



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA ELEKTRONIKI

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

*Kamizelka z sygnalizacją zmiany kierunku ruchu dla kierowcy
hulajnogi elektrycznej*

Autor:

Jakub Górnisiewicz

Kierunek studiów:

Elektronika i Telekomunikacja

Opiekun pracy:

dr hab. inż. Andrzej Brudnik

Kraków, 2023

Spis treści

SPIS STOSOWANYCH SKRÓTÓW	4
WSTĘP.....	5
CEL I ZAKRES PRACY.....	7
PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ	8
ROZDZIAŁ 1 WYBÓR KOMUNIKACJI BEZPRZEWODOWEJ.....	9
ROZDZIAŁ 2 DOBÓR ZESTAWÓW URUCHOMIENIOWYCH	10
ROZDZIAŁ 3 PROJEKT NADAJNIKA.....	11
3.1 WYMAGANIA PROJEKTOWE.....	11
3.2 SCHEMAT IDEOWY I ZASADA DZIAŁANIA	11
3.3 BŁOK ZASILANIA - DOBÓR ELEMENTÓW SKŁADOWYCH	12
3.3.1 Akumulator.....	13
3.3.2 Wylłącznik.....	14
3.3.3 Przetwornica.....	15
3.3.4 Dzielnik rezystancyjny.....	15
3.3.5 Port USB typu A.....	17
3.4 BŁOK KONTROLNO-NADAWCZY - DOBÓR ELEMENTÓW SKŁADOWYCH.....	17
3.4.1 Przyciski oraz eliminacja drgań	18
3.4.2 Dzwignia hamulca oraz komparator z histerezą	19
3.4.3 Diody LED.....	20
3.5 PROJEKT SCHEMATU ELEKTRYCZNEGO ORAZ OBWODU DRUKOWANEGO	21
3.5.1 Schemat elektryczny.....	22
3.5.2 Obwód drukowany	25
3.5.3 Wykonanie płytki PCB	26
ROZDZIAŁ 4 PROJEKT ODBIORNIKA	27
4.1 WYMAGANIA PROJEKTOWE.....	27
4.2 SCHEMAT IDEOWY I ZASADA DZIAŁANIA	27
4.3 BŁOK KONTROLNO-ODBIORCZY – DOBÓR ELEMENTÓW SKŁADOWYCH	28
4.3.1 Diody LED.....	29
4.3.2 Rejestr przesuwany	29
4.3.3 Tranzystor bipolarny oraz kluczowanie	30
4.3.4 Sygnalizator dźwiękowy	30
4.4 PROJEKT SCHEMATU ELEKTRYCZNEGO ORAZ OBWODU DRUKOWANEGO	30
4.4.1 Schemat elektryczny.....	31
4.4.2 Obwód drukowany i wykonanie płytki PCB.....	33
ROZDZIAŁ 5 KOD APLIKACJI.....	34

5.1	CZĘŚĆ NADAWCZA	35
5.2	CZĘŚĆ ODBIORCZA	41
ROZDZIAŁ 6 PROJEKT KONSTRUKCYJNY		44
6.1	CZĘŚĆ NADAWCZA	44
6.2	CZĘŚĆ ODBIORCZA	46
ROZDZIAŁ 7 TESTY FUNKCJONALNE		47
7.1	TEST WIDOCZNOŚCI	48
7.2	TEST JEDNOCZESNEGO WCIŚNIĘCIA PRZYCISKÓW	48
7.3	TEST ADC	49
ROZDZIAŁ 8 PODSUMOWANIE		50
8.1	DALSZY ROZWÓJ PROJEKTU	50
BIBLIOGRAFIA		51
ZAŁĄCZNIK A SCHEMAT ELEKTRYCZNY BLOKU KONTROLNO-NADAWCZEGO		53
ZAŁĄCZNIK B SCHEMAT OBWODU DRUKOWANEGO NADAJNIKA		54
ZAŁĄCZNIK C SCHEMAT ELEKTRYCZNY BLOKU KONTROLNO-ODBIORCZEGO		55
ZAŁĄCZNIK D SCHEMAT OBWODU DRUKOWANEGO ODBIORNIKA		56

Spis stosowanych skrótów

ADC (Analog to Digital Converter) – przetwornik analogowo-cyfrowy,
GPIO (General Purpose Input/Output) – wejście-wyjście ogólnego przeznaczenia,
HAL (Hardware Abstraction Layer) – warstwa abstrakcji sprzętowej,
LED (Light Emitting Diode) – dioda elektroluminescencyjna,
PCB (Printed Circuit Board) – płytką drukowaną,
RC (Resistor-Capacitor) – rezystor-kondensator,
SMT (Surface Mount Technology) – montaż powierzchniowy,
SPI (Serial Peripheral Interface) – szeregowy interfejs urządzeń peryferyjnych,
THT (Through-Hole Technology) – montaż przewlekany,
USB (*Universal Serial Bus*) – uniwersalna magistrala szeregową.

Wstęp

Hulajnoga elektryczna (również znana pod nazwą e-hulajnoga) to dwuosioowy pojazd elektryczny, konstrukcyjnie wzorowany na klasycznej hulajnodze. Wygląd typowej e-hulajnogi został przedstawiony na Rysunku 1.



Rysunek 1. Hulajnoga elektryczna Xiaomi M365 Pro 2 [1]

Elektryczne hulajnogi pozwalają na sprawne przemieszczanie się w ruchu drogowym, co jest możliwe dzięki wykorzystaniu komponentów elektronicznych. W Polsce zaczęły cieszyć się zwiększoną popularnością pod koniec roku 2017, po fali sukcesów odniesionych w Stanach Zjednoczonych.

Hulajnogi elektryczne mają bardzo duży wpływ na to jak wygląda dzisiejszy transport. Ich łatwy dostęp powoduje, że w ciepłych okresach roku coraz więcej osób korzysta z e-hulajnóg. W tym zjawisku pomagają również firmy, które w zamian za opłatę udostępniają swoje urządzenia na minuty. Pozwalają one również na pozostawienie hulajnóg w innym miejscu niż w tym, w którym zostały wypożyczone.

Aktualny rynek konsumencki oferuje wiele modeli e-hulajnóg od różnorodnych producentów. Wybór odpowiedniej zależy od wymagań oraz parametrów fizycznych potencjalnego kierowcy, tak aby zapewnić odpowiedni zasięg jazdy oraz komfort jazdy.

Hulajnogi elektryczne wykorzystują silniki elektryczne jako napęd umieszczony zazwyczaj w przednim kole. Źródłem zasilania są akumulatory, które wraz ze sterownikiem i pozostałą logiką elektroniczną, schowane są w podeście, na którym stoi kierowca.

Do sterowania szybkością poruszania się służy manetka gazu, natomiast do zmniejszania prędkości poza hamulcem nożnym stosowana jest dźwignia hamulca ręcznego (Rysunek 2).



Rysunek 2. Elementy hulajnogi elektrycznej Xiaomi M365 Pro 2 [2]

Większość e-hulajnóg posiada zamontowane oświetlenie przednie (na kierownicy) oraz tylne (na hamulcu nożnym), które jest zintegrowane z dźwignią hamulca ręcznego. Od dnia 20 maja 2021 w Polsce, obowiązują przepisy prawne o ruchu drogowym [3], które nakazują traktowania hulajnóg elektrycznych podobnie jak rowery, co oznacza, że wyżej opisane światła są wymagane podczas poruszania się w ruchu drogowym.

Odmienna sytuacja występuje w przypadku świateł sygnalizacyjnych zmianę kierunku jazdy, która nie została uregulowana. Wciąż są one nieobowiązkowe w wyposażeniu każdej e-hulajnogi, co powoduje potencjalne zagrożenie podczas jazdy.

Cel i zakres pracy

Celem pracy inżynierskiej jest zaprojektowanie oraz stworzenie kamizelki sygnalizującej poruszanie się podczas jazdy hulajnogą elektryczną. Projekt podzielono na dwa moduły: nadawczy (dalej *Nadajnik*) oraz odbiorczy (dalej *Odbiornik*).

Poprzez wybór przycisku w Nadajniku, kierowca wywołuje odpowiednie wyświetlanie świateł na matrycy świetlnej umieszczonej w Odbiorniku. Dla użytkownika do wyboru dostępne są: kierunkowskazy prawo/lewo, światła awaryjne oraz światło stop.

Odbiornik powinien być łatwo do zauważenia poprzez permanentne uruchomienie świateł pozycyjnych, zastosowanie to zwiększa bezpieczeństwo kierującego. Część odbiorcza powinna również potwierdzać gotowość do odbioru sygnału oraz sygnalizować rozpoczęcie/zakończenie wyświetlania świateł dzięki wydaniu odpowiedniego dźwięku. Komunikacja pomiędzy modułami musi odbywać się w sposób bezprzewodowy, aby nie ograniczać swobodnych ruchów kierowcy.

Powodem wyboru tematu była chęć zintegrowania typowej dźwigni hamulca ręcznego, występującego w komercyjnych rozwiązaniach e-hulajnóg wraz z matrycą świetlną umieszczoną na plecach kierowcy. Aktualnie rynek nie oferuje takiej konfiguracji. Dodatkowo względem komercyjnego rozwiązania warto zaimplementować sygnalizatory świetlne dla kierowcy, które umieszczone zostaną w Nadajniku (podobne do implementacji sygnalizatorów na samochodowej desce rozdzielczej).

Zakres pracy dyplomowej obejmuje:

- dobór sposobu komunikacji bezprzewodowej oraz zestawów uruchomieniowych,
- wybór komponentów elektronicznych,
- projekty schematów elektrycznych, obwodów drukowanych i wytworzenie płytek PCB (ang. *Printed Circuit Board*),
- sterowanie mikrokontrolerami za pomocą kodów aplikacji,
- projekty konstrukcyjne obudów w technologii 3D,
- testy funkcjonalne.

Przegląd istniejących rozwiązań

Popularność kamizelek sygnalizacyjnych jest bardzo mała. Prawdopodobnie jest to spowodowane wysoką ceną produktu. Wytwór jest dostępny na chińskich portalach aukcyjnych w kwocie około 20 złotych, natomiast w Polsce sprzedawany w cenie około 170 złotych. Niestety, po analizie rynku można wywnioskować, że występuje prawie całkowity monopol na jeden model kamizelki.

Stworzona jest ona na wzór szelek z jednym punktem świetlnym o dużej powierzchni znajdującej się w środkowej części pleców (Rysunek 3).



Rysunek 3. Najpopularniejsza dostępna kamizelka świetlna [4]

Konstrukcja jest w stanie przedstawić cztery znaki świetlne o kolorze zielonym tj.: strzałka w lewo, strzałka w prawo, strzałka w górę oraz poziome kropki. Dodatkową, piątą sygnalizacją jest czerwony wykrzyknik.

Za wyświetlanie odpowiedzialne są 48 diod LED (ang. *Light-Emitting Diode*), które zasilane są ze źródła energii typu powerbank. Umieszczony jest on w specjalnej kieszeni znajdującej się od wewnętrznej strony kamizelki.

Przedstawienie znaku odbywa się poprzez wciśnięcie odpowiedniego przycisku na znajdującym się w zestawie pilocie.

Rozdział 1 Wybór komunikacji bezprzewodowej

W dzisiejszych czasach komunikacja bezprzewodowa jest bardzo rozpowszechniona. Obywa się ona dzięki wykorzystaniu wielu standardów. Każdy z nich ma swoje wady jak i zalety.

W projekcie pod uwagę były brane trzy moduły o różnych standardach komunikacji:

- HC05 oraz HC06 wykorzystujące Bluetooth,
- ESP8266-01S wykorzystujący Wi-Fi,
- nRF24L01+, który jest modulem radiowym.

Podczas wyboru najważniejszymi kryteriami było: dostępność komponentów na rynku, cena oraz pobór prądu. Wymienione peryferia współpracują z mikrokontrolerami za pomocą różnych interfejsów komunikacyjnych, oferują wystarczający zasięg wymagany w projekcie oraz zadawalającą prędkość transmisji danych. Napięcie zasilające jest wspólne dla wszystkich komponentów i wynosi 3,3 V. Występujące różnice między elementami można zauważyć w paśmie częstotliwości pracy, poborze prądu oraz cenie komponentu.

Wykorzystany w projekcie moduł to nRF24L01+ [5] (nazywany również w dalszej części jako *element nadawczy* oraz *element odbiorczy*).

Został on wybrany, ponieważ spełnia wszystkie założone wymagania:

- kompatybilność z wykorzystanym w projekcie mikrokontrolerem odbywa się poprzez użycie interfejsu komunikacyjnego SPI (ang. *Serial Peripheral Interface*),
- pobierany prądu jest stosunkowo niski i wynosi około 11 mA (przy 0 dbm mocy wejściowej),
- prędkość transmisji danych jest wystarczająca jak na potrzeby projektu (komponent pozwala uzyskać przepustowość do 2 Mbps),
- dodatkowym aspektem przemawiającym za nRF24L01+ to jego cena. Moduł ten jest najtańszy z listy potencjalnych kandydatów.

Rozdział 2 Dobór zestawów uruchomieniowych

Projekt kamizelki sygnalizacyjnej podzielony jest na dwie części: Nadajnik oraz Odbiornik. Z tego faktu potrzebne są dwie płytki ewaluacyjne/zestawy uruchomieniowe. Kryterium, które jest wymagane to kompatybilność z elementem komunikacyjnym nRF24L01+ oraz posiadanie przetwornika analogowo-cyfrowego znanego również jako ADC (ang. *Analog to Digital Converter*).

Wybrany rozwiązaniem jest płytki ewaluacyjna STM32 NUCLEO-F411RE, przedstawiona na Rysunku 4. Jest to zestaw uruchomieniowy z 32 bitowym mikrokontrolerem, posiadającym rdzeń ARM Cortex M4, pozostałe podstawowe parametry komponentu przedstawia Tabela 1.



Rysunek 4. STM32 NUCLEO-F411RE [6]

Tabela 1. Specyfikacja STM32 NUCLEO-F411RE [7]

Parametr	Wartość
Maksymalna częstotliwość taktowania	100 MHz
Pamięć programu Flash	512 kB
Pamięć SRAM	128 kB
Ilość timerów	10
Przetwornik analogowo-cyfrowy	12 bit, 16 kanałów
Interfejsy komunikacyjne	3x I2C, 3x USART, 5x SPI

Rozdział 3 Projekt Nadajnika

W tym rozdziale zostaną zrelacjonowane kolejne etapy tworzenia modułu nadawczego. Początkowo zostaną opisane wymagania stawiane przed Nadajnikiem i ogólna zasada działania. Kolejnym krokiem będzie dobór odpowiednich komponentów oraz projektowanie układu elektrycznego. Rozdział kończy proces projektowania obwodu drukowanego oraz wytworzenia płytki PCB.

3.1 Wymagania projektowe

System części nadawczej musi spełniać konkretne, stosunkowo rygorystyczne wymagania, w celu zapewnienia bezpieczeństwa jak i komfortu użytkownika, którymi są:

- umożliwienie wygodnego wyboru sygnalizacji kierunku jazdy, dzięki odpowiedniemu rozmieszczeniu przycisków na PCB,
- pomiar oraz interpretacje świetlną aktualnego napięcia na ogniwach zasilających,
- odebranie oraz przetworzenie sygnału otrzymanego z przycisków oraz dźwigni hamulca ręcznego,
- wysłanie informacji z danymi do Odbiornika,
- kształt modułu nadawczego powinien być zbliżony do parametrów wielkościowych typowej kierownicy hulajnogi elektrycznej.

