je téměř nemožné vytvořit dostatečně saturovanou oranžovou barvu. Proto je tato barva co nejvíce napodobena odstínem žluté.



Obrázek 18: Testování směrových světel na elektrickém longboardu

Dalším nedostatkem, který byl vyřešen přidáním operačního zesilovače (viz Vstupní část) ve třetí verzi modulu osvětlení, je interference při čtení délky PWM signálu. Tato interference způsobovala předčasné nebo naopak pozdní zachycení hrany pulzu, a délka snímaného signálu se tak neshodovala se skutečností. Na světlech se poté projevovaly jevy jako např. náhodné problikávání mezi režimem brzdění a režimem směrovek.



Obrázek 19: Pokus o redukci šumu pomocí RC filtru



## Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat modul osvětlení ovládající světla na elektrických dopravních prostředcích. Součástí modulu je i mobilní aplikace, jež má uživateli poskytnout komfortní způsob konfigurace parametrů modulu a aktualizace firmwaru.

Vývoj modulu prošel několika fázemi a stávající třetí verze modulu splňuje všechny očekávané požadavky. Modul je schopný reagovat na vstup od uživatele a příslušně zobrazovat různé jízdní situace na připojených světlech. Podporuje zjednodušené ovládání tlačítkem, čtení PWM signálů a je schopen interakce se sběrnici CANBUS. Kvůli současnému nedostatku integrovaných obvodů na trhu se však kvůli logistickým zdržením nepovedlo plně integrovat reakci na data vyhodnocená ze sběrnice CANBUS, a modul je v současné chvíli schopen pouze přijímat a odesílat pakety.

Mobilní aplikace byla otestována na několika kusech zařízení s operačním systémem Android a jeví se jako bezproblémová. Na verzích starších než Android 7 aplikace dle očekávání nefunguje. Součástí testování bylo i přizpůsobení se barevnému režimu zařízení nebo přizpůsobení jazykové.

Produkt byl testován v osobním dopravním prostředku a po finální implementaci komunikace přes CANBUS, doladění OTA aktualizací a produkci dalších kusů modulu bude zahájena fáze testování v cílové skupině uživatelů.

## Seznam použitých zdrojů

**Bluetooth SIG, Inc.** Bluetooth Technology Overview. *Bluetooth Technology Website*. [Online] [Citace: 11. Březen 2022.] <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.

**Espressif Systems. 2022.** ESP32 Hardware Reference. *ESP-IDF Programming Guide*. [Online] 2022. [Citace: 16. 01 2022.] [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).

—, LED Control (LEDC). *ESP-IDF Programming Guide*. [Online] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/ledc.html>.

—, Motor Control Pulse Width Modulator (MCPWM). *ESP-IDF Programming Guide*. [Online] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/mcpwm.html>.

**pico Technology.** CAN and CAN FD bus decoding. *Pico Technology*. [Online] [Citace: 15. Březen 2022.] <https://www.picotech.com/library/oscilloscopes/can-bus-serial-protocol-decoding>.

**Sirůček, Tomáš. 2019.** APLIKACE INTEGROVANÉHO OBVODU ESP32. *ČVUT DSpace*. [Online] 2019. [Citace: 23. Únor 2022.] <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/82743>.

