



ZESPÓŁ SZKÓŁ ELEKTRYCZNO-ELEKTRONICZNYCH

im. prof. Maksymiliana Tytusa Hubera
w Szczecinie

3D.CANE

**- inteligentny system elektronicznej laski
dla osób niewidomych i niedowidzących**

Projekt konkursowy

Blok A – Innowacje Techniczne

XVII OLIMPIADA INNOWACJI TECHNICZNYCH I WYNALAZCZOŚCI 2017

Wykonawcy projektu:

Jacek MARTYNIAK
Łukasz NOWARKIEWICZ

Klasa

III Td
III Te

Rok szkolny

2016/2017

**Projekt realizowany pod kierunkiem i opieką merytoryczną:
dra inż. Dariusza Mostowskiego**

Spis treści

Wprowadzenie.....	3
Cel projektu.....	3
1. Idea „elektronicznej laski”.....	4
1. Przegląd rozwiązań rynkowych.....	11
2. Założenia projektowe systemu 3D.CANE.....	16
2.1. Kryteria optymalizacji projektu.....	16
2.2. Koncepcja założenia funkcjonalne systemu.....	17
2.3. Platforma programowo-sprzętowa.....	19
3. Opis funkcjonalny systemu3D.CANE.....	23
3.1. Moduł elektronicznej laski	24
3.1.1.Opis elektronicznych bloków funkcjonalnych.....	24
3.2. Zegarkowy moduł sterujący.....	38
3.2.1.Opis elektronicznych bloków funkcjonalnych.....	38
4. Dokumentacja wykonawcza systemu3D.CANE.....	44
4.1. Schematy ideowe modułów systemu.....	44
4.2. Mozaiki obwodów drukowanych.....	46
4.3. Schematy montażowe PCB.....	48
4.4. Rysunki techniczne obudów.....	51
4.5. Wykaz elementów.....	55
4.6. Kosztorys realizacyjny projektu.....	58
5. Realizacja i montaż systemu 3D.CANE.....	59
5.1. Prototypowanie koncepcji systemu.....	59
5.2. Realizacja i montaż obwodów drukowanych.....	60
5.3. Realizacja obudów modułów.....	63
5.4. Programowanie i testowanie modułów systemu.....	65
6. Eksploracja systemu3D.CANE.....	67
6.1. Kalibracja i konfiguracja systemu.....	67
Konkluzje, dalsze prace.....	68

Wprowadzenie

Elektronika jest ogromną dziedziną nauki, która ułatwia życie. Systemy elektroniczne we współczesnym świecie otaczają nas z każdej strony. Jednak nie wszystkie z nich są na potrzebne, a wielu które by z pewnością ułatwiły nam, lub konkretnie niewidomym, dla których projekt ten jest realizowany, życie codzienne. Obecnie skonstruowano wiele udoskodnień dla niepełnosprawnych, lecz powszechnie dostępnego nie ma żadnego rozwiązania tak bardzo ułatwiającego poruszanie osobom o ograniczonej zdolności widzenia.

Naszym celem jest zapewnienie osobom niewidomym sprzętu, który pozwoli im poruszać się bezpiecznie.

Cel projektu

Celem realizowanego projektu jest stworzenie nowoczesnego, inteligentnego systemu elektronicznej laski, wspierającego osoby niewidome i słabo widzące w poruszaniu się w dowolnej przestrzeni zarówno otwartej - w ruchu miejskim jak również w przestrzeniach zamkniętych jak mieszkanie, lokale użyteczności publicznej czy środki komunikacji miejskiej. Urządzenie w założeniach projektowych ma charakteryzować się łatwością i intuicyjnością obsługi przez osoby z dysfunkcją narządu wzroku. Założona modułowa konstrukcja systemu ma na celu zwiększenie funkcjonalności i uniwersalności urządzenia, przy jednoczesnym zachowaniu rozsądnych kosztów jego produkcji i eksploatacji.

Rozdział 1

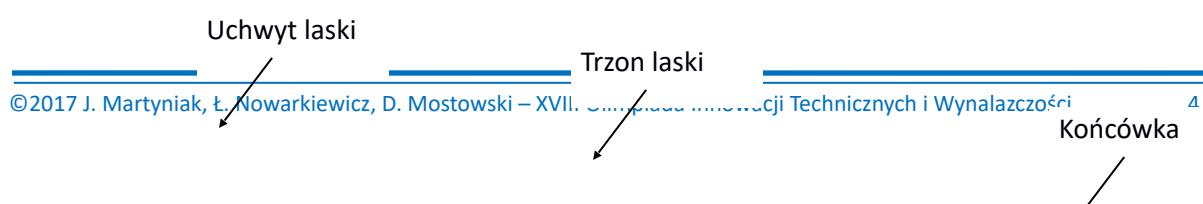
Idea „elektronicznej laski”

Idea tzw. „białej laski” dla niewidomych narodziła się niemal 100 lat temu, w Wielkiej Brytanii w roku 1921. Jej koncepcję opracował James Biggs, młody fotograf, który uległ wypadkowi w wyniku którego stracił wzrok. Aby klasyczna laska dżentelmena zapewniała mu bezpieczeństwo w poruszaniu się w miejskim zgiełku pomalował ją białą farbą dla polepszenia jej widoczności. Jego wynalazek zyskał popularność w Wielkiej Brytanii ponad 10 lat po powstaniu pierwszego prototypu, za sprawą Klubu Rotariańskiego z Westham, który podarował białe laski wszystkim osobom niewidomym mieszkającym w tej miejscowości. Tak zainicjowano w 1932 roku powszechną akcję w Wielkiej Brytanii, by białą laskę otrzymał każdy niewidomy jej obywatel.

Od samego początku biała laska pełni trzy zasadnicze funkcje:

1. **Ochronną** - zabezpiecza przed zderzeniem z przeszkodami, pomaga wykrywać spadki, krawężniki.
2. **Informacyjną** - dostarcza osobie korzystającej z laski informacji o otoczeniu.
3. **Identyfikującą** - informująca otoczenie o dysfunkcji wzroku jej użytkownika.

W konstrukcji klasycznej białej laski można wyróżnić trzy zasadnicze elementy: **uchwyt laski**, **trzon laski** oraz **końcówkę laski**. (rys.1.1)





Rys. 1.1. Elementy konstrukcyjne białej laski.

Źródło: *rehabmart.com*

Współcześnie istniejące, klasyczne białe laski dla osób niewidomych i niedowidzących można sklasyfikować w kilku kategoriach w następujący sposób:

I. Klasyfikacja ze względu na konstrukcję trzonu laski:

- laski nieskładane;
- laski składane z łącznikiem elastycznym – dwu lub trzy członowe;
- laski składane teleskopowo.

II. Klasyfikacja ze względu na konstrukcję uchwytu:

- laski z uchwytem prostym;
- laski z uchwytem podpórczym.

III. Klasyfikacja ze względu materiał konstrukcyjny trzonu laski:

- laski z trzonem aluminiowym;
- laski z trzonem z włókna węglowego;
- laski z trzonem z włókna szklanego;
- laski z trzonem grafitowym;
- laski z trzonem drewnianym.

a)

b)

c)



a nieskładana z prostym uchwytem, b) laska teleskopowa podpórcza,
c) laska składana elastyczna.

Źródło: lumen.pl

Przy pow pow optymalna długość laski powinna odpowiadać wysokości mostka użytkownika lub sięgać do pachy. Laski nieskładane cechuje największa trwałość oraz najlepsze przewodzenie informacji z otoczenia. Laski składane ułatwiają poruszanie się w ciasnych przestrzeniach, szczególnie w pomieszczeniach. Często używane są także przez osoby słabo widzące, potrzebujące laski jedynie w określonych sytuacjach, np. po zmierzchu.