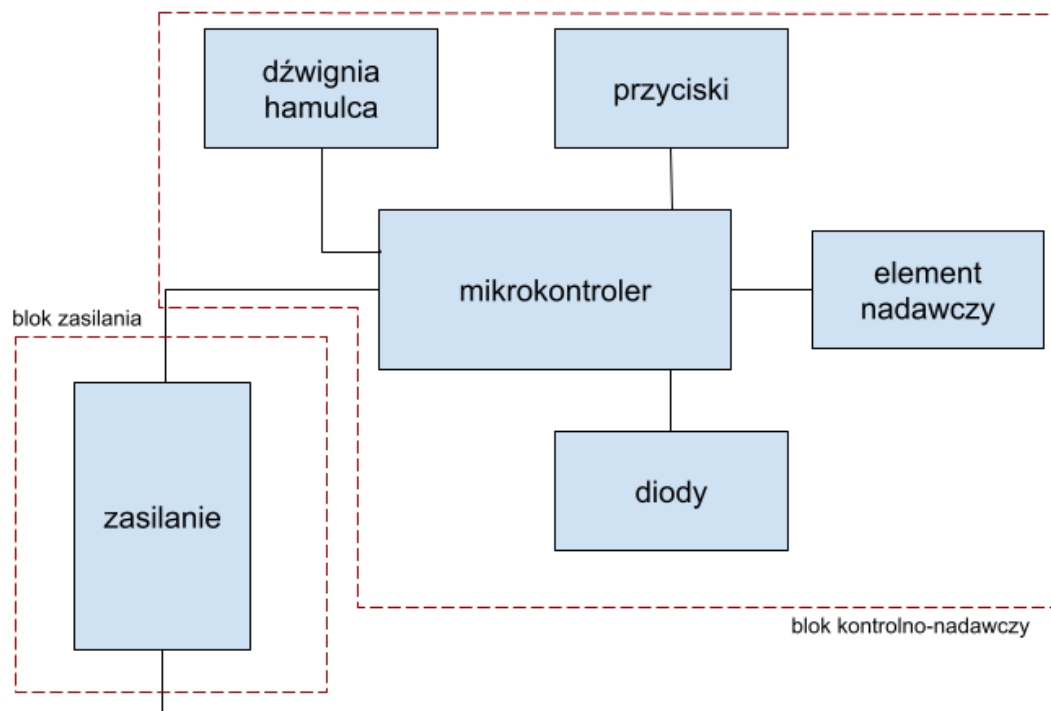
3.2 Schemat ideowy i zasada działania

Schemat ideowy Nadajnika przedstawia obrazową budowę modułu nadawczego, składającego się z dwóch głównych bloków: zasilającego oraz kontrolno-nadawczego (Rysunek 5).

Dzięki takiemu podziałowi w łatwiejszy sposób można zrozumieć konstrukcje oraz w dalszej części zasadę działania.

Blok zasilania ma za zadanie dostarczyć prąd elektryczny do płytki ewaluacyjnej. Dostęp do banku energii musi być łatwy, tak aby umożliwić ponowne naładowanie ogniw w przypadku ich rozładowania. Zasilanie do zestawu uruchomieniowego doprowadzone jest za pomocą portu Mini USB (ang. *Universal Serial Bus*).

Blok kontrolno-nadawczy odpowiedzialny jest za działanie logiczne Nadajnika. Musi on odbierać oraz odpowiednio przetwarzać sygnały otrzymane z użytych w projekcie komponentów. Jego najważniejszym elementem jest STM32 NUCLEO-F411RE, który zasilą oraz steruje pozostałymi komponentami, co odbywa się dzięki zaimplementowaniu kodu aplikacji w mikrokontrolerze.

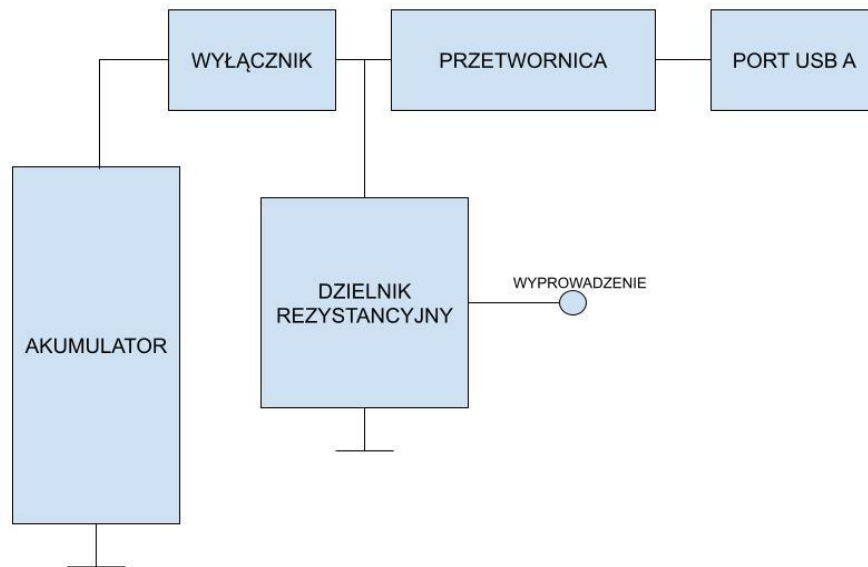


Rysunek 5. Schemat ideowy Nadajnika

3.3 Blok zasilania - dobór elementów składowych

Do zadań bloku poza dostarczaniem odpowiedniego napięcia do zestawu uruchomieniowego należy również odcięcie od zasilania całego Nadajnika. Odbywa się to poprzez wykorzystanie wyłącznika, natomiast służy do oszczędzania zasobami. Blok ten również posiada wyprowadzenie w celu zmierzenia aktualnego napięcia na źródle zasilania. Schemat ideowy bloku zasilania przedstawia Rysunek 6.

Podczas budowy zasilania nadajnika, starano się wybrać elementy, które aktualnie są dostępne na rynku mimo globalnego kryzysu elektronicznego. Wymagającym kryterium była również cena w stosunku do możliwości oraz jakości komponentu. Dodatkowo zwrócono uwagę, aby użyte komponenty były możliwe do zamontowania w zaprojektowanej obudowie.



Rysunek 6. Schemat ideowy bloku zasilania

3.3.1 Akumulator

Źródłem napięcia w Nadajniku są dwa akumulatory typu 18650 o pojemności 2600 mAh (Rysunek 7). Ogniwa zostały umieszczone w dedykowanym koszyczku, który łączy zasobniki energii w sposób szeregowy, dzięki czemu uzyskano napięcie wyjściowe równe 8,2 V zachowując pojemność pojedynczego akumulatora.

Powodem wyboru akumulatorów o takich parametrach jest również chęć zapewnienia pracy układu przez co najmniej 24 godziny. Szacunkowy czas funkcjonowania na jednym naładowaniu można przybliżyć wykorzystując wzór:

$$T = \frac{Q\eta}{I} \quad (1)$$

Gdzie:

T - czas pracy [h]

Q – pojemność akumulatora [aH]

η – sprawność akumulatora

I – pobierany prąd przez układ [A].

Znając maksymalną wartość prądu, która jest pobierana z akumulatorów wynoszącą około 80 mA (na co składa się suma prądów pobieranych przez występujące w Nadajniku komponenty) oraz zakładając przypadek, w którym sprawność źródła zasilania wynosi około 80% można obliczyć, iż założony czas pracy został spełniony.



Rysunek 7. Akumulator typu 18650 [8]

3.3.2 Wylłącznik

W celu oszczędzania zasobami energii zamontowano pomiędzy akumulatorem a pierwotnymi zaciskami przetwornicy, bistabilny wylłącznik klawiszowy typu 8600VB (Rysunek 8). Jego zadaniem jest odcięcie zasilania, w przypadku gdy nie jest wymagane działanie modułu nadawczego. Dodatkowo pełni on funkcje resetowania całego układu.

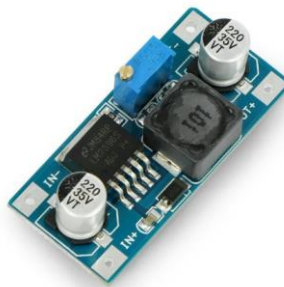


Rysunek 8. Wylłącznik klawiszowy typ 8600VB [9]

3.3.3 Przetwornica

Komponent ten w układzie ma za zadanie obniżyć napięcie wychodzące z wyłącznika (gdy jest on zwarty) z poziomu 8,2 V na 5,0 V. Wartość ta jest wymagana dla poprawnego zasilania zestawu uruchomieniowego poprzez port Mini USB.

W projekcie zastosowano przetwornicę impulsywną, obniżającą napięcie (ang. *step-down*) opartą na układzie scalonym LM2596 (Rysunek 9). Najważniejsze parametry elementu przedstawia Tabela 2.



Rysunek 9. Przetwornica step-down LM2596 [10]

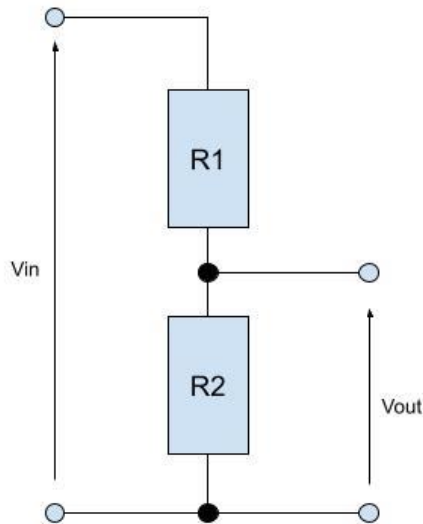
Tabela 2. Parametry użytej przetwornicy [11]

Parametr	Wartość
Napięcie wejściowe	3,2 V – 35,0 V
Napięcie wyjściowe	3,2 V – 35,0 V
Sprawność	Poniżej 90%
Maksymalny prąd wyjściowy	2 A (przy braku zastosowania radiatora)
Częstotliwość przełączania	150 kHz

3.3.4 Dzielnik rezystancyjny

Aby zmierzyć aktualne napięcie na akumulatorach wykorzystano przetwornik analogowo-cyfrowy. Użyty w projekcie zestaw uruchomieniowy STM32 NUCLEO-F411RE ma ograniczenie napięciowe na kanale ADC wynoszące 3,3 V. Przekroczenie tej wartości mogłoby uszkodzić układ, z tego powodu zastosowano dzielnik napięciowy

zbudowany z rezystorów (Rysunek 10). Został zamontowany między zaciskami pierwotnymi przetwornicy LM2596.



Rysunek 10. Schemat dzielnika rezystancyjnego

Dobór wartości rezystorów dostosowano, tak aby na zasilających akumulatorach w przypadku maksymalnego napięcia równego 8,2 V, uzyskać na wyjściu dzielnika rezystancyjnego wartość 3,3 V [12].

W projekcie założono, iż wartość rezystora R1 jest znana, a do wyznaczenia wartości rezystora R2 wykorzystano wzór:

$$R2 = \frac{V_{out} R1}{V_{in} - V_{out}} \quad (2)$$

Gdzie:

V_{in} – napięcie wejściowe

V_{out} – napięcie wyjściowe

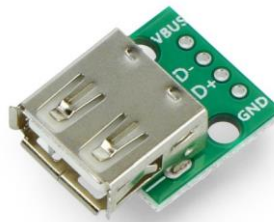
R1 – rezystor górny

R2 – rezystor dolny.

3.3.5 Port USB typu A

Zapewnienie modularności oraz łatwej możliwości rekonfiguracji elementów składowych wchodzących w budowę projektu, idealnie wpasuje się koncepcje zastosowania portu USB typu A jako wyjście bloku zasilania (Rysunek 11). W przypadku uszkodzenia przewodu zasilającego zestaw uruchomieniowy, bez ingerencji lutowniczej jest w stanie zostać wymieniony. Dodatkowo istnieje możliwość bezinwazyjnego demontażu całego bloku zasilania, gdy np. ten się rozładuje, bądź też uszkodzi.

Aspektem, na który warto zwrócić uwagę jest również łatwy montaż, dzięki wykorzystaniu przygotowanych przez producenta otworów w płytce.



Rysunek 11. Moduł z gniazdem USB typ A [13]

3.4 Blok kontrolno-nadawczy - dobór elementów składowych

Blok ten ma za zadanie odczytać oraz przetworzyć informacje otrzymane z zastosowanych komponentów w układzie Nadajnika. W przypadku wybrania odpowiedniej funkcjonalności musi wysłać dane do Odbiornika. Do zadań również należy zmierzenie, zinterpretowanie oraz przedstawienie aktualnego napięcia akumulatorów, w sposób łatwy do interpretacji. Dodatkowo powinien on wyświetlać informacje o wciśnięciu przycisku odpowiedzialnego za sygnalizację zmiany kierunku jazdy oraz świateł awaryjnych.

Schemat ideowy bloku kontrolno-nadawczego przedstawia fragment Rysunku 5.

3.4.1 Przyciski oraz eliminacja drgań

W projekcie zastosowano dwa rodzaje przycisków, różnią się one od siebie parametrami wielkościowymi. Wynika to z innych założeń funkcjonalnych, ponieważ trzy z nich odpowiedzialne są za wybór sygnalizacji zmiany kierunku jazdy oraz uruchomienie/wyłączenie świateł awaryjnych, natomiast czwarty wywołuje pomiar napięcia na akumulatorach. Wszystkie z nich współpracują z rezystorem podciągającym (ang. *pull-up*).

W celu wyeliminowania drgań styków zastosowano filtr RC (ang. *Resistor-Capacitor*), zbudowany jest on z połączenia szeregowego kondensatora oraz rezystora. Zastosowanie tych komponentów ogranicza zjawisko niekontrolowanego, wielokrotnego efektu wciśnięcia przycisku (ang. *debouncing*).

Przycisk widoczny na Rysunku 12 to Tact Switch o wymiarach podstawy 12 mm x 12 mm oraz wysokości 8 mm. Wykonany jest on w technologii THT (ang. *Through-Hole Technology*). Dodatkowo na przyciskach istnieje możliwość zamontowania dedykowanej nakładki, dzięki której zwiększa on wymiary przez co łatwiej jest go wcisnąć.



Rysunek 12. Przycisk typu Tact Switch [14]

Mniejszy przycisk to Micro Switch o wymiarach podstawy 6 mm x 6 mm oraz wysokości 10 mm. Jego wybór wynika z parametrów wielkościowych, dzięki którym można uniknąć przypadkowemu wciśnięciu, zachowując jednocześnie wygodę wcisku. Przycisk ten znajduje się na Rysunku 13.



Rysunek 13. Przycisk typu Micro Switch [15]

3.4.2 Dźwignia hamulca oraz komparator z histerezą

Wykorzystana w projekcie dźwignia hamulca pochodzi od hulajnogi elektrycznej Xiaomi M365 Pro 2, jej wygląd przedstawiony jest w podpunkcie „b)” na Rysunku 2.

Zasada działania elementu oparta jest o czujnik Halla, który wraz z większym wciśnięciem dźwigni zwiększa zwracaną wartość napięcia. Dźwignia posiada trzy wyprowadzenia: VCC (napięcie zasilające), VOUT (napięcie zwracane) oraz GND (masa).

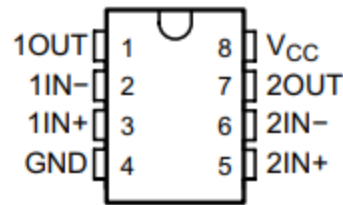
Najważniejsze parametry komponentu przedstawia Tabela 3.

Tabela 3. Specyfikacja dźwigni hamulca użytej w projekcie

Parametr	Wartość
Napięcie zasilające	3,3 V
Napięcie zwracane przy braku wciśnięcia dźwigni	0,88 V
Napięcie zwracane przy maksymalnym wciśnięciu dźwigni	2,6 V

W momencie, gdy dźwignia hamulca byłaby jednocześnie interpretowana jako wciśnięta oraz nie wciśnięta, mogłoby dojść do stanu tzw. metastabilności. Aby wyeliminować niepożądany efektu zastosowano komparator LM393 [16] w konfiguracji z histerezą.