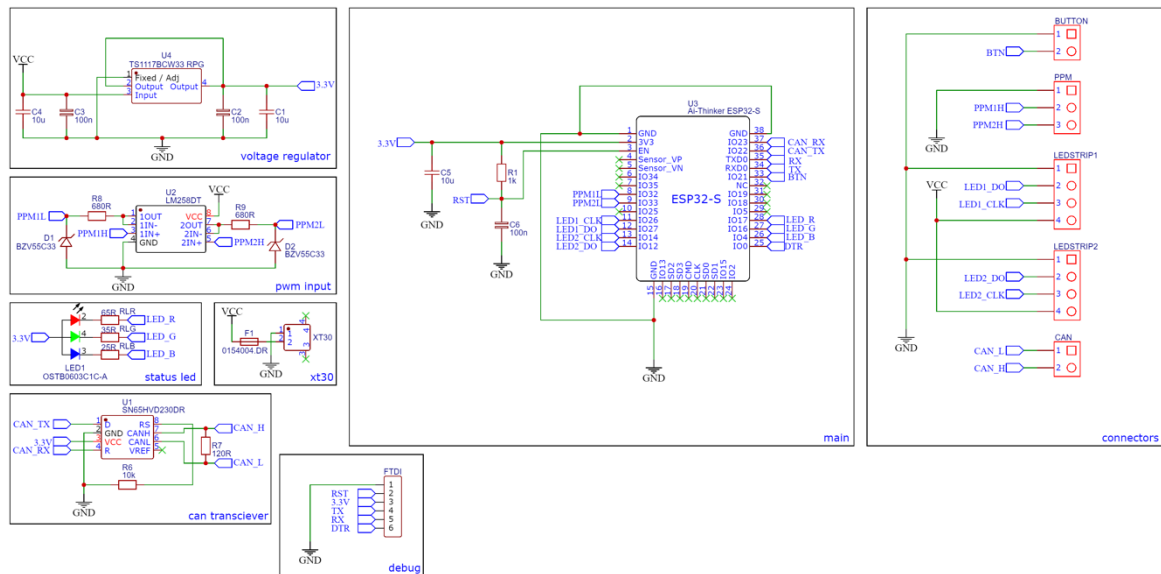
**Spychalski, Paweł. 2016.** Read RC PWM signal with Arduino. *QuadMeUp*. [Online] QuadMeUp, 11. Leden 2016. [Citace: 3. Únor 2022.] <https://quadmeup.com/read-rc-pwm-signal-with-arduino/>.

**Vedder, Benjamin. 2022.** *VESC Project*. [Online] 7. Březen 2022. <https://vesc-project.com/>.

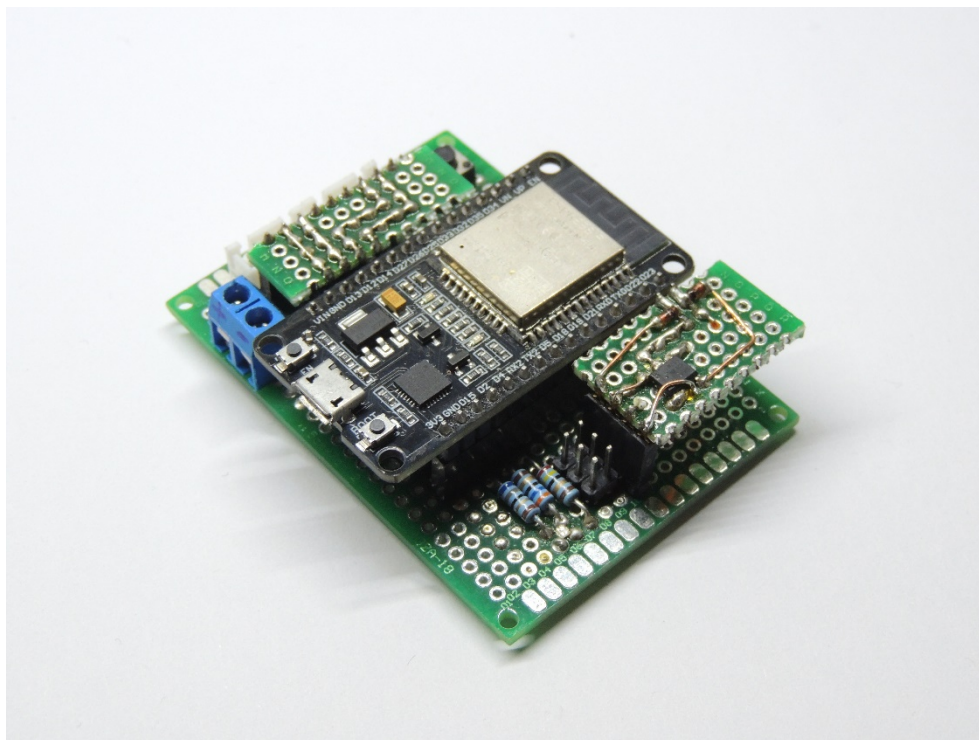
—, 2006. *bldc-hardware*. *bldc-hardware*. [Online] 13. Březen 2006. [Citace: 15. Březen 2022.] <https://github.com/vedderb/bldc-hardware>.