Współczesne laski umożliwiają w zależności od potrzeb i preferencji osoby niewidomej wymianę i dopasowanie właściwej końcówki laski. rys.1.3.



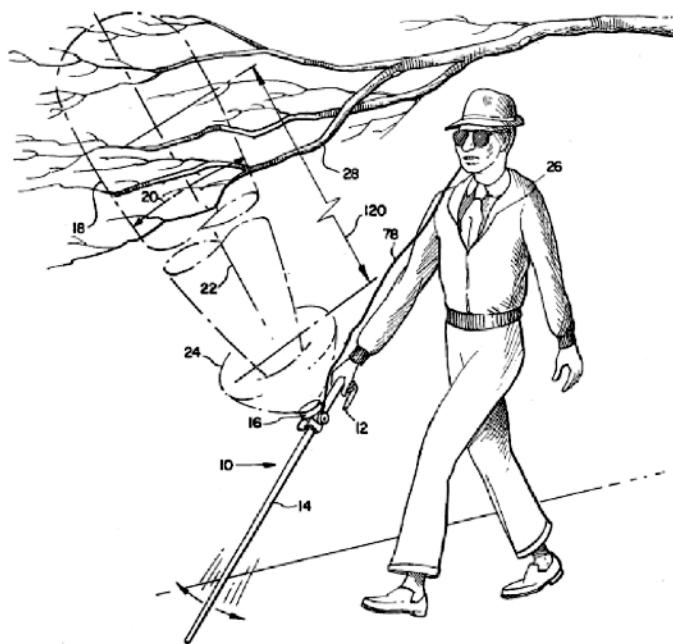
Rys. 1.3. Przykłady wymiennych końcówek dla białych lasek.

Źródło: lumen.pl

W wielu krajach świata posługiwienie się białą laską jest ściśle unormowane przepisami, co ogranicza dowolność w jej stosowaniu precyzyjnie definiując kto i w jakich

warunkach może się nią posługiwać, a także określa parametry techniczne jakimi powinna się cechować konstrukcja białej laski.

Mimo niezmennego na przestrzeni lat przeznaczenia sama koncepcja białej laski znacznie ewoluowała. Niezależnie od istniejących regulacji prawnych od dekad próbowało zmierzyć się z tematem elektronicznych urządzeń wspierających w codziennym funkcjonowaniu osób z dysfunkcjami narządu wzroku. Pośród wielu koncepcji przewijała się również idea stworzenia elektronicznej laski dla niewidomych, pozwalającej na informowanie jej użytkownika o czyniących w jego bezpośrednim otoczeniu niebezpieczeństwach. Niestety barierą nie do pokonania przez wiele lat były ograniczenia technologiczne, nie pozwalające na uzyskanie odpowiedniej dla potrzeb osób niewidomych kompaktowości a przez to mobilności tego typu urządzeń. Ograniczenia te wynikały głównie z ograniczonych wydajności przenośnych źródeł energii elektrycznej niezbędnych do zasilania elektronicznych obwodów laski, jak również brak zminiaturyzowanych urządzeń pozwalających na detekcję przeszkód fizycznych w otoczeniu. Dynamiczny rozwój mikroelektroniki w latach 70-ych XX wieku doprowadził już dekadę później do pierwszych opatentowanych rozwiązań elektronicznych lasek dla niewidomych. Jedno z pierwszych wdrożonych komercyjnie rozwiązań opatentowała w roku 1981 firma Polaroid Corp z USA. Inżynierowie opracowali urządzenie z ultradźwiękowym detektorem przeszkód fizycznych w bliskim otoczeniu, umieszczonym w uchwycie laski (rys.1.4).

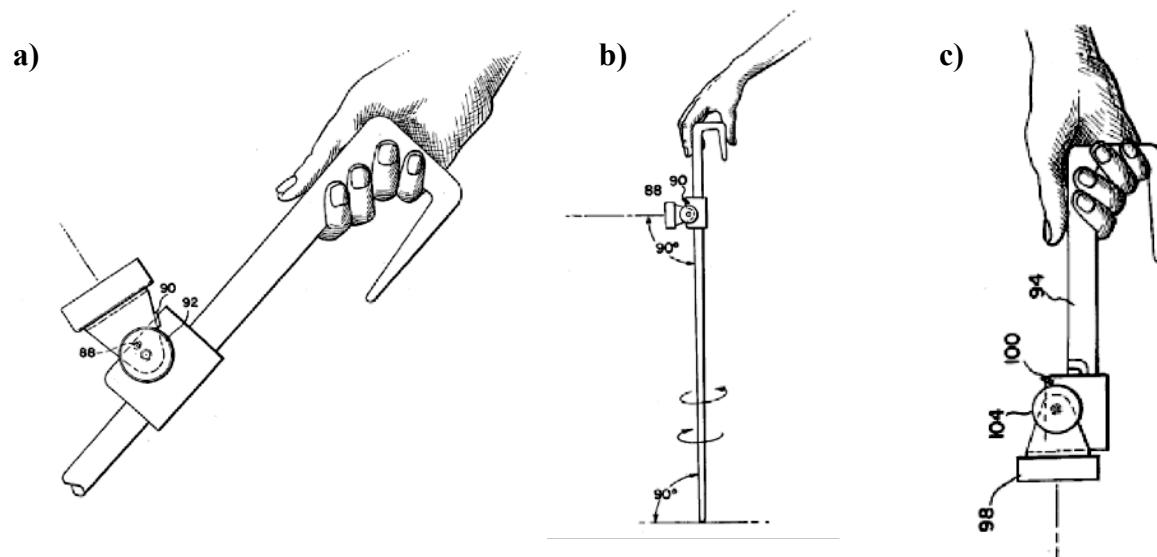


Rys. 1.4. Jedno z pierwszych opatentowanych rozwiązań „elektronicznej laski” – laska z nastawnym kierunkowo skanerem ultradźwiękowym umieszczonym w uchwycie laski – Polaroid Corp. USA, rok 1981

Źródło: archiwum autorów

Dodatkową cechą detektora była możliwość manualnej nastawy jego pozycji w jednej płaszczyźnie, co przekładało się na zmianę pola detekcji przeszkód – od tych

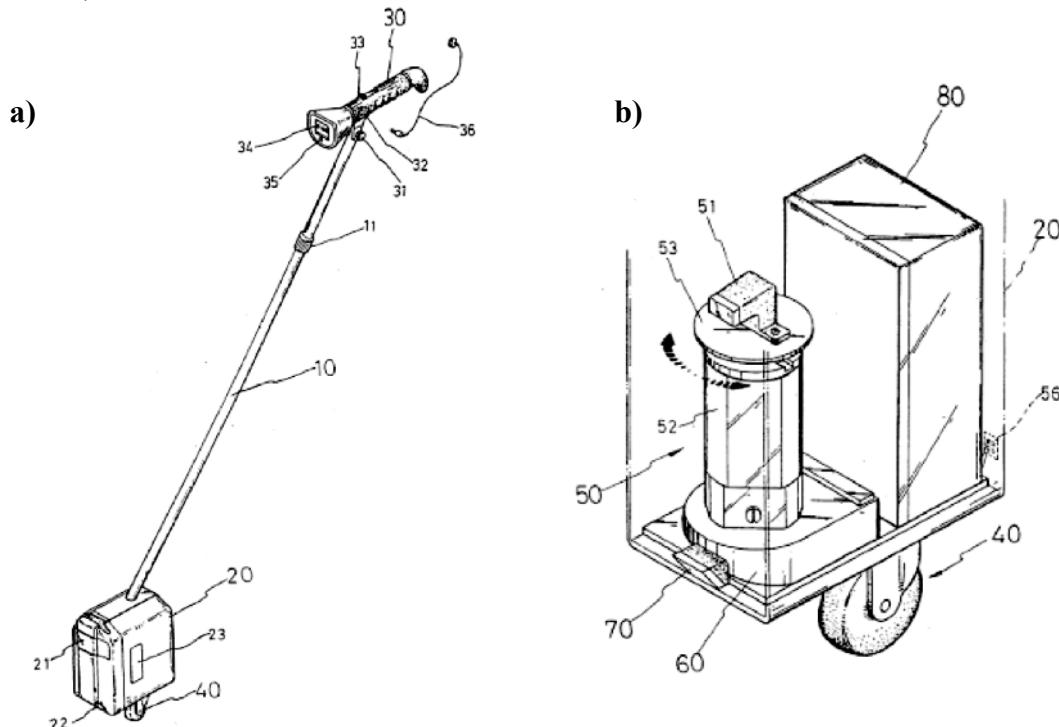
umieszczonych nad głową niewidomego, poprzez pole bezpośrednio przed, za i obok użytkownika, po niewielkie przeszkody blisko powierzchni ziemi. (rys.1.5)