LM393 to układ ośmiokońcówkowy w obudowie DIP (ang. *Dual In-line Package*). Element posiada wewnątrz dwie sztuki komparatorów. Mają one dwa wejścia: odwracające (IN-), nieodwracające (IN+) oraz po jednym wyjściu (VOUT). Układ posiada wyprowadzenia masy (GND) oraz napięcia zasilającego (VCC), które jest z zakresu 2-36 V. Pełen schemat rozmieszczenia zakończeń przedstawia Rysunek 14.



Rysunek 14. Wyprowadzenia układu LM393 [16]

3.4.3 Diody LED

Wykorzystane w projekcie elementy świetlne to diody LED o średnicy 5 mm. Barwy zostały dobrane, tak aby łatwiej było interpretować odpowiednią funkcjonalność. Do sygnalizacji zmiany kierunku jazdy wykorzystano trzy elementy świetlne o barwie żółtej, natomiast do prezentacji aktualnego potencjału akumulatorów trzy różne: czerwona, żółta oraz zielona.

Aby nie przekroczyć maksymalnego dozwolonego natężenia prądu wynoszącego około 20 mA na pojedynczym wyprowadzeniu zestawu uruchomieniowego oraz wiedząc, że podczas stanu wysokiego pin ma wartość napięcia wynoszącą 3,3 V, dobrano rezystor ograniczający prąd diod LED.

Do obliczeń wykorzystano obwód z Rysunku 15, parametry diod LED z Tabeli 4 oraz wzór:

$$R = \frac{U_{ref} - U_{led}}{I} \quad (3)$$

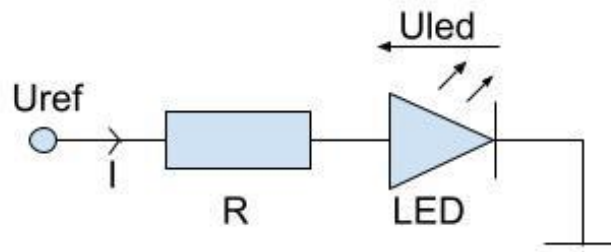
Gdzie:

R – wartość rezystora

U_{ref} – napięcie na wyprowadzeniu mikrokontrolera w stanie wysokim

U_{led} – spadek napięcia na diodzie w kierunku przewodzenia

I – prąd płynący w gałęzi.



Rysunek 15. Obwód diody LED

Tabela 4. Spadki napięć na diodach LED użytych w projekcie

Barwa diody	Spadek napięcia
Czerwona	1,90 V
Żółta	1,99 V
Zielona	1,97 V

W celu uproszczenia obliczeń można założyć jednakowy spadek napięcia na każdej z diod wynoszący 2 V. Takie przybliżenie nie spowoduje żadnych komplikacji, zmieni się jedynie wartość natężenia prądu, będzie ona mniejsza od maksymalnej, która jest dozwolona (20 mA).

3.5 Projekt schematu elektrycznego oraz obwodu drukowanego

Schemat modułu nadawczego został wykonany za pomocą programu KiCad w wersji 6.0 [17]. Jest to oprogramowanie typu otwarte źródło (ang. *open source*), które pozwala m.in. na projektowanie schematów elektrycznych oraz obwodów drukowanych. KiCad zarządza całym projektem, wykorzystującym inne aplikacje z pakietu, w skład którego wchodzi:

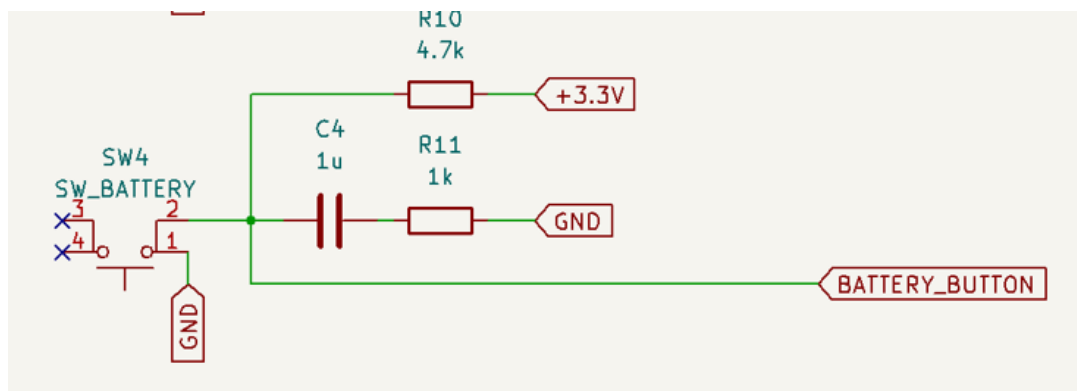
- eeschema – edytor schematów,
- pcbnew – edytor płytek drukowanych,
- gerbview – przeglądarka plików Gerber,
- cvpcb – aplikacja do przypisywania obudów,
- bitmap2component – aplikacja do tworzenia elementów graficznych na płytkach PCB.

3.5.1 Schemat elektryczny

Zaprojektowany schemat elektryczny dotyczy płytki PCB dla modułu nadawczego.

W lewej części schematu umieszczone zostały komponenty odpowiedzialne za wybór sygnalizacji zmiany kierunku jazdy, światła awaryjne oraz pomiar napięcia. Budowę jednego układu przedstawia Rysunek 16, w skład którego wchodzi:

- przycisk,
- rezystor podciągający o wartości $4,7\text{ k}\Omega$ połączony do napięcia zasilania,
- filtr RC, zbudowany z kondensatora $1\text{ }\mu\text{F}$ oraz rezystora $1\text{ k}\Omega$ połączony do masy.

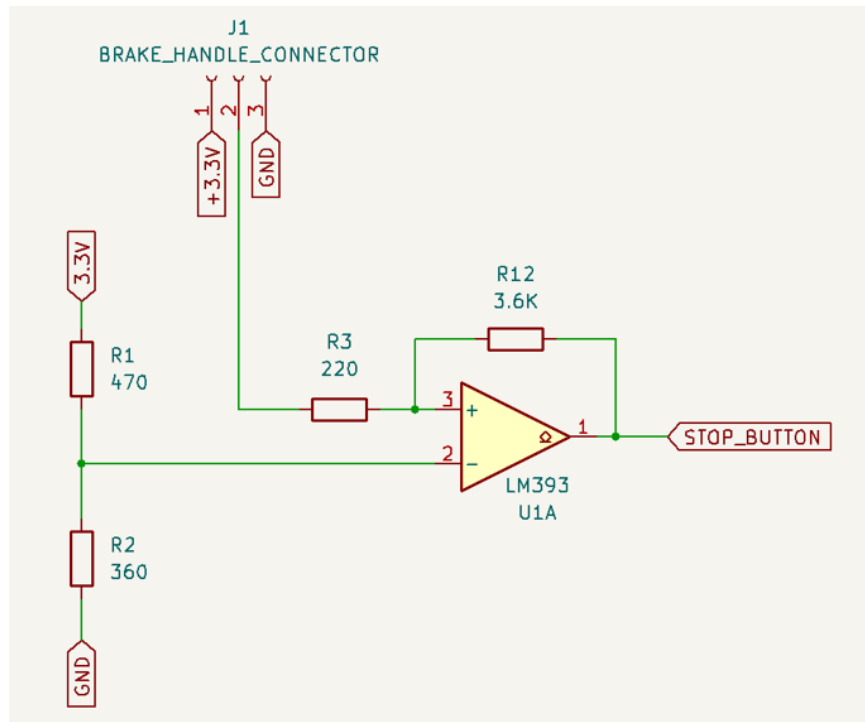


Rysunek 16. Fragment schematu ukazujący połączenie przycisku

Dolny lewy róg schematu elektrycznego, przedstawia komparator LM393 wraz z dzielnikiem rezystancyjnym (Rysunek 17).

W tym przypadku drabinka rezystorów jest zastosowana w celu uzyskania napięcia wynoszącego około $1,4\text{ V}$. Wartość ta służy do wyznaczenia momentu interpretowania dźwignia hamulca ręcznego jako wciśnięta. Napięcie jest podprowadzone do wejścia odwracającego komparatora, natomiast do nieodwracającego podpięte jest środkowe wyprowadzenie pinu oznaczonego jako J1, na którym znajduje się sygnał zwrotny otrzymany z rączki hamulca.

Wartości rezystorów w sprzężeniu zwrotnym dobrano, tak aby przełączenie w górę występowało przy przekroczeniu napięcia równego $1,5\text{ V}$, a w dół $1,3\text{ V}$ (zjawisko histerezy) [18].

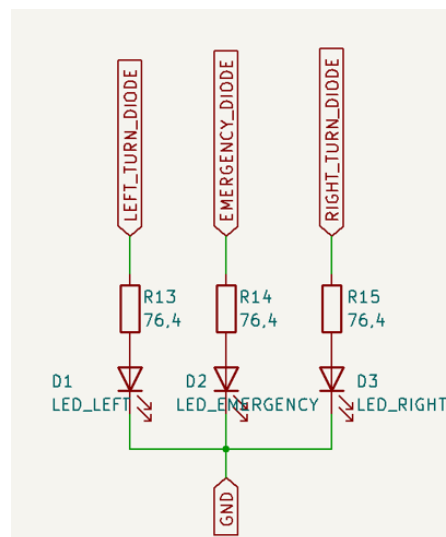


Rysunek 17. Fragment schematu ukazujący połączenie komparatora LM393

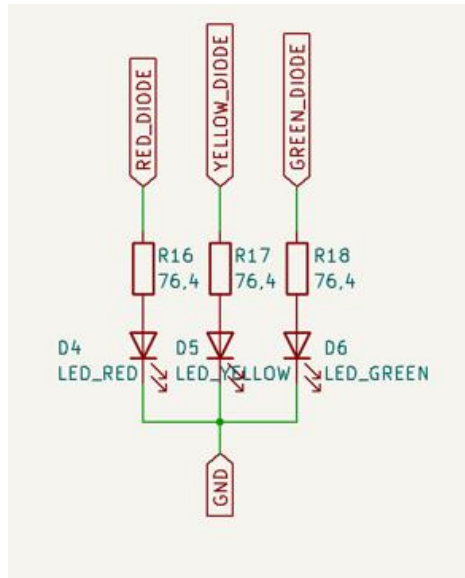
W centralnej części schematu elektrycznego umieszczone zostały diody odpowiedzialne za sygnalizację, który przycisk aktualnie jest włączony (Rysunek 18).

Diody odpowiedzialne za interpretację świetlną pomiaru napięcia akumulatorów umieszczono z prawej strony układu (Rysunek 19).

Wartości rezystorów ograniczających prądy diod wynoszą w obu przypadkach 76.4Ω .

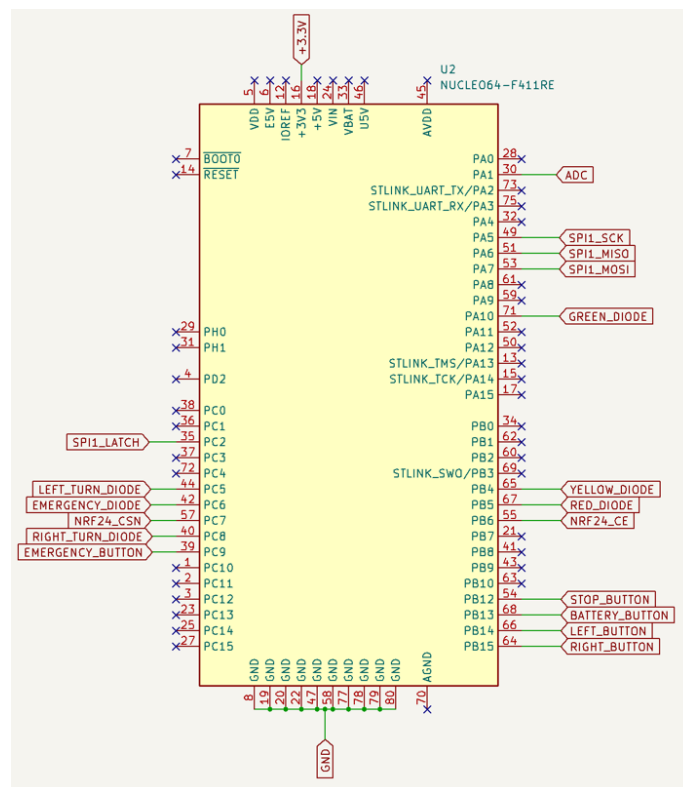


Rysunek 18. Fragment schematu ukazujący połączenie diod sygnalizujących włączenie przycisku

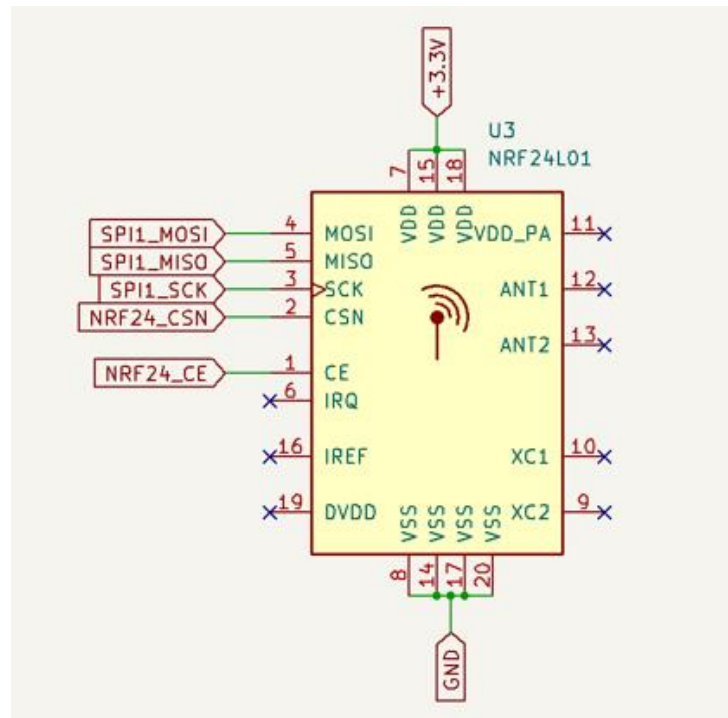


Rysunek 19. Fragment schematu ukazujący połączenie diod odpowiedzialnych za interpretację świetlną pomiaru

Zestaw uruchomieniowy NUCLEO64-411RE wraz z oznaczeniem użytych wyprowadzeń, został umieszczony w centralnej części schematu (Rysunek 20). Element nadawczy znajduje się po prawej stronie schematu elektrycznego (Rysunek 21).



Rysunek 20. Fragment schematu ukazujący połączenie STM32 NUCLEO-F411RE



Rysunek 21. Fragment schematu ukazujący połączenie nRF24L01+

Załącznik A przedstawia pełen schemat elektryczny bloku kontrolno-nadawczego.

3.5.2 Obwód drukowany

Po zaprojektowaniu schematu połączeń obwodu elektrycznego należy przypisać komponentom konkretne modele obudów. Następnym krokiem jest stworzenie ścieżek na płycie PCB.

Podczas tego etapu należy zwrócić uwagę na długość oraz szerokość połączeń. Parametry te wpływają na rezystancję, która powinna być jak najmniejsza. Rysowane ścieżki nie mogą się krzyżować w celu uniknięcia zwarcia. Aby nie dopuścić do takiej sytuacji można wykorzystać inną warstwę metalu, korzystając z przelotek (ang. *via*), kosztem zwiększenia rezystancji [19].