# Seznam příloh

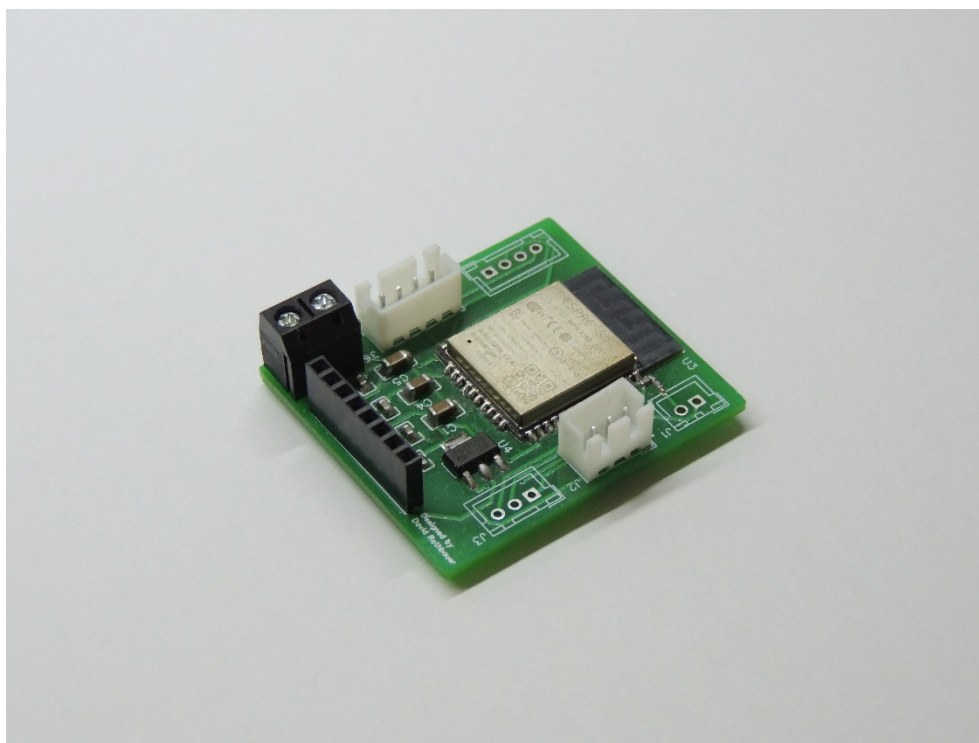
## Příloha č. 1: Kompletní schéma modulu z programu EasyEDA