Rys. 1.5. Możliwe do uzyskania różne nastawy detektora ultradźwiękowego laski firmy Polaroid Corp., umożliwiające wybór obszaru skanowanego: a) detekcja przeszkód nad głową użytkownika, b) detekcja przeszkód frontalnych, b) skanowanie przeszkód na podłożu.

Źródło: archiwum autorów

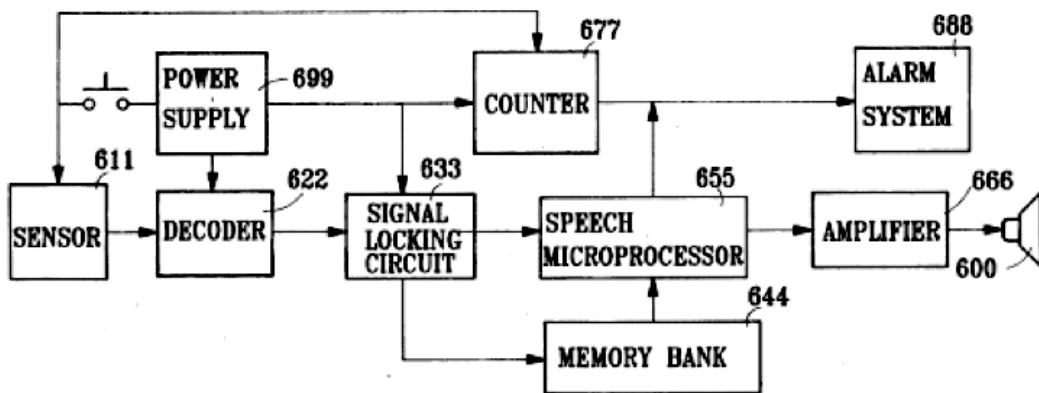
Interesujący, tajwański patent elektronicznej laski pojawił się dekadę później, bo w roku 1992 (rys. 1.6)



Rys. 1.6. Taiwański projekt elektronicznej laski z komunikatami głosowymi: a) konstrukcja laski z modułem sterującym oraz głosowym umieszczonym w uchwycie laski, b) detektor ultradźwiękowy umieszczony w końcówce laski. Patent USA, 1992.

Źródło: archiwum autorów

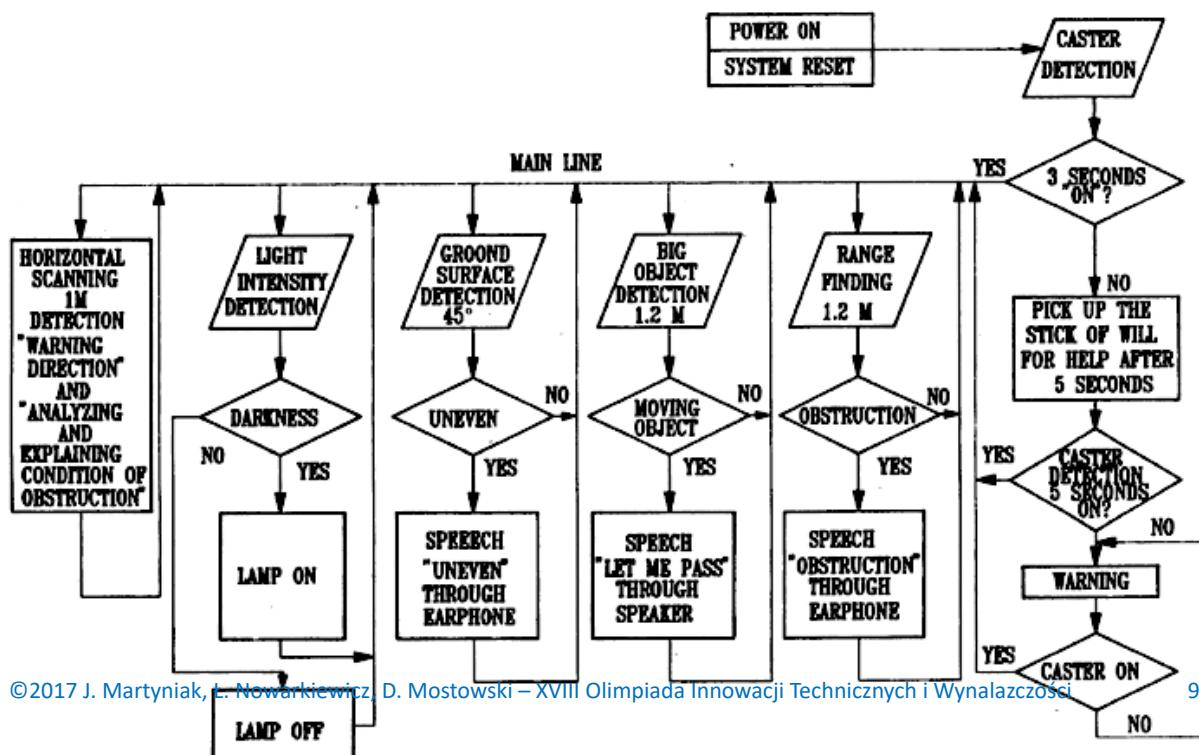
Nowatorskość tego rozwiązania polegała na wykorzystaniu obok umieszczonego w tocznej końcówce laski detektora ultradźwiękowego również jednokierunkowej komunikacji głosowej z użytkownikiem. Rozwiązanie to wykorzystywało dedykowany procesor mowy dla syntezy pożądanych komunikatów głosowych, ostrzegających użytkownika przed zbliżającą się przeszkodą. (rys. 1.7)



Rys. 1.7. Schemat blokowy elektronicznej laski z komunikatami głosowymi.

Źródło: archiwum autorów

Ponadto urządzenie wyposażone było w lampę czołową z automatycznym włacznikiem zmierzchowym oraz dyskryminator obiektów nieruchomych i poruszających się. Algorytm pracy urządzenia przedstawiono na rys. 1.8.