W projekcie zastosowano elementy wykonane w technologii montażu przewalnego, a płytka drukowana jest dwustronna. Powodami takiej konfiguracji są:

- elementy wykonane w technologii THT można łatwo testować na płycie prototypowej, dzięki czemu przed wytworzeniem PCB istnieje możliwość zweryfikowania poprawności działania układu,

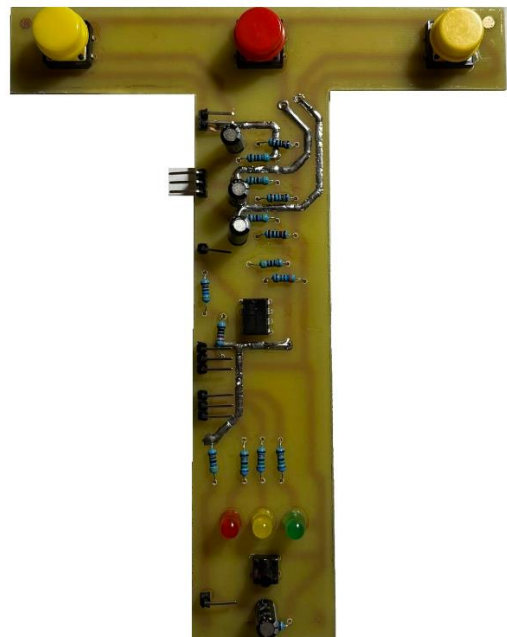
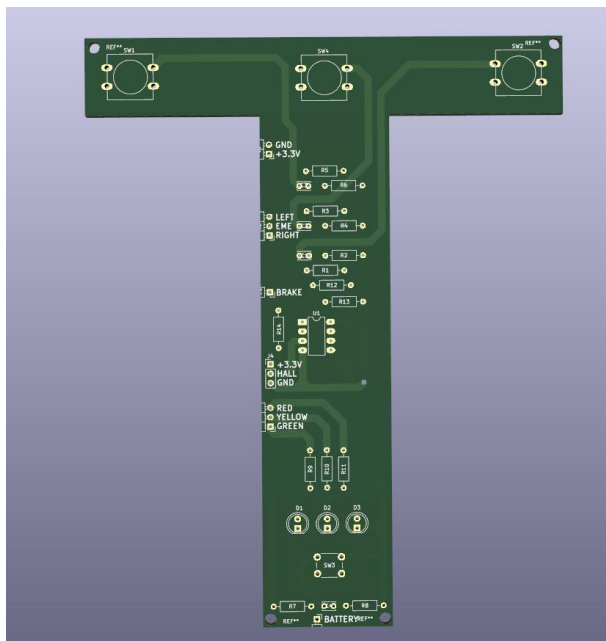
- proces montażowy jest łatwiejszy niż w przypadku technologii SMT (ang. *Surface Mount Technology*), dodatkowo nie wymaga on specjalistycznego sprzętu np. lutownicy na gorące powietrze (ang. *hot-air*),
- wykorzystanie dwóch poziomów metali tworzy szansę na stworzenie większej ilości połączeń.

Rysunek 22, podpunkt „a)” przedstawia zrzut ekranu z programu KiCad, na którym widnieje wizualizacja zaprojektowanej płytki PCB dla modułu nadawczego.

Układ rozmieszczeń ścieżek na płytce drukowanej warstwy sygnałowej zarówno górnej jak i dolnej znajduje się w Załączniku B.

3.5.3 Wykonanie płytki PCB

Po zaprojektowaniu obwodu drukowanego wykonano płytkę PCB metodą termotransferu. Jej wygląd wraz z zamontowanymi elementami przedstawia Rysunek 22, podpunkt „b)”.



a) Wizualizacja zaprojektowanej płytki PCB Nadajnika

b) Wykonana płytki PCB Nadajnika wraz z zamontowanymi elementami

Rysunek 22. Płytki PCB Nadajnika

Rozdział 4 Projekt Odbiornika

Rozdział ten opisuje dokonane kroki podczas procesu projektowania Odbiornika, podobnie jak to zostało zrelacjonowane w rozdziale 4 pt. „*Projekt Odbiornika*”. Na początku poruszone zostaną wymagania oraz funkcjonalność modułu odbiorczego. Kolejno opisany zostanie dobór komponentów występujących w projekcie wraz ze schematem elektrycznym. Ostatnia sekcja dotyczyć będzie procesu projektowania oraz wytworzenia płytki PCB dla Odbiornika.

4.1 Wymagania projektowe

Moduł odbiorczy musi spełniać wymagania, aby zapewnić swoją pełną funkcjonalność oraz bezpieczeństwo kierującego. Kryteria i zadania, które są brane pod uwagę to:

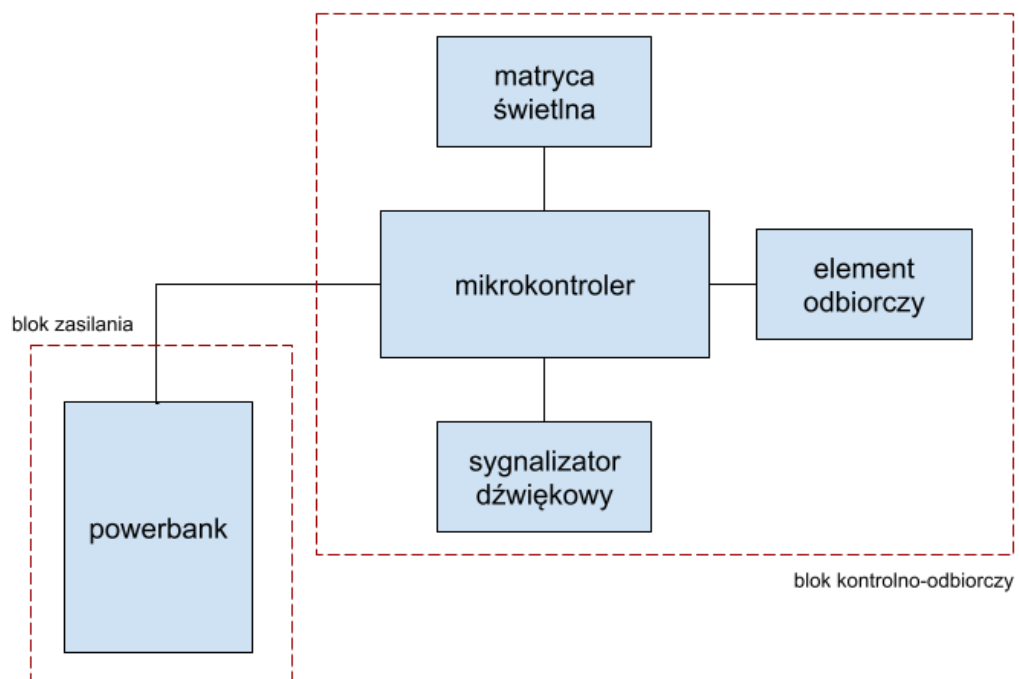
- odebranie i przetworzenie sygnału wysłanego przez Nadajnik,
- wykorzystanie elementów świetlnych do sygnalizacji zmiany kierunku jazdy, świateł pozycyjnych i światła stop,
- wydanie dźwięku potwierdzającego wykonywanie działań na matrycy świetlnej oraz podczas początkowej inicjalizacji Odbiornika,
- kształt modułu powinien być dostosowany do wymiarów umożliwiających montaż go na plecach kierowcy oraz dodatkowo posiadać specjalną kieszeń, w której można umiejscowić źródło zasilania.

4.2 Schemat ideowy i zasada działania

Schemat ideowy Odbiornika ukazuje w sposób graficzny architekturę modułu odbiorczego. Podobnie jak w przypadku Nadajnika budowa projektu została podzielona na dwa bloki: zasilający oraz kontrolno-odbiorczy (Rysunek 23).

Blok zasilania składa się wyłącznie z dowolnego źródła energii typu powerbank na wyjściu, którego koniecznie znajduje napięcie równe 5 V. Jego zadaniem jest zasilenie zestawu uruchomieniowego za pomocą portu Mini USB.

Blok kontrolno-odbiorczy służy do odebrania sygnału nadanego, przetworzenia otrzymanej informacji oraz uruchomienie wymaganej sygnalizacji na matrycy świetlnej wraz z wydaniem potwierdzenia dźwiękowego. Sygnał wydawany podczas inicjalizacji STM32 NUCLEO-F411RE powinien trwać dłużej niż podczas potwierdzania rozpoczęcia/zakończenia sygnalizacji świateł, w celu odróżnienia dwóch typów sytuacji. Działanie modułu odbiorczego odbywa się dzięki wykorzystaniu komponentów oraz implementacji kodu aplikacji zastosowanego w mikrokontrolerze.



Rysunek 23. Schemat ideowy Odbiornika

4.3 Blok kontrolno-odbiorczy – dobór elementów składowych

Moc świetlna matrycy musi tak dobrana, aby nie oślepiać innych uczestników ruchu drogowego, jednocześnie zachowując widoczność w utrudnionych warunkach atmosferycznych. Ilość wykorzystanych elementów powinna być dobrana, tak aby montaż przewlekany był stosunkowo łatwy oraz szybki w realizacji.

4.3.1 Diody LED

Elementami świetlnymi wykorzystanymi w matrycy są diody LED o średnicy 5 mm. Zostały one już opisane w Nadajniku, w podrozdziale 3.4.3, pt. „Diody LED”.

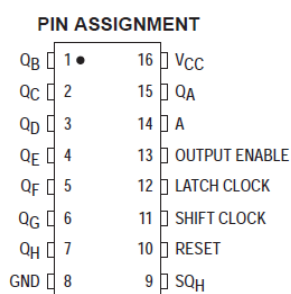
W tym przypadku moduł odbiorczy wykorzystuje tylko diody o barwie czerwonej oraz żółtej. Pierwszy odcień wykorzystywany jest do sygnalizacji świateł pozycyjnych oraz światła stop. Żółty kolor odpowiedzialny jest za sygnalizację zmiany kierunku jazdy oraz światła awaryjne.

4.3.2 Rejestr przesuwny

Zastosowanie rejestru przesuwnego w projekcie ma na celu zaoszczędzenie ilości wyprowadzeń z zestawu uruchomieniowego koniecznych do sterowania matrycą świetlną. Użycie tego komponentu pozwala również w łatwy sposób edytować możliwą do uzyskania wyświetlaną kombinację świetlną.

Wybrany w projekcie rejestr przesuwny to model 74HC595 [20], w obudowie typu DIP16. Zastosowanie 74HC595 pozwala sterować jednocześnie do ośmioma wyjściami rejestru przesuwnego oznaczonymi od QA do QH. Pełny schemat wyprowadzeń przedstawia Rysunek 24. Dodatkowo rejestr przesuwny umożliwia szeregowe połączenie kolejnych układów poprzez pin 9 (SQh), dzięki czemu można uzyskać kolejne osiem wyjść, itd. Funkcjonalność komponentu z płytką ewaluacyjną zawdzięcza się współpracy rejestru przesuwnego z interfejsem komunikacyjnym SPI.

Układ 74HC595 zasilany jest napięciem 3,3 V z wykorzystaniem wyprowadzenia 16 (VCC) oraz 8 (GND). Piny oznaczone od 10 do 13 służą do sterowania działaniem podczas komunikacji z układem, natomiast nóżka 14 (A) to wejście danych.



Rysunek 24. Wyprowadzenia układu 74HC595 [20]

4.3.3 Tranzystor bipolarny oraz kluczkowanie

W celu uzyskania odpowiedniej widoczności, postanowiono skorzystać z dwóch diod LED połączonych szeregowo w pojedynczej gałęzi świetlnej. Spowodowało to konieczność doprowadzenia napięcia 5 V do matrycy świetlnej w celu zniwelowania spadku napięć na diodach. Zastosowano rezystor ograniczający prąd diody LED uniemożliwiający jej uszkodzenie przy zbyt dużej wartości prądu.

Takie podejście spowodowało również konieczność zastosowania kluczkowania tranzystorami każdej pojedynczej gałęzi świetlnej [21]. W projekcie wykorzystano tranzystor bipolarny model BC337 [22], którego baza jest sterowana sygnałem z wyjścia rejestru przesuwającego. W gałęziach zastosowano rezystory ograniczające maksymalne, dozwolone natężenie prądu wychodzące z 74HC595 równe 35 mA.

W matrycy świetlnej wykorzystano 26 kluczy do sterowania 52 diodami LED.

4.3.4 Sygnalizator dźwiękowy

Do realizacji wydawania sygnału dźwiękowego zastosowano brzęczek elektryczny (ang. *buzzer*) [23]. Może on być zasilany napięciem wynoszącym do 6 V. Element ten jest w kształcie okrągłym, a jego średnica wynosi 12 mm.

4.4 Projekt schematu elektrycznego oraz obwodu drukowanego

Schemat elektryczny oraz obwód drukowany modułu odbiorczego został stworzony, dzięki wykorzystaniu oprogramowaniu KiCad 6.0, które zostało opisane w podrozdziale 3.5, pt. „Projekt schematu elektrycznego oraz obwodu drukowanego”.

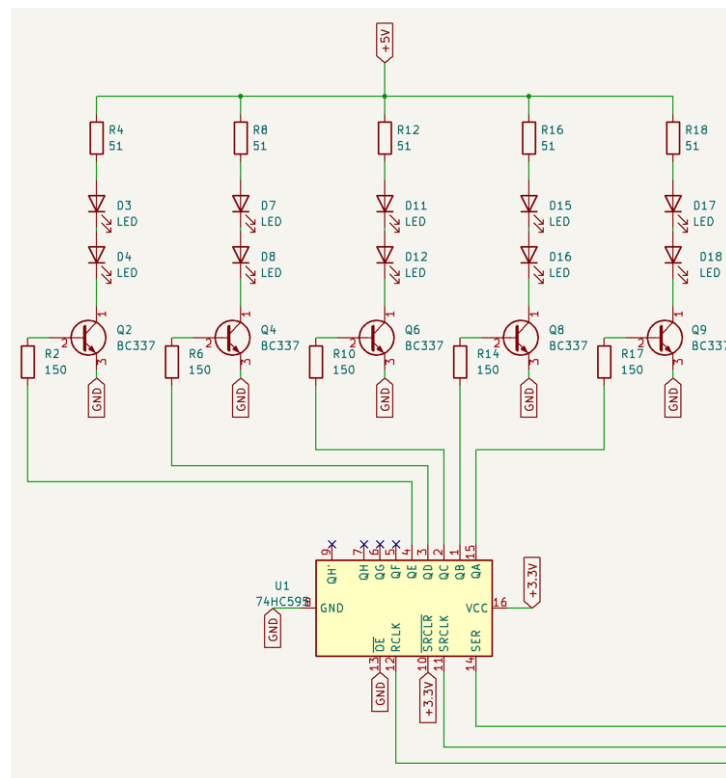
Podczas projektowania obwodu drukowanego zwrócono szczególną uwagę na odpowiednie rozmieszczenie diod świetlnych, tak aby nie znajdowały się one w dolnej części modułu odbiorczego, co mogłoby negatywnie wpłynąć na widoczność kamizelki podczas jazdy.

4.4.1 Schemat elektryczny

W lewej i prawej części schematu elektrycznego można wyróżnić gałęzie świetlne opisane w podrozdziale 4.3.3, pt. „*Tranzystor bipolarny oraz kluczowanie*” (Rysunek 27). Bazy tranzystorów podłączone są do wyjść 74HC595, aby zapewnić sterowanie załączeniem diod o barwie żółtej.

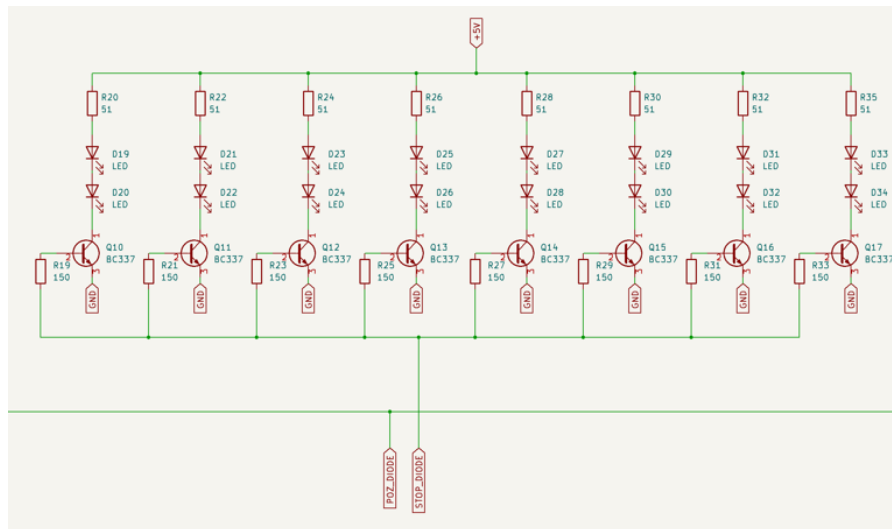
Do wyprowadzenia 13 (NOE) rejestru przesunowego została doprowadzona masa, natomiast do pinu 10 (NSRCLR) napięcie wynoszące potencjał zasilania 3,3 V. Wejście 14 (SER) podłączono do wyjścia 9(NQh) pierwszego rejestru przesunowego [20].