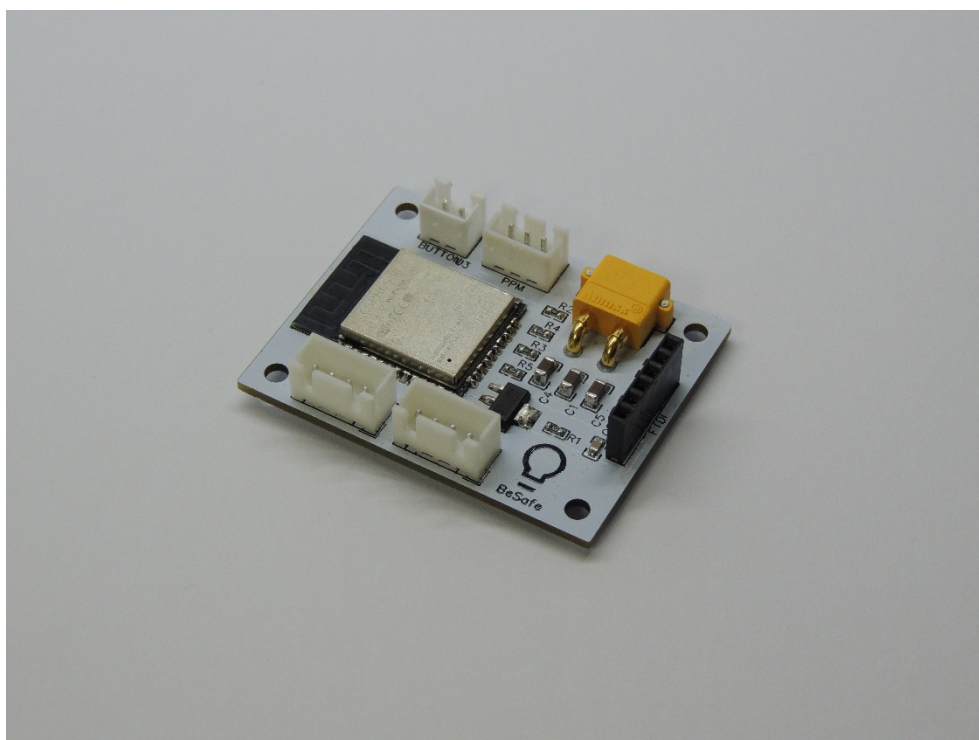
## Příloha č. 2: Vývojová verze modulu



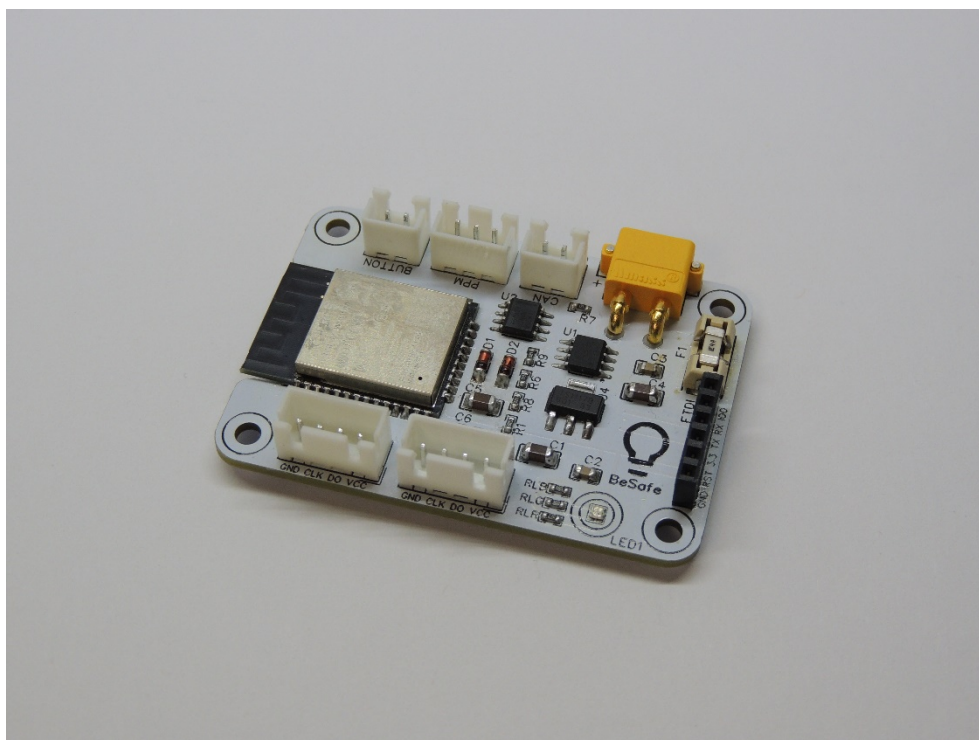
**Příloha č. 3: První verze modulu**



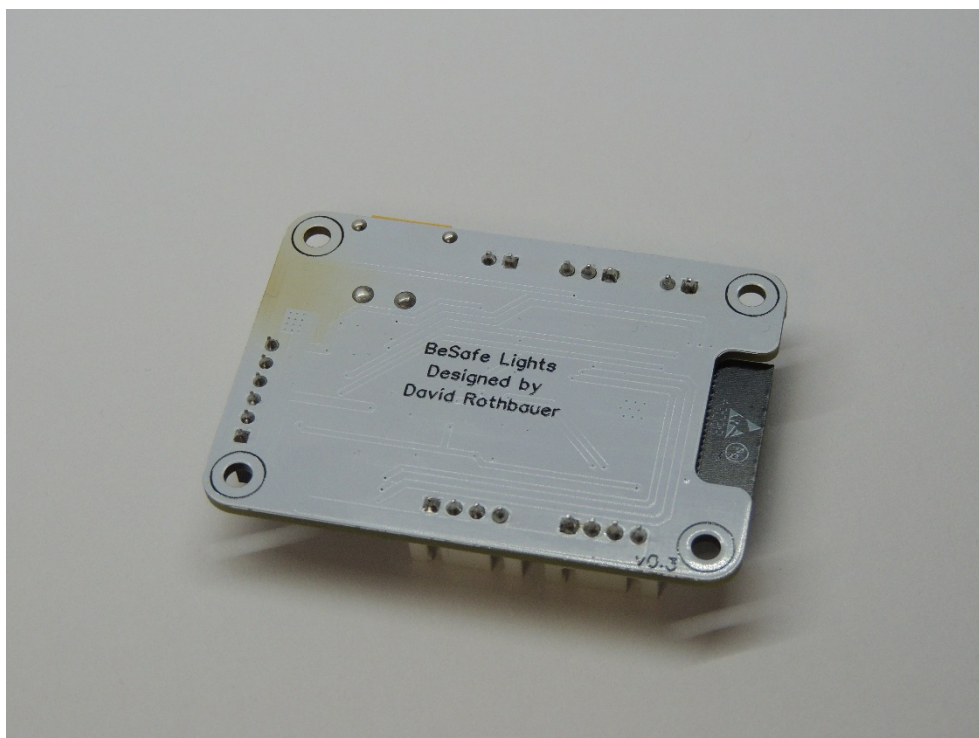
**Příloha č. 4: Druhá verze modulu**



**Příloha č. 5a: Třetí verze modulu - přední strana**



**Příloha č. 5b: Třetí verze modulu - zadní strana**



## Příloha č. 5c: Třetí verze modulu - s napájením



## Příloha č. 6a: Úryvek z kódu - mobilní aplikace (OTA Aktualizace)

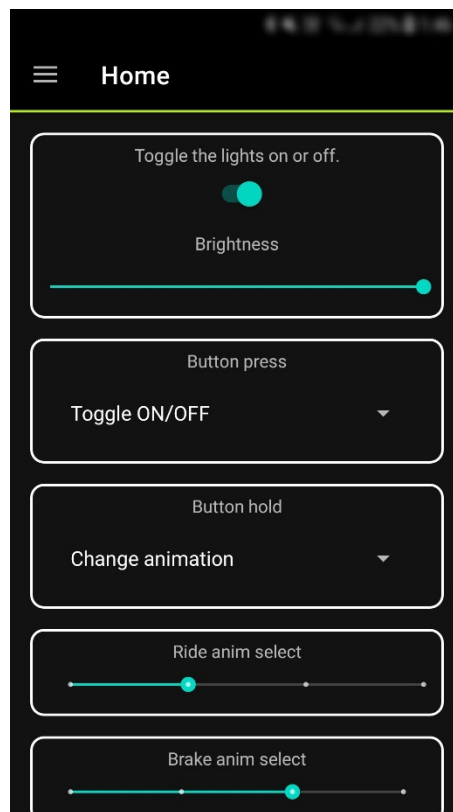
```
int payloadSize = 256-4;
byte[][] data = new byte[(fileData.length*payloadSize==0)?(int)(fileData.length/payloadSize):(fileData.length/payloadSize)+1][payloadSize];
for(int i = 0; i < data.length; i++){
    for(int x = 0; x < data[i].length; x++){
        data[i][x] = Arrays.copyOfRange(fileData, from: i*payloadSize, to: i*payloadSize+payloadSize);
    }
}

for(int i = 0; i < data.length; i++){
    ble_transmit_packet = new Packet( id: 252, data[i]);
    sendTXPacket();
    Log.i(TAG, "msg: \"onClick: queued packet \" + i + \" of \" + data.length);
}
```