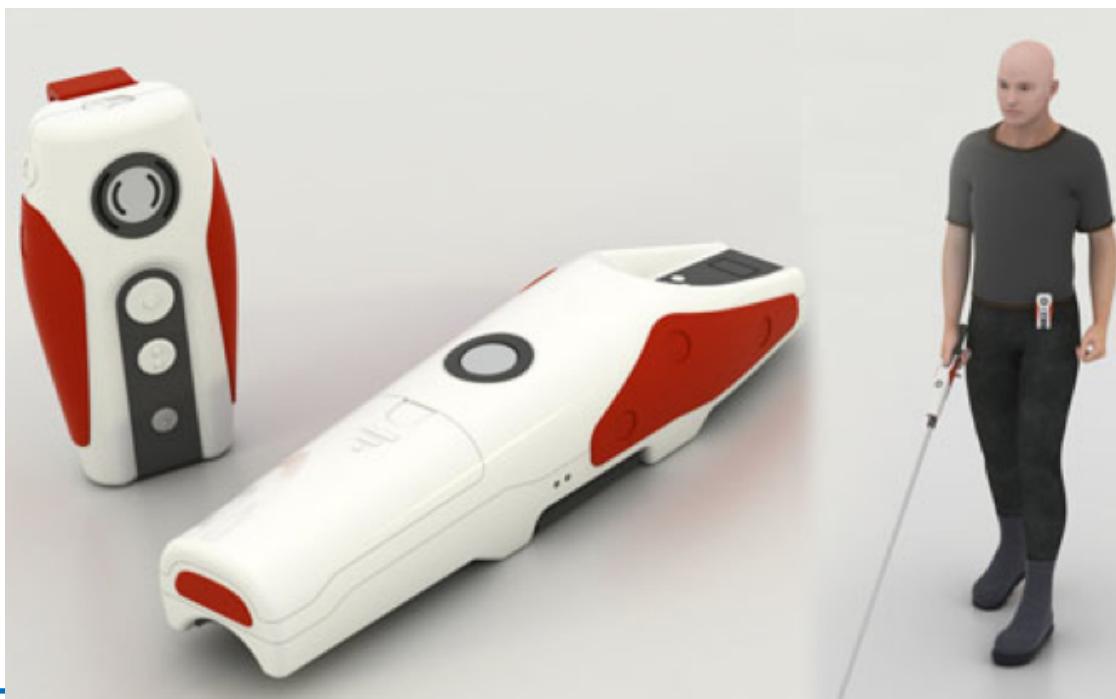
Rys. 1.8. Algorytm pracy elektronicznej laski z komunikatami głosowymi.

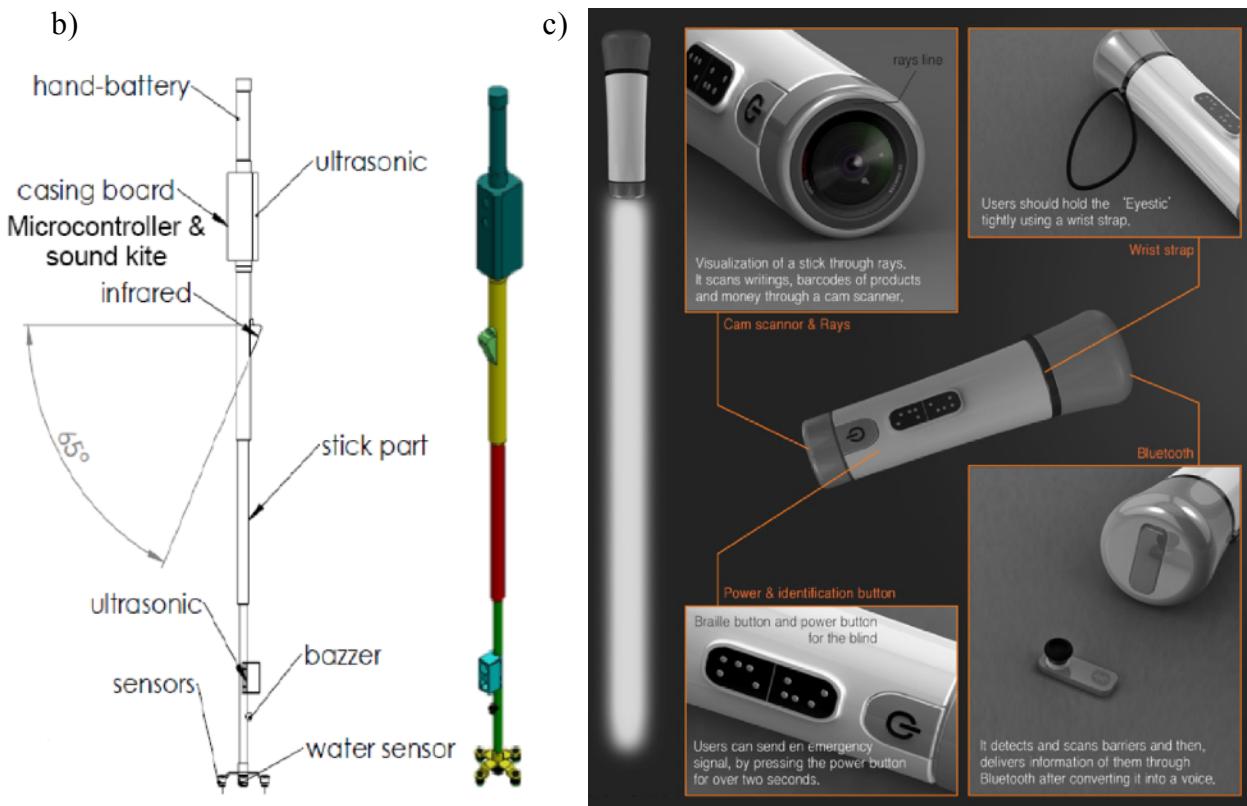
Źródło: archiwum autorów

Współcześnie istniejące urządzenia elektroniczne wspomagające i poprawiające mobilność osób niewidomych i z dysfunkcjami narządu wzroku wykorzystują szereg nowatorskich rozwiązań dla detekcji przeszkód w bliskim otoczeniu osób niewidomych. Wykorzystują one w tym celu różnorodne detektory – od najbardziej powszechnych dalmierzy opartych na czujnikach ultradźwiękowych przez złożone i kosztowne skanery laserowe po zintegrowane systemy wizyjne dokonujące obrazowania oraz analizy numerycznej sekwencji wideo zarejestrowanego obrazu otoczenia implementujące obok rozpoznawania obiektów również funkcje rozpoznawania twarzy osób napotkanych. Pojawiają się także koncepcje integracji miniaturowych nadajników GPS w elektronicznych laskach, umożliwiających integrację z lokalnymi systemami dla osób niewidomych informującymi użytkownika komunikatami głosowymi o bieżącej lokalizacji. Wraz z technologią GSM takie rozwiązanie umożliwiaoby również zdальną lokalizację osoby niewidomej przez osoby trzecie bądź instytucje pod opieką których niewidomy pozostaje.

Wiele nowatorskich urządzeń jest na razie w fazie koncepcyjnej bądź R&D i nie doczekała się jeszcze wdrożeń komercyjnych. Do przykładowych urządzeń koncepcyjnych należą m.in. system elektronicznej laski ViiO z wbudowanym głosowym systemem GPS, czy świetlna laska EyeStick ze skanerem wideo dla kodów paskowych czy tekstu oraz wyświetlaczem Braille'a.

a)