Wykorzystane rezystory ograniczające prąd wyjściowy z 74HC595 mają wartość 150 Ω , natomiast prąd diod 51 Ω .



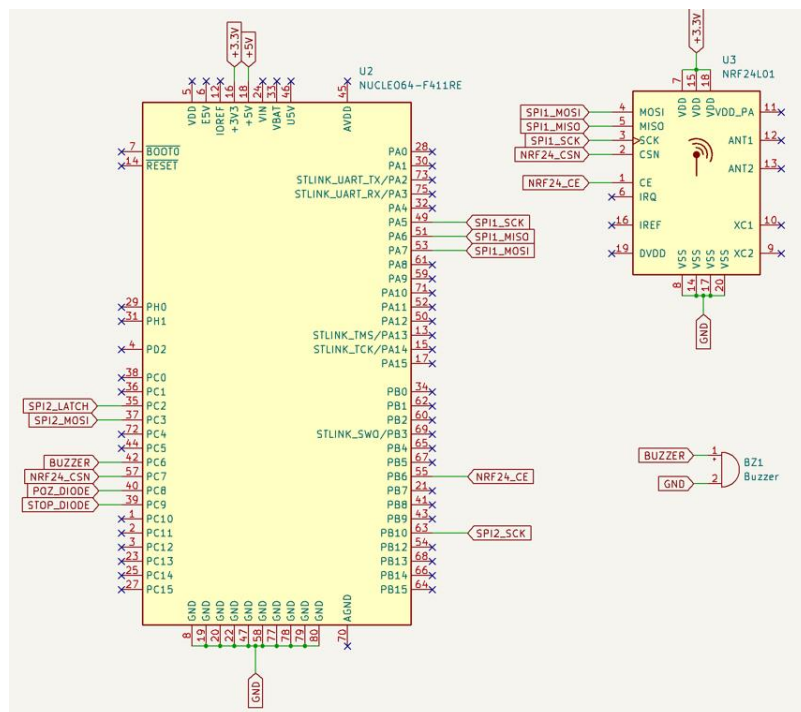
Rysunek 25. Fragment schematu ukazujący połączenie gałęzi świetlnych z rejestrem przesunowym

W dolnej części schematu można wyodrębnić połączenie: 4, 8 oraz 4 gałęzi świetlnych. Skrajne odpowiedzialne są za światła pozycyjne, natomiast środkowe za światło stop (topologię połączeń dla światła stop przedstawia Rysunek 26). Wykorzystane diody LED są barwy czerwonej.



Rysunek 26. Fragment schematu ukazujący połączenie realizujące światło stop

W środkowej części można wyodrębnić schemat połączeń wykorzystanego zestawu uruchomieniowego, modułu komunikacyjnego oraz brzęczka elektrycznego (Rysunek 27).



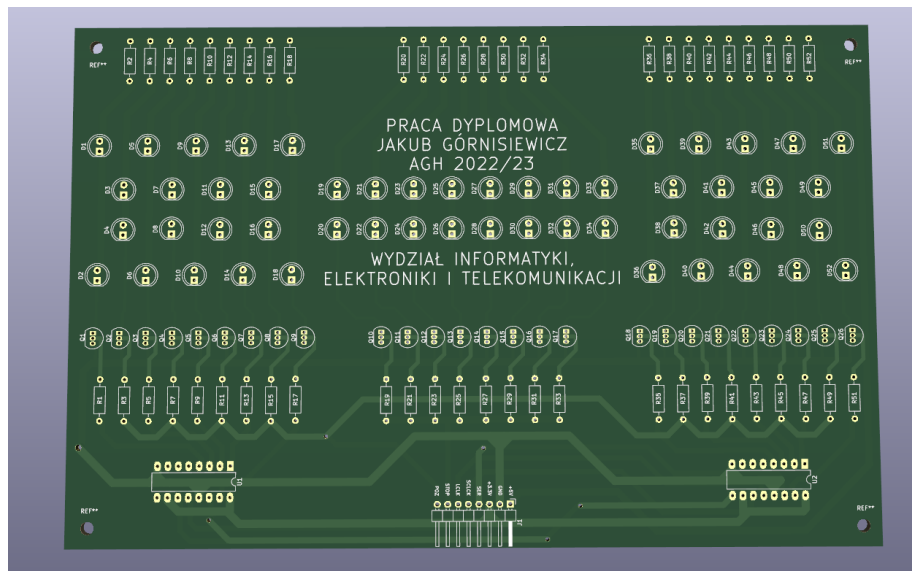
Rysunek 27. Fragment schematu ukazujący schemat połączeń STM32 NUCLEO-F411RE, brzęczka elektrycznego oraz nRF24L01+

Załącznik C przedstawia pełen schemat elektryczny bloku kontrolno-odbiorczego.

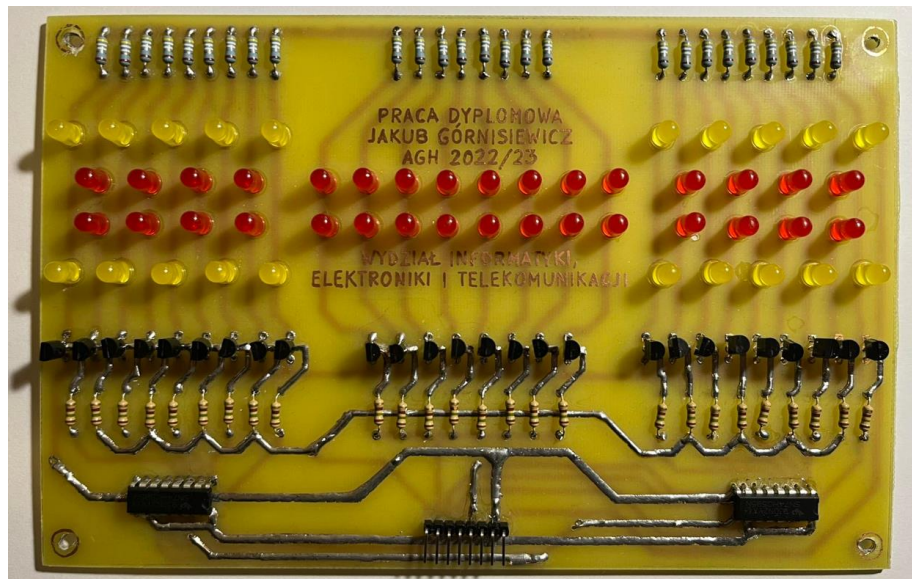
4.4.2 Obwód drukowany i wykonanie płytki PCB

Proces projektowania i wytworzenia płytki PCB jest identyczny jak w przypadku modułu nadawczego. Również w tym przypadku do wytworzenia obwodu drukowanego wykorzystano metodę termotransferu oraz montaż przewlekany. Wizualizację zaprojektowanego PCB oraz jego wygląd realny wraz z zamontowanymi elementami przedstawiają rysunki Rysunek 28 i Rysunek 29.

Załącznik D przedstawia schemat połączeń obwodu drukowanego Odbiornika.



Rysunek 28. Wizualizacja zaprojektowanej płytki PCB Odbiornika



Rysunek 29. Wykonana płytka PCB Odbiornika wraz z zamontowanymi elementami

Rozdział 5 Kod aplikacji

W celu zaprogramowania mikrokontrolera napisano kod aplikacji w języku C z wykorzystaniem narzędzia konfiguracyjnego CubeMX [24]. W tym celu skorzystano z bibliotek HAL (ang. *Hardware Abstraction Layer*) oraz bibliotek do obsługi modułu nRF24L01+ autorstwa Mateusza Salomona opartych o licencje MIT (ang. *Massachusetts Institute of Technology*) [25]. Narzędzie CubeMX pozwala w graficzny sposób ustawić parametry komponentów użytych w płytce ewaluacyjnej, aby zapewnić założoną funkcjonalność zestawu. Po wprowadzeniu ustawień programista może wywołać wygenerowanie kodu konfiguracyjnego.

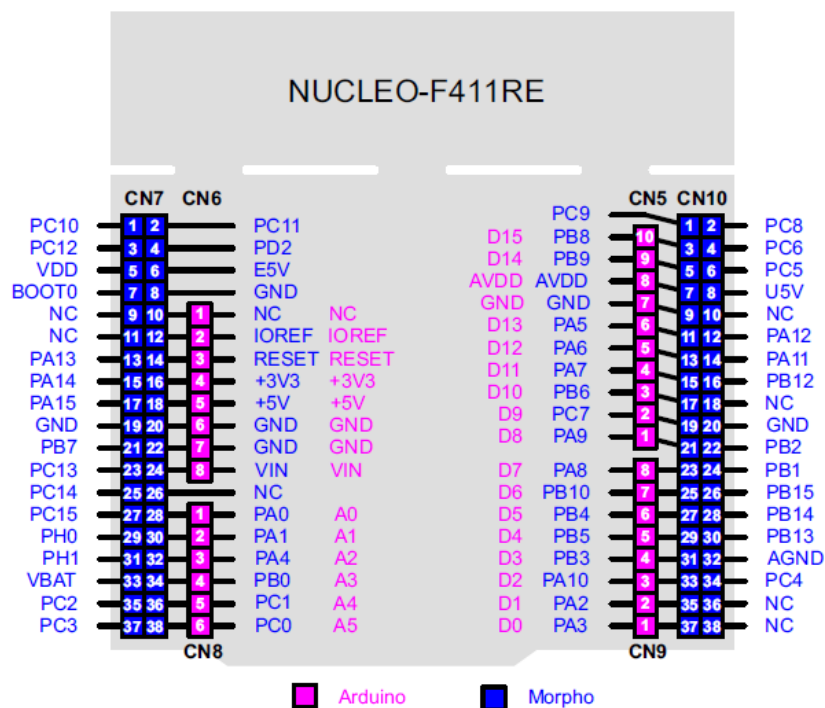
W momencie tym również odbywa się przypisanie użytych przez programistę etykiet oraz interfejsów komunikacyjnych do konkretnych wyprowadzeń zestawu uruchomieniowego. Układ portów oraz pinów występujących w STM32 NUCLEO-F411RE przedstawia Rysunek 30.

Stworzony kod przez CubeMX jest zbudowany z dwóch typów segmentów.

Jednym z nich to obszar wykreowany przez środowisko, nadpisywany z każdym kolejnym razem, gdy kod jest generowany ponownie. Użytkownik nie jest w stanie wprowadzić jakichkolwiek zmian. Jego głównym zadaniem jest wywołanie początkowej inicjalizacji zestawu uruchomieniowego.

Drugi segment jest przeznaczony dla programisty. W tym obszarze umieszcza się kod aplikacji, który użytkownik stworzył na potrzeby wykonywania założonego algorytmu.

Kod aplikacji projektu kamizelki sygnalizacyjnej składa się z dwóch części, odpowiednio dla Nadajnika oraz Odbiornika. Kody obu modułów zostały podzielone na pliki nagłówkowe (rozszerzenie .h) oraz pliki źródłowe (rozszerzenie .c). Elementem wspólnym programów jest kod wykorzystywany dla modułu nRF24L01+.



Rysunek 30. Schemat wyprowadzeń STM32 NUCLEO-F411RE [7]

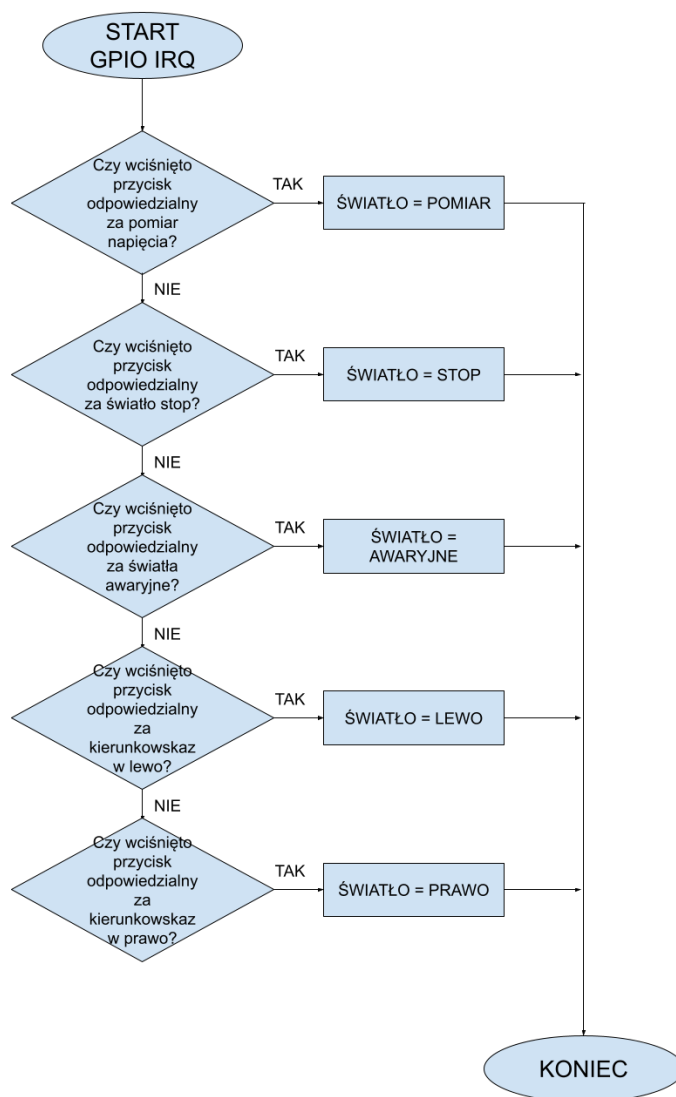
5.1 Część nadawcza

Zadaniem kodu aplikacji stworzonej na potrzeby modułu nadawczego jest przetworzenie oraz ewentualne wysłanie informacji otrzymanych z przycisków i dźwigni hamulca ręcznego (jest ona traktowana jako przycisk, dzięki wykorzystaniu komparatora z histerezą).

W Nadajniku zaimplementowano dwa schematy blokowe. Pierwszy z nich odpowiedzialny jest za odczytanie, który z przycisków został wciśnięty. Schemat będzie wywołany i obsługiwany w momencie, gdy na którymś z portów GPIO (ang. *General-Purpose Input/Output*) zostanie zgłoszone przerwanie (Rysunek 31). Pseudozmienna o nazwie *ŚWIATŁO* jest typu globalnego i odpowiada za wybór funkcjonalności Nadajnika w nieskończonej pętli. Jej wartość zmienia się w zależności, który przycisk został wciśnięty.