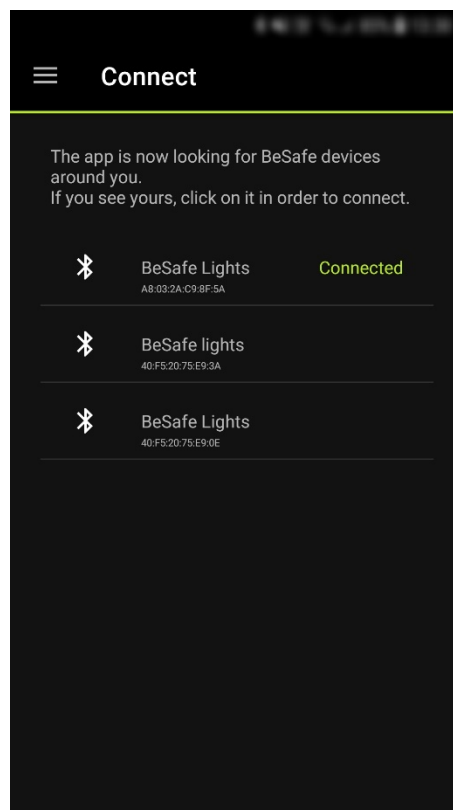
## Příloha č. 6b: Úryvek z kódu - modul osvětlení (měření délky PWM pulzů)

```
71 bool RemoteHandler::mcpwm_isr_handle(mcpwm_unit_t mcpwm, mcpwm_capture_channel_id_t cap_sig, const cap_event_data_t *edata, void *arg) {
72     BaseType_t high_task_wakeup = pdFALSE;
73     if (edata->cap_edge == MCPWM_POS_EDGE) { //rise edge
74         cap_val_begin_of_sample[cap_sig] = edata->cap_value;
75         cap_val_end_of_sample[cap_sig] = cap_val_begin_of_sample[cap_sig];
76     } else { //fall edge
77         cap_val_end_of_sample[cap_sig] = edata->cap_value;
78         uint32_t pulse_count = cap_val_end_of_sample[cap_sig] - cap_val_begin_of_sample[cap_sig];
79         /*values[cap_sig]*int value = pulse_count * (1000000.0 / rtc_clk_apb_freq_get());
80         if(value >= 900 && value <= 2100){
81             values[cap_sig] = value;
82         }
83     }
84     last_cap_time[cap_sig] = esp_timer_get_time(); //save the last time of pulse to later check for it not being present anymore
85     return high_task_wakeup == pdTRUE;
86 }
```

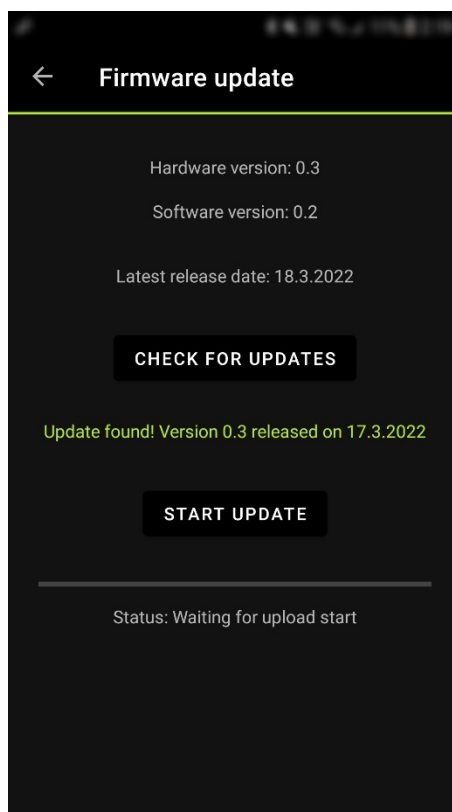
## Příloha č. 7a: Aplikace - domovská stránka