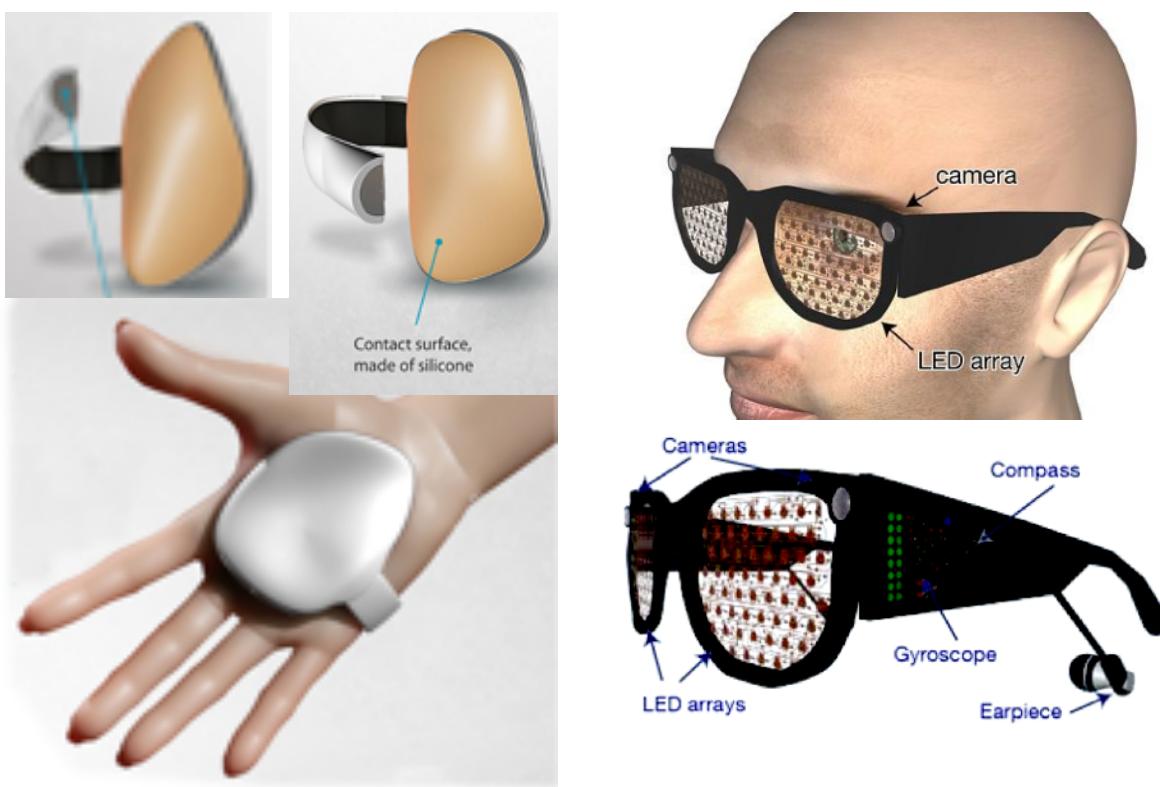
Rys. 1.9. Wybrane rozwiązania systemów „elektronicznej laski” będących w fazie koncepcyjnej lub R&D: a) moduł elektronicznej laski *ViiO*, b) elektroniczna laska z detektorami ultradźwiękowymi i czujnikiem wilgotności c) elektroniczna laska świetlna *EyeStick* z wbudowanym skanerem wideo oraz wyświetlaczem Braille'a.

Źródło: archiwum autorów

Pojawiają się także coraz częściej urządzenia elektroniczne spełniające rolę „elektronicznych oczu” dla osoby niewidomej, działające na podobnej zasadzie skanowania i analizy struktury otoczenia z użyciem sensorów ultradźwiękowych, laserowych bądź wizyjnych, swoim wyglądem jednak nie przypominające laski. Przykładem mogą być koncepcyjne systemy: *MUNIVO* będący rodzajem padu umieszczonego na dloni z detektorem ultradźwiękowym i vibracyjną „wizualizacją” przeszkód czy też inteligentne okulary z wbudowanym systemem wizyjnym, kompasem, żyroskopem oraz systemem komunikacji audio.

a)

b)



Rys. 1.9. Koncepcyjne systemy: MUNIVO oraz elektroniczne okulary dla niewidomych.

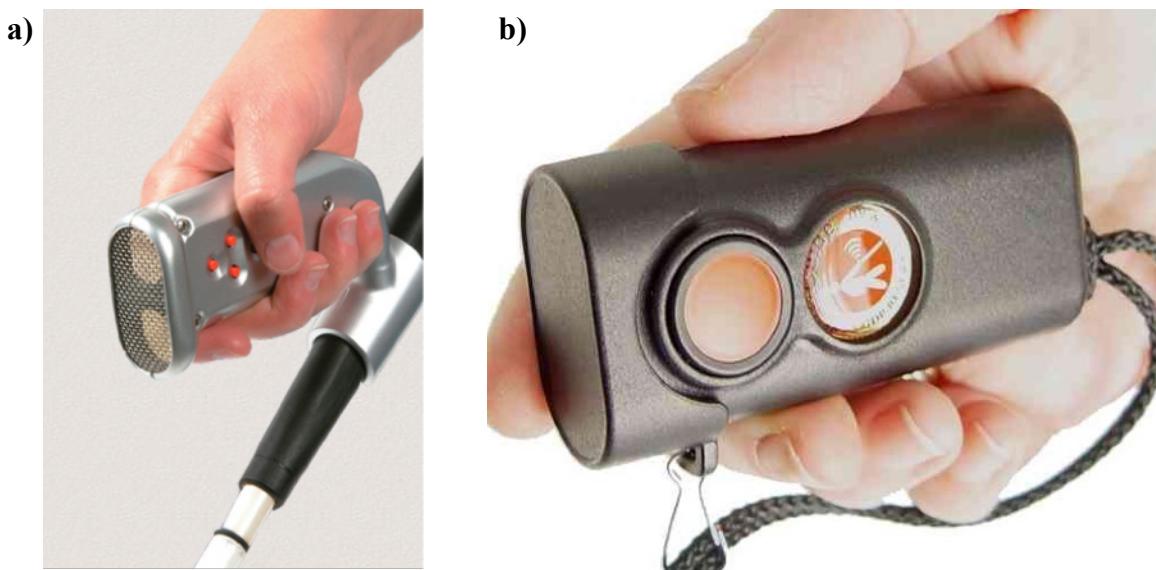
Źródło: archiwum autorów

1. Przegląd rozwiązań rynkowych

W obecnym czasie na rynku funkcjonuje wiele urządzeń z różnych kategorii sprzętowych zapewniających wsparcie osobom niewidomym i niedowidzącym w niemal wszystkich czynnościach życia codziennego.

Wśród rozwiązań ułatwiających niewidomemu orientację przestrenną, nie będących jednocześnie klasyczną laską elektroniczną można wyróżnić następujące urządzenia:

- **CityCane** – laska z umieszczonym w uchwycie detektorem zielonego światła, który dźwiękiem sygnalizuje zaświecenie się odpowiedniej lampy i możliwość bezpiecznego przejścia przez ulicę.
- **K-Sonar i Miniguide** – zaawansowane urządzenia echolokacyjne do zamocowania na lasce lub do trzymania w ręku, które w przeciwieństwie do detektorów ultradźwiękowych, wykrycie i odległość przeszkody sygnalizują nie dźwiękiem, ale wibracją



Rys. 1.9. Urządzenie K-Sonar a) oraz b) Miniguide.

Źródło: archiwum autorów

- **Smart Finder i podobne** – akustyczne lokalizatory pomocne w orientacji, służące głównie do odnajdywania miejsc lub przedmiotów (np. po wyjściu z basenu lub jeziora - urządzenia wodoszczelne)



Rys. 1.10. Akustyczny lokalizator przedmiotów lub miejsc dla osób niewidomych SmartFinder – koszt ok. 150 pln.

Źródło: archiwum autorów

- **Teletact** - laserowy dalmierz o zakresach 15 i 6 m, który wykrywa krawężniki, schody (w górę i w dół), progi i inne nierówności, a także szyby i czarne obiekty, np. samochody.



Rys. 1.11. System dalmierza laserowego *Teletact* firmy *Laboratoire AimCotton* (Francja).

Źródło: archiwum autorów

Szczególnie interesujące są jednak urządzenia stanowiące kompletne systemy elektronicznej laski. W tym segmencie nie ma jednak wielu wdrożonych produktów, a te aktualnie dostępne, cechują się niestety bardzo wysoką ceną. Przykładem takich rozwiązań mogą być elektroniczna laska *UltraCane* firmy *UltraCane* oraz elektroniczna laska *iSONIC* firmy *Primo Co Ltd*.

1. Elektroniczna laska *UltraCane*



Rys. 1.12. Wygląd inteligentnego uchwytu elektronicznej laski *UltraCane*.