Drugi schemat blokowy działa w nieskończonej pętli z wykorzystaniem instrukcji obsługi (ang. *switch case*) (Rysunek 32). W przypadku wybrania odpowiedniej logiki, moduł nadawczy wysyła informację o rozpoczęciu lub zakończeniu działania sygnalizacji. Wartości, które są wysyłane przedstawia Tabela 5. Detekcja czy światło

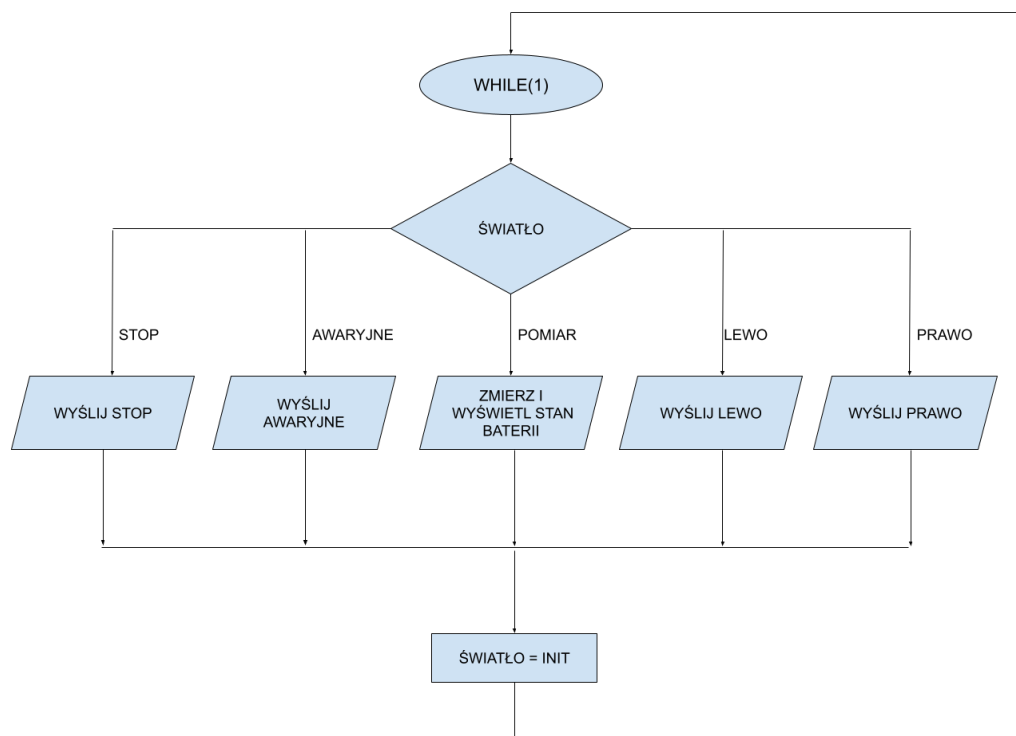
ma rozpocząć bądź też zakończyć sygnalizację została zaimplementowana w kodzie aplikacji. Wygenerowane przez program przypisanie pinów oraz portów przedstawia Rysunek 33.



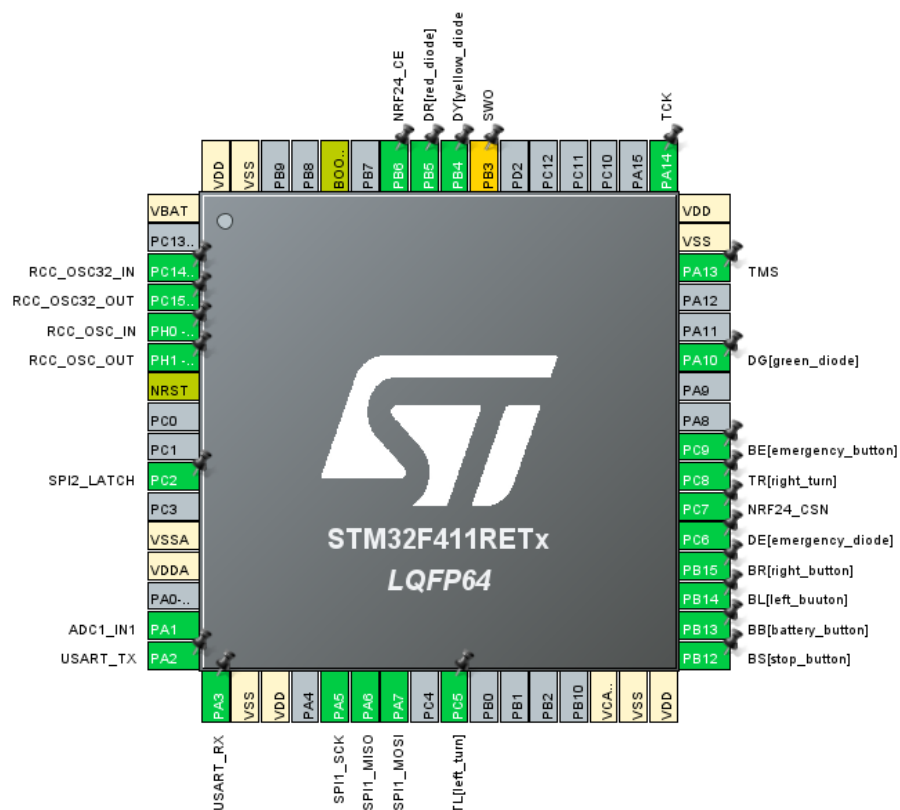
Rysunek 31. Uproszczony schemat blokowy obsługujący przerwanie GPIO

Tabela 5. Tabela z wysyłanymi wartościami przez Nadajnik

	ŚWIATŁO			
	STOP	AWARYJNE	SKRĘT W LEWO	SKRĘT W PRAWO
ROZPOCZĘCIE	2	4	6	8
ZAKOŃCZONE	3	5	7	9



Rysunek 32. Uproszczony schemat blokowy obsługujący nieskończoną pętlę



Rysunek 33. Przypisane porty oraz piny STM32 NUCLEO-F411RE dla Nadajnika

Fragment kodu zaimplantowanego na podstawie schematu blokowego przedstawionego na Rysunku 31 ukazuje wykorzystanie biblioteki HAL w celu programowego wyeliminowaniu zjawiska dwukliku. Nie jest możliwe ponowne wciśnięcie przycisku w czasie krótszym niż zdefiniowany jako *BUTTON_DEBOUNCE_TIME* wynoszącym 250 ms. Dodatkowo we fragmencie kodu można zauważyć wykorzystanie zmiennej *light* oraz negowanie wartości odpowiedzialnej za wykrywanie czy dane światło ma rozpocząć działanie lub też zakończyć.

```
#define BUTTON_DEBOUNCE_TIME 250
//GPIO IRQ//
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
    current_time = HAL_GetTick(); //time
    //button battery
    if((GPIO_Pin == BB_Pin) && (current_time -
previous_time)>BUTTON_DEBOUNCE_TIME)
    {
        light = LIGHT_BATTERY;
    }
    //button stop
    if((GPIO_Pin == BS_Pin) && (current_time -
previous_time)>STOP_DEBOUNCE_TIME)
    {
        light = LIGHT_STOP;
    }
    //button emergency
    if((GPIO_Pin == BE_Pin) && (current_time -
previous_time)>BUTTON_DEBOUNCE_TIME)
    {
        emergency_button_value = !emergency_button_value; //toggle of
value
        light = LIGHT_EMERGENCY;
    }
    previous_time = current_time; //previous
time assignment
}
```

Wartym odnotowania uwagi jest również fragment służący eliminacji możliwości wciśnięcia innego przycisku, podczas gdy na matrycy świetlnej jest już coś wyświetlane (na przykładzie przycisku odpowiedzialnego za sygnalizację skrętu w prawo). Kod sprawdza czy wartości pozostałych zmiennych wykrywających wciśnięcie mają wartość *false*.

Jeśli kryteria są spełnione, weryfikuje on kolejny warunek. W przypadku, gdy wartość zmiennej wykrywającej wciśnięcie przycisku prawego wynosi *true*, wysłana wówczas

zostanie informacja o rozpoczęciu sygnalizacji w prawo (wartość „8” z Tabeli 5), w przeciwnym przypadku (*false*) komunikat o zakończeniu wyświetlania (wartość „9” z Tabeli 5).










```
void right_light_logic(void)
{
    if((left_button_value == false) && (emergency_button_value == false))
    {
        if(right_button_value == true)
        {
            right_light_start_send();
        }
        else if(right_button_value == false)
        {
            right_light_end_send();
        }
    }
    else
    {
        right_button_value = false;
    }
}
```

Do realizacji programowej odczytu oraz wyświetlania otrzymanych wyników wykorzystano kanał pierwszy przetwornika ADC znajdującego się na STM32 NUCLEO-F411RE.

W celu zmierzenia wartości stworzono funkcję *get_adc_battery_value*. Odczytuje ona poziom napięcia w postaci ilości kwantów. Maksymalna do uzyskania wartość odczytu to 4095 i wynika z zastosowania przetwornika 12 bitowego. W tym przypadku jeden kwant odpowiada napięciu około 0,00081 V. Wartość zmierzona jest przypisywana do zmiennej typu *uint32_t* o nazwie *value_adc*. Koniec funkcjonalności *get_adc_battery_value* zwraca odczytaną wartość.

Do interpretacji świetlnej zaimplementowano funkcję *battery_level_show*, która jako parametr przyjmuje zmienną typu *uint32_t* przechowującą wartość odczytaną z ADC. W celu realizacji programowej wykorzystano instrukcje warunkowe. Maksymalny do uzyskania zakres odczytu został podzielony na trzy równe części, tak aby uzyskać taką samą ilość stanów sygnalizacyjnych. Przedziały wartości kwantów oraz odpowiednie interpretacje graficzne przedstawia Tabela 6. Czas trwania sygnalizacji wynosi 500 ms i został zdefiniowany jako *DIODES_ADC_TIME*.

Tabela 6. Przedziały ilości kwantów oraz interpretacja świetlna

Przedziały ilości kwantów	Interpretacja świetlna
0 - 1365	  
1366-2730	  
2731 - 4095	  

```

uint32_t get_adc_battery_value(void)
{
    HAL_ADC_Start(&hadc1);
    HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY);
    uint32_t value_adc = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
    return value_adc;
}

#define DIODES_ADC_TIME 500

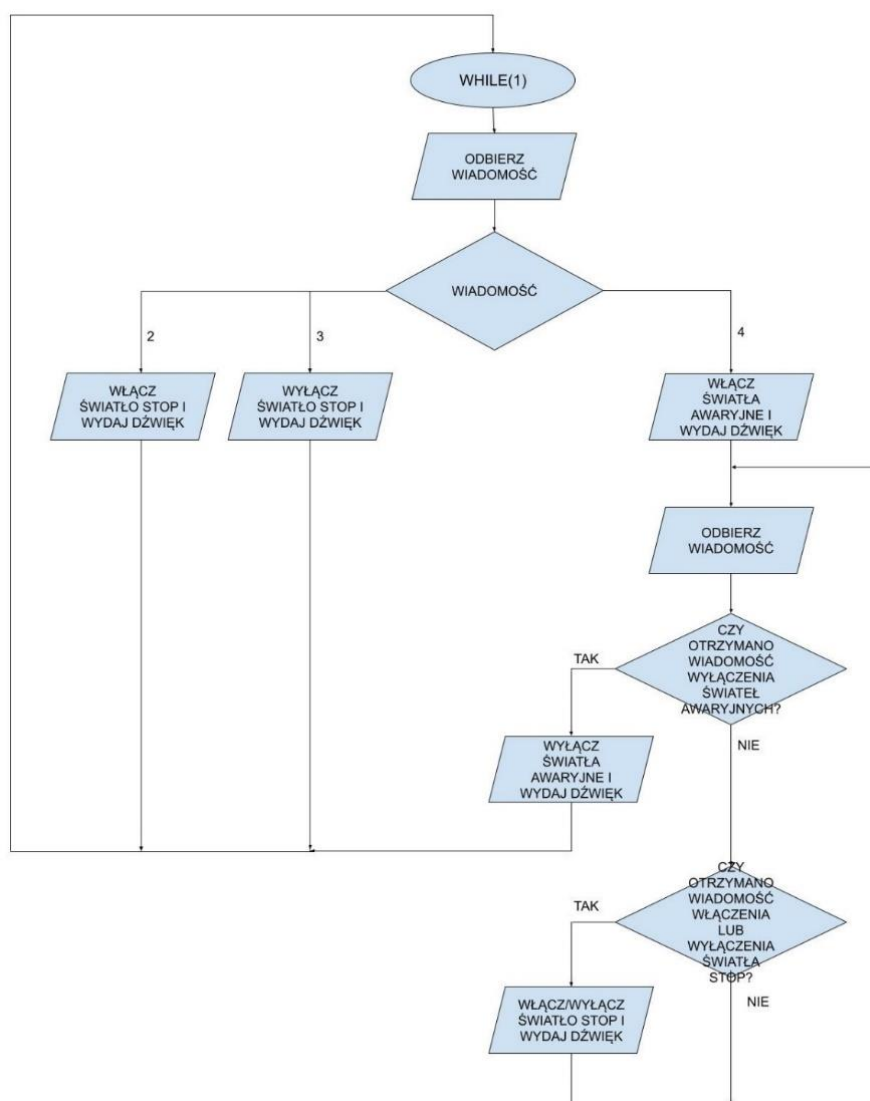
void battery_level_show(uint32_t value)
{
    if(value <= 1365)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_Delay(DIODES_ADC_TIME);
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    }
    else if((value > 1365) && (value <= 2730))
    {
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_GPIO_WritePin(DY_GPIO_Port, DY_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_Delay(DIODES_ADC_TIME);
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(DY_GPIO_Port, DY_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    }
    else
    {
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_GPIO_WritePin(DY_GPIO_Port, DY_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_GPIO_WritePin(DG_GPIO_Port, DG_Pin, GPIO_PIN_SET);
        HAL_Delay(DIODES_ADC_TIME);
        HAL_GPIO_WritePin(DR_GPIO_Port, DR_Pin, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(DY_GPIO_Port, DY_Pin, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(DG_GPIO_Port, DG_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    }
}

```

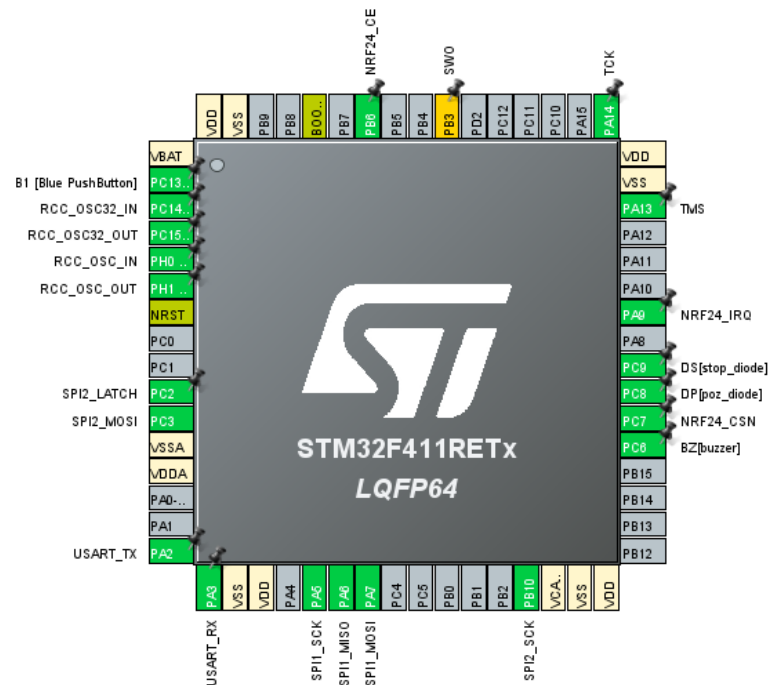

5.2 Część odbiorcza

Kod aplikacji Odbiornika opiera się na działaniu nieskończonej pętli, w której w sposób ciągły moduł komunikacyjny nRF24L01+ sprawdza poprzez odpytywanie czy otrzymał informację od Nadajnika. W zależności od zawartości wiadomości wywołuje on odpowiednią logikę opierając się o wartości z Tabeli 5. Uproszczony schemat blokowy przedstawiający zasadę działania dla światła stop oraz świateł awaryjnych, przedstawiony został na Rysunku 34. Algorytm dla sygnalizacji skrętu w lewo oraz w prawo jest analogiczny do schematu świateł awaryjnych.

Wygenerowane przez program przypisanie wyprowadzeń przedstawia Rysunek 35.