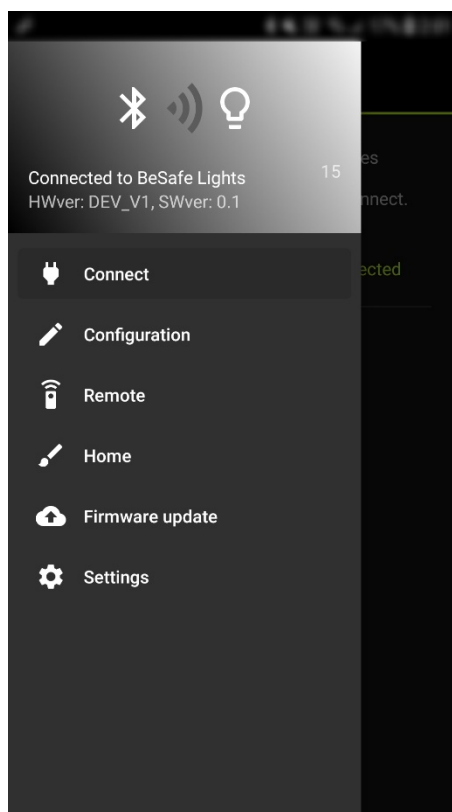
## Příloha č. 7b: Aplikace - fragment připojení



### Příloha č. 7c: Aplikace - fragment aktualizace firmwaru



### Příloha č. 7d: Aplikace - výsuvná krajní lišta





**Příloha č. 8: Cenová kalkulace modulu osvětlení**

Označení	Název	Hodnota	Počet	Cena
	Tištěný spoj		1	80,00 Kč
U3	Ai-Thinker ESP32-S		1	99,00 Kč
U1	CAN transceiver SN65HVD230DR		1	60,00 Kč
U2	Operační zesilovač LM258DT		1	4,60 Kč
U4	Lineární stabilizátor TS1117BCW33	3.3V	1	16,00 Kč
BUTTON, CAN	JST konektor 2pin		2	6,00 Kč
PPM	JST konektor 3pin		1	3,80 Kč
LEDSTRIP1, LEDSTRIP2	JST konektor 4pin		2	8,00 Kč
XT30	XT30 konektor do PCB		1	20,00 Kč
C1,C4,C5	SMD keramický kondenzátor 1206	10u	3	21,30 Kč
C2,C3,C6	SMD keramický kondenzátor 0805	100n	3	14,10 Kč
R1	SMD rezistor 0603	1k	1	1,30 Kč
R6	SMD rezistor 0603	10k	1	1,30 Kč
R7	SMD rezistor 0603	120R	1	1,30 Kč
R8,R9	SMD rezistor 0603	680R	2	2,60 Kč
RLB	SMD rezistor 0603	27R	1	1,30 Kč
RLG	SMD rezistor 0603	35R	1	1,30 Kč
RLR	SMD rezistor 0603	68R	1	1,30 Kč
D1, D2	BZV55C33	3V3	2	3,80 Kč
F1	SMD pojistka	4A	1	39,00 Kč
FTDI	Dutinková lišta 6pin		1	8,00 Kč
LED1	SMD RGB LED dioda 0603		1	5,80 Kč

<b>Celková cena:</b>	<b>399,80 Kč</b>
----------------------	------------------

**Příloha č. 9: Modul osvětlení v prostoru trakční baterie elektrického longboardu**



**Příloha č. 10: První oživení modulu osvětlení**



## Příloha č. 11: Řešení problémů se čtením délky pulzů