Źródło: www.ultracane.com

Główne funkcjonalności laski *UltraCane*:

- Dwie nastawy odległości detekcji – 2m lub 4m
- Szerokość pola detekcji 80cm
- wibracyjne powiadomienie o lokalizacji przeszkody w przestrzeni
- zmiana częstotliwości wibracji przy zbliżaniu się do przeszkody

Koszt laski *UltraCane*: ok. 3000 pln

2. Elektroniczna laska *iSONIC*



Rys. 1.13. Wygląd uchwytu elektronicznej laski *iSONIC* firmy *Primo Co Ltd.*

Źródło: archiwum autora

Główne funkcjonalności laski *iSONIC*:

- Zasięg poziomy detekcji – 2 m;
- Kąt detekcji: w pionie: 50° , w poziomie: 25° ;
- wibracyjne powiadomienie o lokalizacji przeszkody w przestrzeni;
- zmiana częstotliwości wibracji przy zbliżaniu się do przeszkody;
- rozpoznawanie koloru przeszkody z informacją głosową;
- rozpoznawanie natężenia oświetlenia w otoczeniu z informacją głosową;
- czas pracy: w trybie standy – do 70h, w trybie pracy: do 6h

Koszt laski iSonic: ok. 1600 pln

3. Elektroniczna laska SmartCane, IIT-Dehli

Doskonałą alternatywą cenową dla dwóch opisanych powyżej produktów rynkowych jest konstrukcja indyjska elektronicznej laski *SmartCane* powstała na uczelni technicznej w Dehli (Indie). Produkt z założenia miał być dostępny cenowo, przy zachowaniu niezbędnych funkcjonalności. Koszt laski obecnie to w przeliczeniu ok. 200 zł. Niestety produkt jest głównie dystrybuowany w Indiach.



Rys. 1.14. Wygląd laski *SmartCane* IIT-Dehli – widoczne detektory ultradźwiękowe.

Źródło: archiwum autora

Główne funkcjonalności laski SmartCane:

- jeden zasięg detekcji ok. 3m;
- czas pracy na baterii – 10h;
- wibracyjne powiadomienie o lokalizacji przeszkody w przestrzeni;
- zmiana częstotliwości wibracji przy zbliżaniu się do przeszkody.



Rys. 1.15. LaskaSmartCane IIT-Dehli w użyciu.

Źródło: *archiwum autora*

Rozdział 2

Założenia projektowe systemu 3D.CANE

Zaprojektowany przez autorów **system elektronicznej laski 3D.CANE** realizuje trójwymiarową analizę środowiska pracy za pomocą wielokierunkowego skanera ultradźwiękowego dostarczając osobie niewidomej czytelnej informacji o potencjalnych przeszkołach w jej bezpośrednim otoczeniu. Ponadto system zapewnia wielowymiarową komunikację z użytkownikiem za pomocą akustycznych komunikatów słownych oraz informacji taktycznych z wykorzystaniem sygnalizacji vibracyjnej. Dodatkowe poczucie bezpieczeństwa użytkownikowi zapewnia stały dostęp do informacji o godzinie, akustycznej informacji o aktualnym położeniu elektronicznej laski jak również akustyczny alarm upadkowy oraz antynapadowy.

1. Kryteria optymalizacji projektu

Analizując mocne i słabe strony dotychczas funkcjonujących rozwiązań układowych w zakresie elektronicznych lasek, dokonano wyboru koncepcji realizacyjnej projektu systemu elektronicznej laski 3D.CANE, przy założeniu następujących kryteriów optymalizacyjnych projektu:

I. Kryterium funkcjonalności:

- precyzyjna lokalizacja przeszkoł z wykorzystaniem tanich i niezawodnych przetworników ultradźwiękowych
- dwie drogi sygnalizacji stanu otoczenia/urządzenia: akustyczna i vibracyjna.
- implementacja funkcji bezpieczeństwa: alarm napadowy, alarm upadkowy, oświetlenie zmierzchowe;
- implementacja funkcji zegarka / kalendarza

II. Kryterium ekonomiczności:

- możliwe niskie koszty produkcji seryjnej urządzenia
- możliwe niskie koszty eksploatacji urządzenia;
- możliwie niska awaryjność części mechanicznej i elektronicznej;
- konstrukcja modułowa - łatwość ewentualnej naprawy/ upgradeu urządzenia;

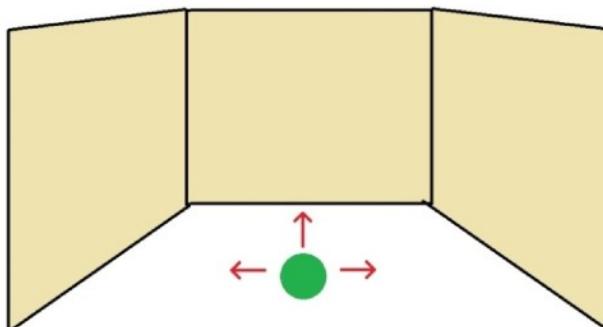
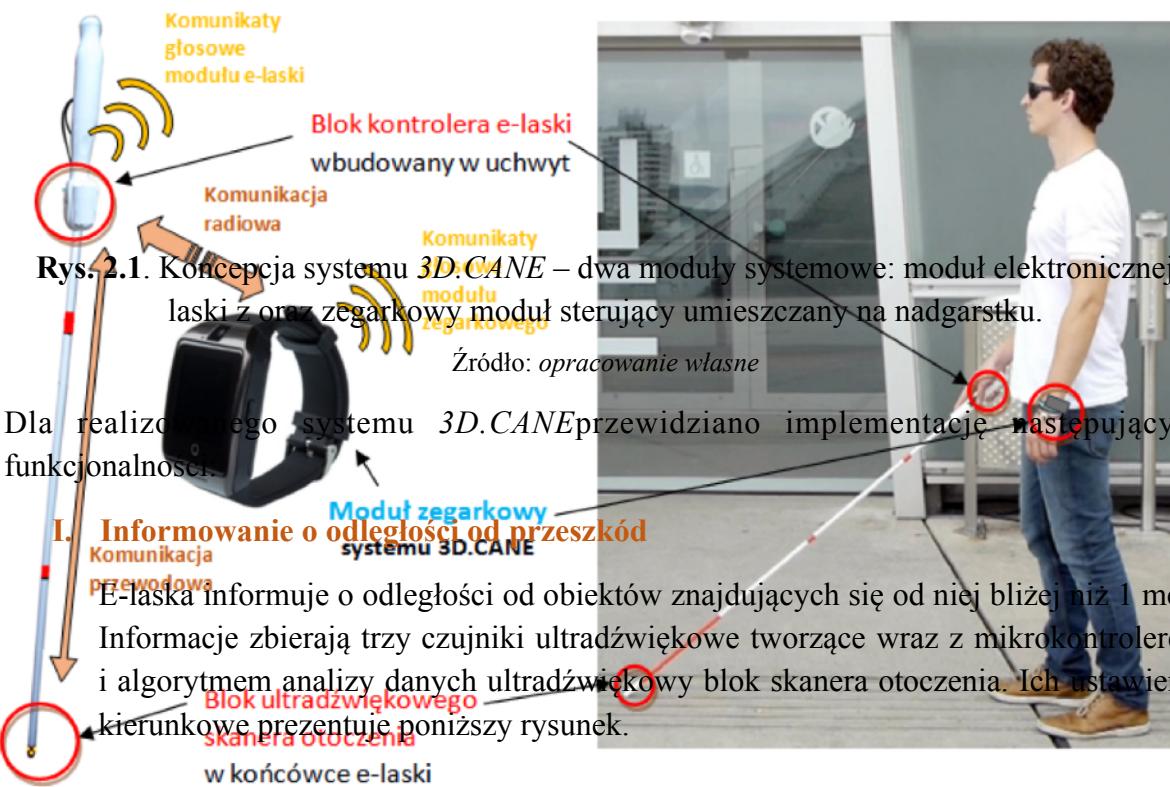
III. Kryterium ergonomii:

- prostota i intuicyjność obsługi urządzenia;
- kompaktowość i mobilność urządzenia;
- łatwa wymienialność ogniw zasilających;

2. Koncepcja i założenia funkcjonalne systemu

System elektronicznej laski **3D.CANE** składa się z dwóch głównych komponentów: **modułu elektronicznej laski** (dalej: *e-laska*) oraz montowanego na nadgarstku **modułu zegarkowego**. Każdy modułsystemu może funkcjonować oddziennie i niezależnie, jednakże gdy znajdą się we wzajemnym zasięgu, łączą się ze sobą i współpracując rozszerzają swoje funkcjonalności tworząc system.E-laska, będąca głównym elementem naszego systemu, ma za zadanie ułatwić poruszanie się osobą z zaburzeniami sensoryczno-motorycznymi narządu wzroku, poprzez informowanie o odległości od znajdujących się od niej przeszkód. Moduł zegarkowy oprócz standardowej funkcji komunikatów głosowych o aktualnej godzinie i dacie, pozwala na lokalizację dźwiękową położenia modułu e-laski w przypadku np. jej upuszczenia lub zagubienia.