Rysunek 34. Uproszczony schemat blokowy Odbiornika



Rysunek 35. Przypisane porty oraz piny STM32 NUCLEO-F411RE dla Odbiornika

Interesującym fragmentem kodu jest sposób wyświetlania świateł awaryjnych na matrycy świetlnej. Dzięki wykorzystaniu interfejsowi komunikacyjnemu SPI, kanał drugi oraz rejestrowi przesuwalnemu uzyskano efekt linijki LED (ang. *bar LED*). W tym celu stworzono dwie tablice sześćcioelementowe: *left_light_values* oraz *right_light_values*. Wartości zostały dobrane, aby zapisane w postaci binarnej imitowały coraz większe wypełnienie. Pierwsze wartości wynoszące zero zostały użyte w celu uzyskania poprawy efektu płynności wyświetlania. Czas odświeżania został zdefiniowany jako *TURNING_DIODE_REFRESH_TIME* i wynosi 130 ms. Graficzną interpretację sygnalizacji świateł awaryjnych przedstawia Rysunek 36.

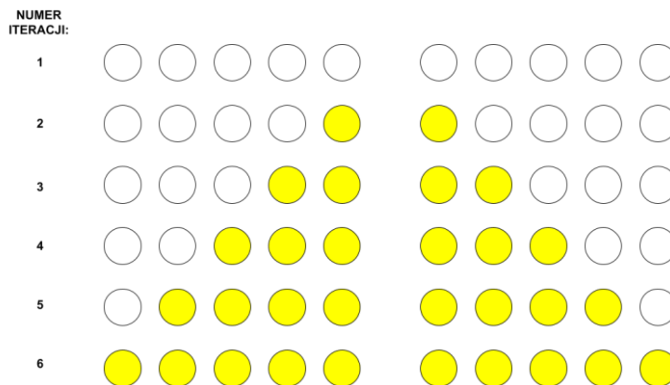
```
#define TURNING_DIODE_REFRESH_TIME 130
const uint8_t left_light_values[] = {0, 1, 3, 7, 15, 31};
const uint8_t right_light_values[] = {0, 16, 24, 28, 30, 31};

void emergency_lights_logic(void)
{
    buzzing();
    while (Nrf24_Message[0] != 0x35)
    {
        emergency_lights_set();
    }
    check_stop_light_logic();
    turning_diode_reset();
}
```

```

void emergencyLightsSet(void)
{
    uint8_t size= 2;
    uint8_t data[2];
    for(int i=0; i<6; i++)
    {
        check_stop_light_logic();
        data[0] = left_light_values[i];
        data[1] = right_light_values[i];
        shiftOut(data, size);
        HAL_Delay(TURNING_DIODE_REFRESH_TIME);
    }
}

```



Rysunek 36. Przedstawienie etapów wyświetlania na przykładzie świateł awaryjnych

Potwierdzenie rozpoczęcia/zakończenia wyświetlania sygnalizacji oraz początkowy sygnał informujący o początkowej inicjalizacji Odbiornika jest realizowany poprzez ustawienie stanu wysokiego na pinie podłączonym do sygnalizatora dźwiękowego.

Czas wydawania dźwięku potwierdzenia jest zdefiniowany jako *BUZZING_TIME* i wynosi 50 ms, natomiast sygnał inicjalizujący trwa cztery razy dłużej.

```

#define BUZZING_TIME 50
void buzzing(void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(BZ_GPIO_Port, BZ_Pin, GPIO_PIN_SET);
    HAL_Delay(BUZZING_TIME);
    HAL_GPIO_WritePin(BZ_GPIO_Port, BZ_Pin, GPIO_PIN_RESET);
}
void board_ready_to_recive_voice(void)
{
    for(int i=0; i<5; i++)
    {
        buzzing();
    }
}

```

Rozdział 6 Projekt konstrukcyjny

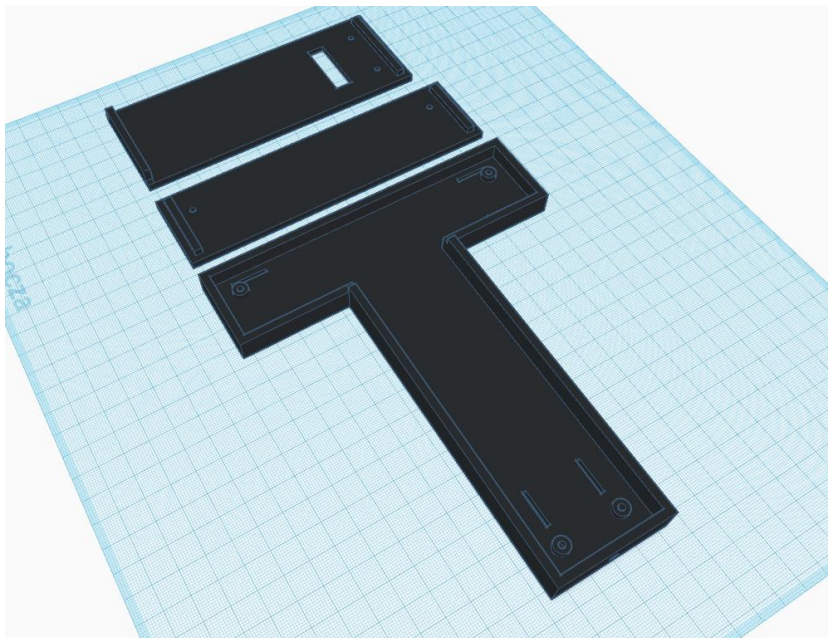
W celu zaprojektowania obudów wykonanych w technologii druku 3D w projekcie wykorzystano program Tinkercad, firmy Autodesk [26]. Jest to darmowe oprogramowanie (działające w przeglądarce) służące do modelowania 3D. Podczas tworzenia własnego projektu użytkownik może wstawić oraz edytować przygotowane przez producenta bryły m.in. walec, sześcian i elipsa. Każda z nich może przybierać dwie właściwości fizyczne: wypełnienie (ang. *solid*) oraz dziura (ang. *hole*). Parametry służą do tworzenia wcięć oraz otworów poprzez nałożenie obu brył na siebie, a następnie wybranie opcji połączenia wykreowanego kształtu w całość.

6.1 Część nadawcza

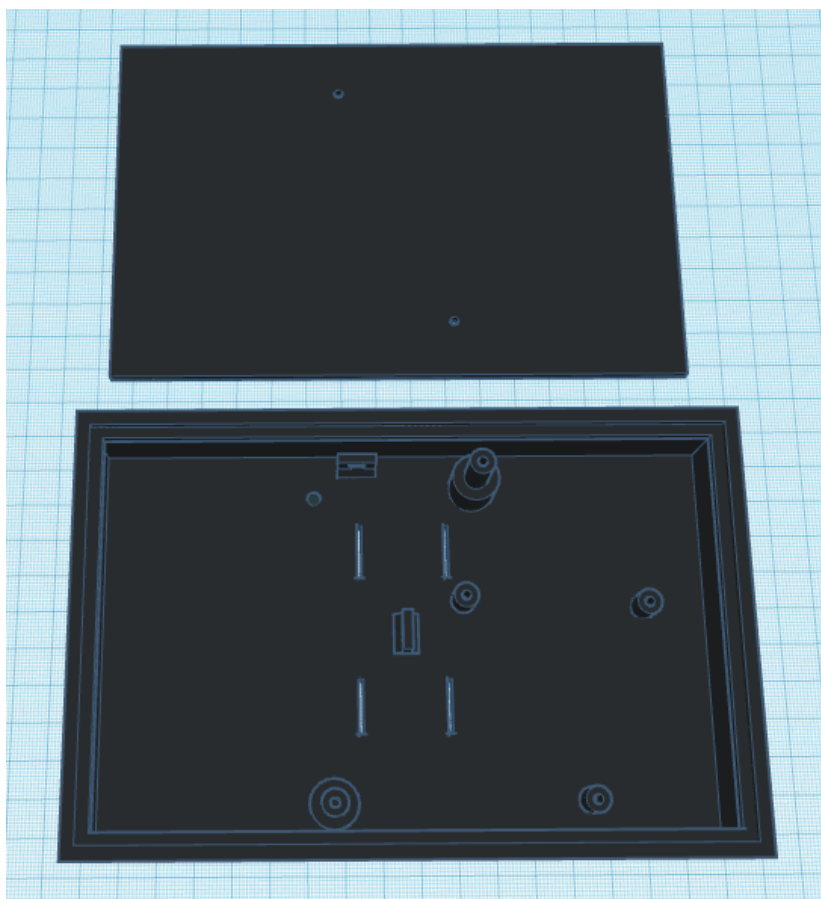
Projekt konstrukcji Nadajnika podzielono na dwie części. Decyzja spowodowana była ograniczeniami wynikającymi z maksymalnych rozmiarów druku na platformie roboczej drukarki 3D.

W pierwszej części konstrukcji przewidziano montaż płytki PCB oraz informujących sygnalizatorów. Kształt tej obudowy dostosowano do parametrów wielkościowych typowej kierowcy hulajnogi elektrycznej (Rysunek 37). Na tylnej ścianie umieszczono sześć otworów, dzięki którym istnieje możliwość zamontowania druku do e-hulajnogi. W dolnej części obudowy umieszczono otwory, przez które można przeprowadzić przewody.

Druga część konstrukcji jest stworzona w celu umieszczenia bloku zasilającego oraz znacznej części komponentów występujących w bloku kontrolno-nadawczym (Rysunek 38). W bocznej ścianie obudowy stworzono otwór w celu zamontowania wyłącznika. Konstrukcja posiada identyczny rozstaw otworów montażowych względem występujących na STM32 NUCLEO-F411RE, dzięki czemu istnieje możliwość przykręcenia płytki ewaluacyjnej do druku. Obudowa posiada cztery prostokątne dziury w celu zamontowania jej do kierownicy.



Rysunek 37. Pierwsza część obudowy Nadajnika wraz z elementami pokrywy



Rysunek 38. Druga część obudowy Nadajnika wraz z elementami pokrywy

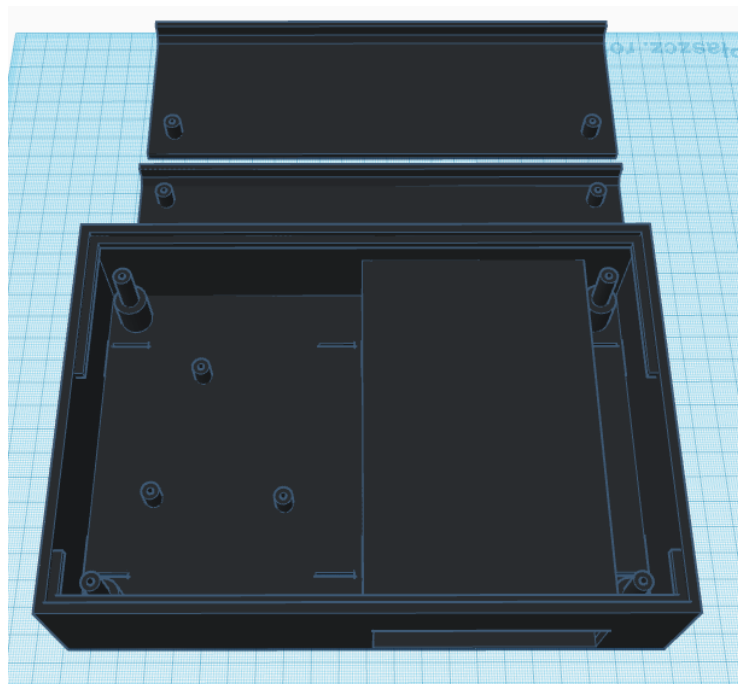
6.2 Część odbiorcza

Druk musi spełniać konkretne wymagania, w celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz wygody korzystania. Podczas projektowania obudowy modułu odbiorczego brano pod uwagę kilka aspektów, tak aby:

- dostosować się do wymiarów matrycy świetlnej,
- nie zakrywać elementów świetlnych,
- umożliwić montaż komponentów występujących w module odbiorczym,
- przechowywać źródło zasilania poprzez stworzenie specjalnej komory,
- nie ograniczać ruchów kierowcy po założeniu kamizelki.

Ośłona Odbiornika przedstawiona na Rysunku 39 posiada sześć otworów w tylnej ścianie oraz cztery w ścianach bocznych. Tylne odpowiedzialne są za odpowiednie pozycjonowanie kamizelki w pionie natomiast boczne za poziome.

Odbiornik może zostać zamontowany oraz być używany na dwa sposoby. Pierwszym z nich to możliwość przewleczenia materiału przez dziury oraz wszycie go do wybranej kamizelki czy też bluzy. Druga opcja to wykorzystanie otworów w celu zamontowaniu szelek na ramiona.



Rysunek 39. Obudowa Odbiornika wraz z elementami pokrywy

Rozdział 7 Testy funkcjonalne

W celu weryfikacji poprawności działania przeprowadzono testy funkcjonalne kamizelki. Odbyły się one po zakończeniu prac nad warstwą sprzętową oraz programową obu modułów. Po odpowiednim podłączeniu układów zgodnie ze schematami elektrycznymi oraz zamontowaniu ich w obudowach można było przejść do odpowiednich weryfikacji. Ich głównym zadaniem było uzyskanie klarownej i jasnej odpowiedzi na ewentualne typowe problemy podczas korzystania z kamizelki sygnalizacyjnej.

Aby zweryfikować poprawność wykonanego projektu stworzono stelaż imitujący prawdziwą e-hulajnogę. W lewym uchwycie kierownicy zamontowano dźwignie hamulca ręcznego, a w środkowej części Nadajnik.

Zmontowany projekt kamizelki sygnalizacyjnej, na której uruchomiono światła awaryjne przedstawia Rysunek 40.

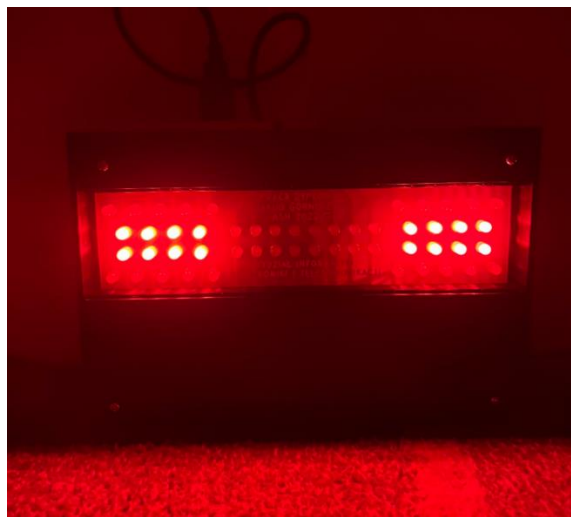


Rysunek 40. Zmontowany projekt kamizelki sygnalizacyjnej

7.1 Test widoczności

Zadaniem tego testu była weryfikacja widoczności kamizelki w różnych warunkach atmosferycznych. Egzamin został przeprowadzony w naświetlony dzień oraz w ciągu nocy (widok nocny ukazany na Rysunku 41). W próbie uczestniczyły dwie osoby jednocześnie, tak aby warunki pogodowe w danej chwili były identyczne.

Test widoczności został przeprowadzony w odległości 5 metrów oraz 10 metrów od kamizelki. W obu przypadkach testerzy byli w stanie bezproblemowo rozpoznać co aktualnie jest wyświetlane na Odbiorniku.



Rysunek 41. Widok nocny Odbiornika

7.2 Test jednoczesnego wciśnięcia przycisków

Podczas jazdy hulajnogą elektryczną kierowca może omyłkowo wcisnąć jednocześnie kilka przycisków. Przykładowo podczas poruszania się istnieje szansa na przyciśnięcie guziku odpowiedzialnego za wywołanie świateł awaryjnych podczas, gdy na matrycy świetlnej wyświetlana jest sygnalizacja zmiany kierunku jazdy. Ten problem został rozwiązany za pomocą kodu aplikacji, natomiast w celu weryfikacji zostały przeprowadzone testy każdej kombinacji.

Podczas próby Nadajnik nie wykrywał wciśnięcia oraz Odbiornik nie wprowadzał jakichkolwiek zmian w aktualnym wyświetlaniu. Test zakończył się pozytywnie.