Moduł e-laski systemu 3D.CANE



Rys. 2.2. Rozmieszczenie i kierunki skanowania dla trzech czujek ultradźwiękowych umieszczonych w końcówce modułu e-laski.

Žródło: opracowanie własne

II. Komunikacja z użytkownikiem

Komunikacja z użytkownikiem została zrealizowana w postaci komunikatów głosowych, czyli odtwarzaniu zapisanych przez nas w pamięci głosów.

- informacja głosowa o dacie i godzinie
- informacja o stanie naładowania akumulatora

III. Alarmowanie o niebezpieczeństwie

- wykrycie upadku użytkownika i uruchomienie alarmu dźwiękowego,

IV. Lokalizacja położenia e-laski

- wykrycie upadku e-laski i uruchomienie w niej sygnału dźwiękowego dla lokalizacji jej aktualnego położenia.

V. Detekcja zmierzchu i oświetlenie nocne e-laski

Moduł e-laski wyposażony w detektor zmierzchowy oraz automatyczny włącznik oświetlenia kijka, aby zwiększyć widoczność i bezpieczeństwa osoby użytkującej kijek przez innych.

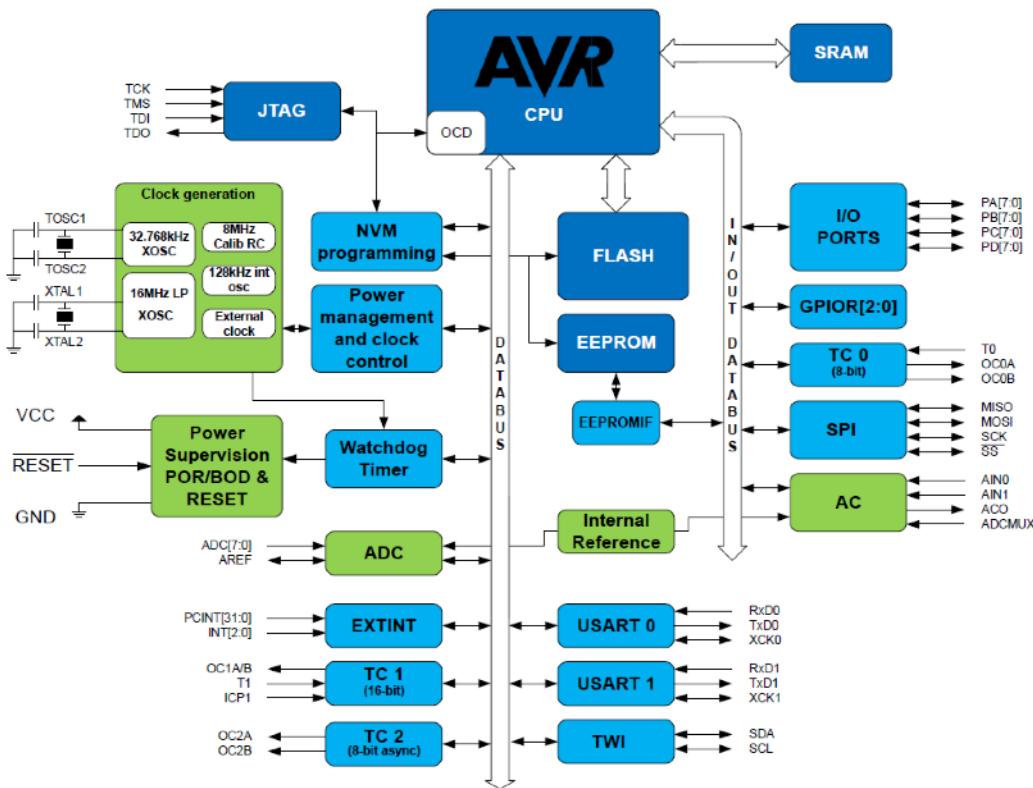
VI. Ergonomia i funkcjonalność konstrukcji systemu

- e-laska nie różni się znacząco wyglądem od tradycyjnej laski dla niewidomych
- dzięki specjalnemu wyprofilowaniu uchwytu e-laski oraz gumowanej powierzchni chwytu e-laskę trzyma się pewnie i stabilnie,
- nadgarstkowy moduł zegarkowy mimo zaimplementowanych funkcji głosowych zachowuje rozmiary standardowego smartwatcha.

3. Platforma programowo-sprzętowa

Dobierając elementy do platformy sprzętowej zwróciliśmy uwagę na dostępność podzespołów elektronicznych oraz ich cenę, dzięki czemu udało się uzyskać produkt o rozbudowanych funkcjonalnościach przy zachowaniu przystępnej ceny.

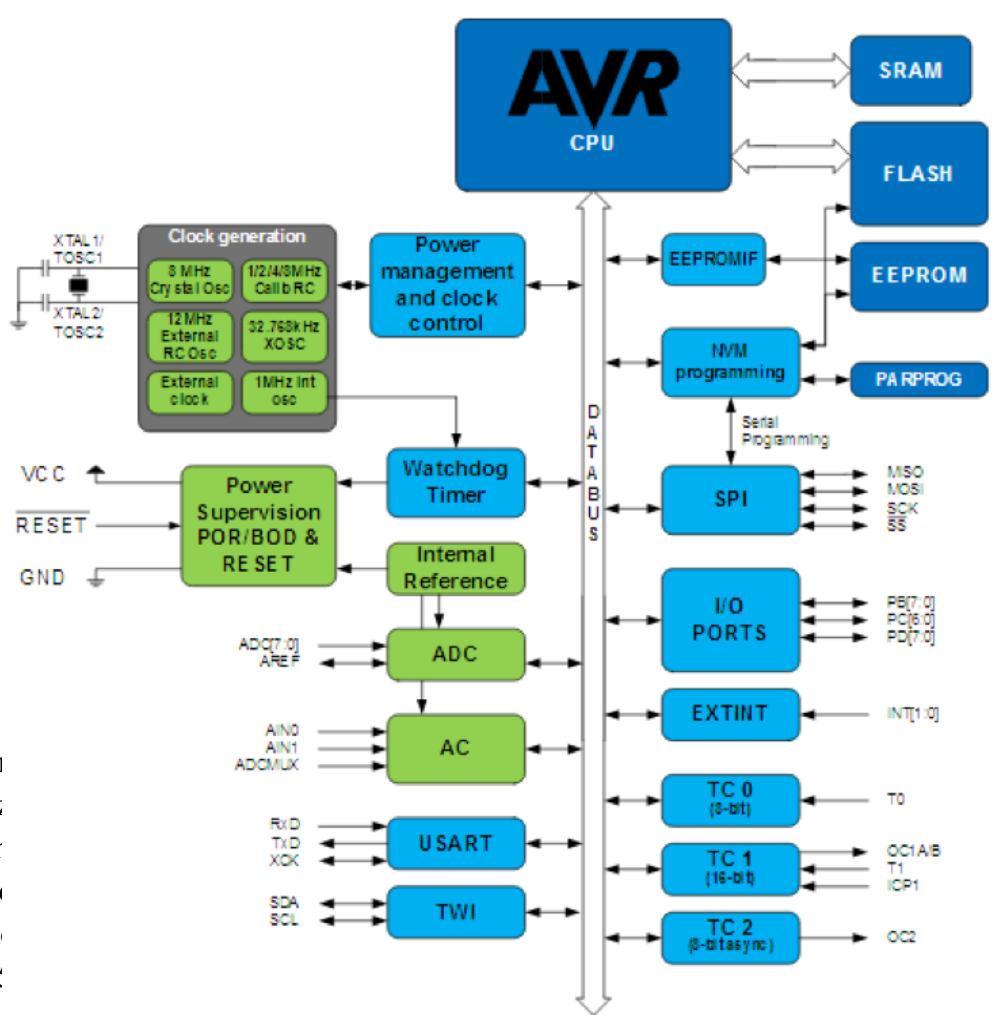
Sercem systemu 3D.CANE odpowiadającym za realizację funkcjonalności oraz koordynację pracy modułu elektronicznej laski oraz zegarkowego modułu sterującego są dwa 8-bitowe mikrokontrolery AVR firmy ATMEL rodziny ATmega. Moduł elektronicznej laski oparto na bardziej rozbudowanej wersji mikrokontrolera ATmega – układzie ATmega644. Architekturę wewnętrzną układu przedstawiono na rys. 2.3.