7.3 Test ADC

W celu weryfikacji poprawnego pomiaru, interpretacji oraz wyświetlania aktualnego napięcia akumulatorów, do wyprowadzenia wychodzącego z dzielnika rezystancyjnego dołączono potencjometr o wartości 10 kΩ. Dzięki czemu uzyskano możliwość imitacji spadku napięć na akumulatorach poprzez odpowiednieysterowanie. Wartości realne odczytywano za pomocą multimetru, które następnie przeliczano na ilość kwantów korzystając ze wzoru:

$$ADC = \frac{V}{3,3V} 2^N - 1 \quad (4)$$

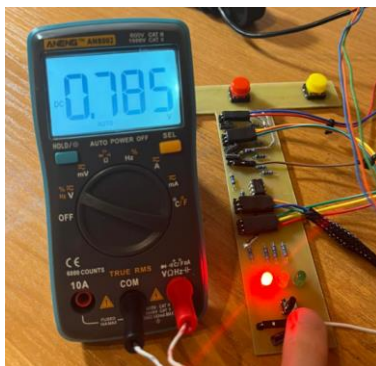
Gdzie:

ADC – wartość napięcia wyrażona w kwantach

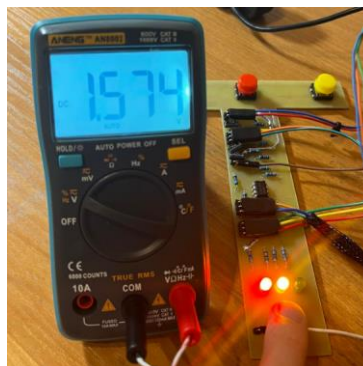
V – napięcie odczytane za pomocą multimetru

N – ilość bitów przetwornika.

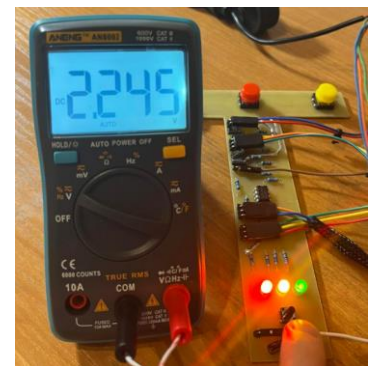
Przebieg weryfikacji przedstawia Rysunek 42. Wykonane testy mają wynik pozytywny.



a) Wartość kwantowa 975



b) Wartość kwantowa 1954



c) Wartość kwantowa 2786

Rysunek 42. Wyniki testów ADC

Rozdział 8 Podsumowanie

Dzięki pracy inżynierskiej udało się zdobyć wiedzę na temat komponentów wykorzystanych w kamizelce oraz aktualnej sytuacji na rynku elektronicznym. Ważnym elementem uzyskanym podczas wykonywania projektu jest nabyta umiejętność wytwarzania płytek drukowanych. Metodą prób i błędów odpowiednio dostosowano ilość nadsiaczaru sodu potrzebnego do wytrawienia miedzi, tak aby nie wytworzyć zbędnych wżer w płytce. Dodatkowo rozwinięto umiejętność lutowania elementów elektronicznych.

Praca dyplomowa przedstawiła proces projektowania, programowania oraz wytworzenia kamizelki sygnalizacyjnej dla kierowcy hulajnogi elektrycznej. Począwszy od doboru odpowiednich komponentów, skończywszy na testach funkcjonalnych.

Wykonany model jest w stanie klarownie oraz wyraziście sygnalizować jazdę, co zostało zweryfikowane. Wszystkie stawiane przed projektem założenia projektowe zostały spełnione.

8.1 Dalszy rozwój projektu

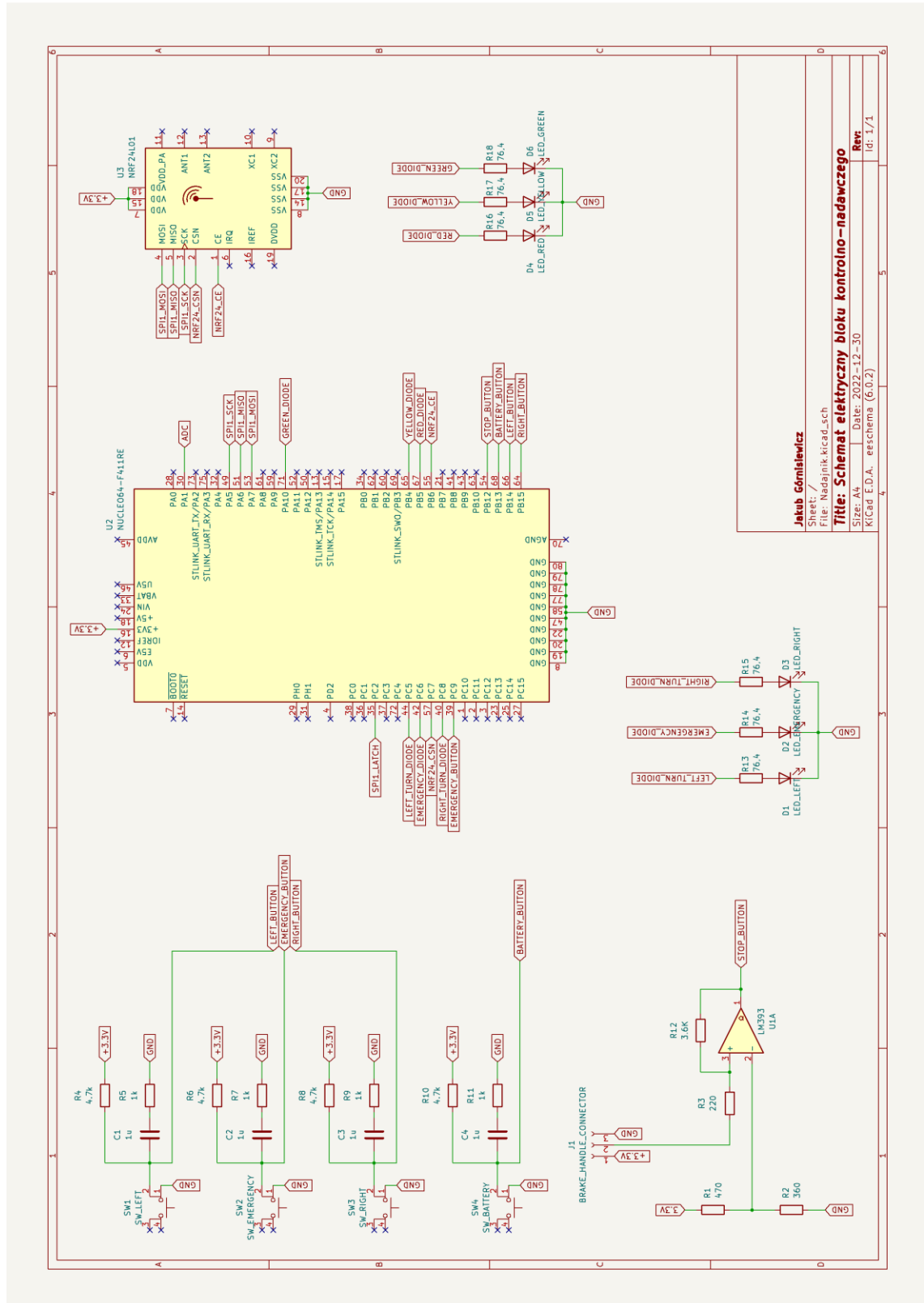
Projekt pozostawia wiele miejsca na ewentualne ulepszenia oraz rozbudowanie go zarówno w warstwie sprzętowej jak i programowej. Kod można ulepszyć poprzez modyfikacje aplikacji dotyczącej modułu komunikacyjnego, element mógłby działać w trybie przerwań. Spowodowałoby ograniczenie wykorzystania zasobów z banku energii. W module odbiorczym istnieje również możliwość dodania akcelerometru oraz żyroskopu, np. model MPU6050. Jego działanie w projekcie mogłoby polegać na wykrywaniu upadku kierowcy oraz w tym przypadku np. włączenie świateł awaryjnych z odpowiednią sygnalizacją dźwiękową. Działanie to zwiększyłoby widoczność oraz bezpieczeństwo poszkodowanego.

Bibliografia

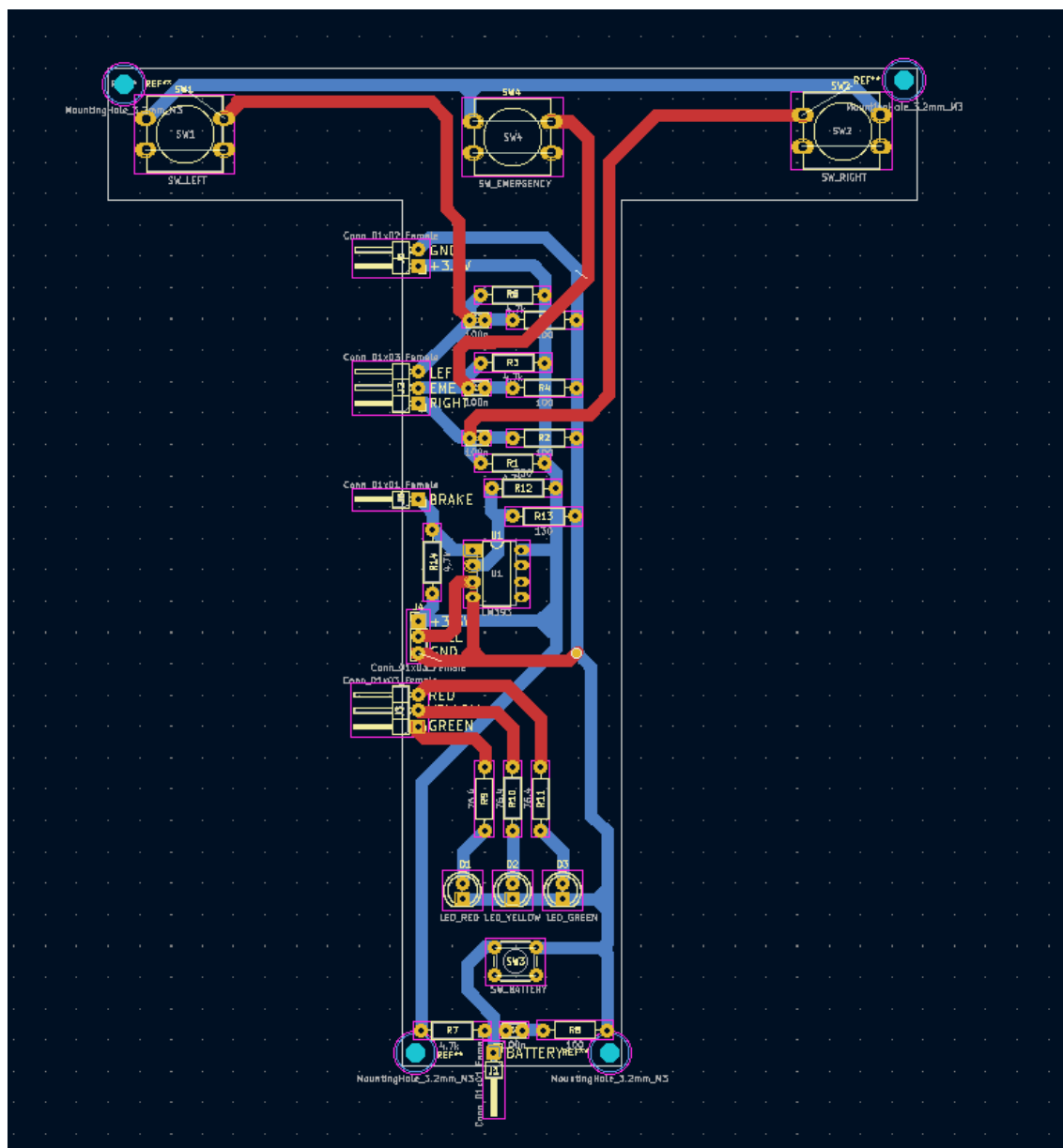
- [1] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://mi-store.pl/pol_pl_Hulajnoga-elektryczna-Xiaomi-Mi-Electric-Scooter-M365-Pro-2-Black-1923_1.jpg
- [2] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
 - (a) https://domiasta.pl/3141-large_default/manetka-gaz-do-xiaomi-m365-pro-pro-2.jpg
 - (b) https://domiasta.pl/2807-large_default/klamka-hamulca-do-xiaomi-m365pro.jpg
- [3] [Ustawa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022) (Ustawa z dnia 30 marca 2021 r. o zmianie ustawy - Prawo o ruchu drogowym oraz niektórych innych ustaw)
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20210000720/O/D20210720.pdf>
- [4] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
[https://contents.mediadecathlon.com/p2268916/k\\$b823fb9190b475cd6fb5fdbacfb1c93e/sq/kamizelka-migajaca-na-rower-5-sygnalow.jpg?f=3000x3000](https://contents.mediadecathlon.com/p2268916/k$b823fb9190b475cd6fb5fdbacfb1c93e/sq/kamizelka-migajaca-na-rower-5-sygnalow.jpg?f=3000x3000)
- [5] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf
- [6] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://pl.farnell.com/productimages/standard/en_GB/2433469-40.jpg
- [7] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f411re.html#>
- [8] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://cdn.sos.sk/imagecache/product-detail/8c/2a/04b0ba26/inr-18650-25r.jpg>
- [9] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://www.smd-led.pl/produkty/d273c394_s.jpg
- [10] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://static5.abc-rc.pl/pol_pl_Przetwornica-3A-3-35V-na-1-5-30V-DC-DC-step-down-LM2596-do-FPV-5375_5.jpg
- [11] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://botland.com.pl/index.php?controller=attachment&id_attachment=1213

- [12] [Źródło pisane] Horowitz P., Hill W., „*Sztuka elektroniki*”, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2019, s. 28-29.
- [13] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://cdn1.botland.com.pl/78072-pdt_540/modul-z-gniazdem-usb-typ-a.jpg
- [14] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://sklep.avt.pl/media/products/50e381fb8d8f29697b6d2a506ff6dac7/images/thumbnail/large_MIKROSW-TM.jpg?lm=1668456587
- [15] [Rysunek] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
https://sklep.avt.pl/media/products/900883d613230015db47b686669fef38/images/thumbnail/big_MIKROSW-TS.jpg?lm=1668698270
- [16] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1260433/TI/LM393.html>
- [17] [Oprogramowanie] [Online] (Dostęp 04.01.2023)
<https://www.kicad.org>
- [18] [Źródło pisane] Platt C., „*Elektronika od praktyki do teorii Kolejne eksperymenty*”, Wydawnictwo Helion, 2015, s. 36
- [19] [Źródło pisane] Wallace S., „*Płytki drukowane (PCB) Nauka i projekty od podstaw*”, Wydawnictwo Helion, 2019
- [20] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/12198/ONSEMI/74HC595/181/1/74HC595.html>
- [21] [Źródło pisane] AVT-Korporacja, „*Elektronika dla wszystkich 4/98 Tranzystory dla początkujących część 4*”, Warszawa 1998, s. 73-77
- [22] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/643709/FAIRCHILD/BC337.html>
- [23] [Nota katalogowa] [Online] (Dostęp: 27.12.2022)
<https://www.farnell.com/datasheets/2171929.pdf>
- [24] [Oprogramowanie] [Online] (Dostęp 04.01.2023)
<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>
- [25] [Kody źródłowe] [Online] (Dostęp 30.12.2022)
https://github.com/lamik/nRF24L01_Transmitter/tree/Simple
https://github.com/lamik/nRF24L01_Receiver/tree/Simple
- [26] [Oprogramowanie] [Online] (Dostęp 04.01.2023)
www.tinkercad.com

Załącznik A Schemat elektryczny bloku kontrolno-nadawczego



Załącznik B Schemat obwodu drukowanego Nadajnika





Załącznik D Schemat obwodu drukowanego Odbiornika