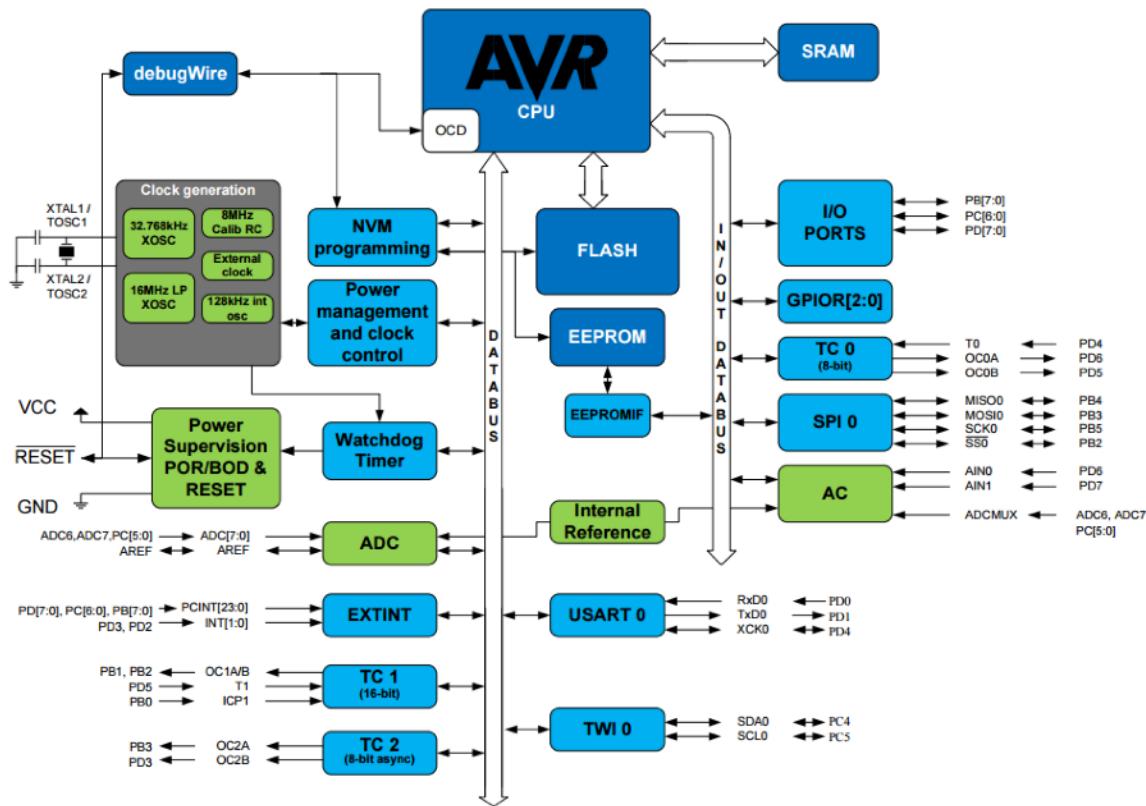


Rys. 2.3. Schemat blokowy mikrokontrolera ATmega644PA zastosowanego w module elektronicznej laski umieszczonym w uchwycie.

Źródło: nota katalogowa ATmega644PA

Mikrokontroler ten stanowi główny układ odpowiadający zarówno za dwukierunkową komunikację z modułem zegarkowym jak również za kontrolę pracy modułu ultradźwiękowego skanera otoczenia. Informacje o stanie otoczenia system otrzymuje dzięki komunikacji układu umieszczonego w uchwycie laski z analizującym sygnały z czujników ultradźwiękowych mikrokontrolerem ATmega8 (rys.2.4) sterującego pracę bloku ultradźwiękowego skanera otoczenia umieszczonego w końcówce e-laski.





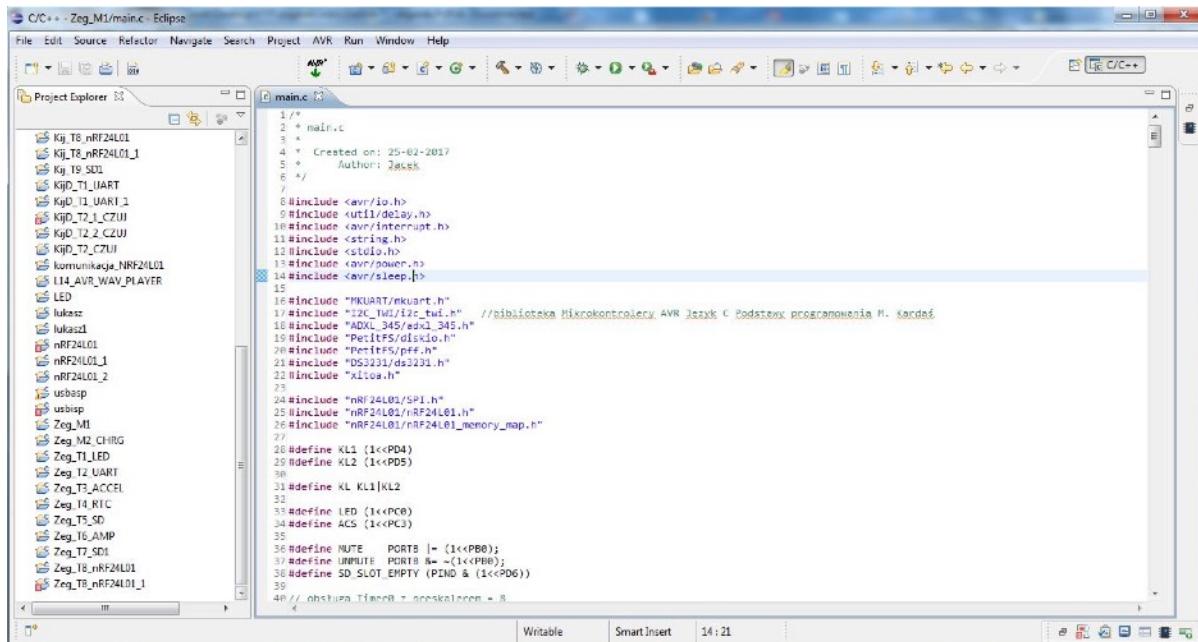
Rys. 2.5. Schemat blokowy mikrokontrolera ATmega328P.

Źródło: nota katalogowa ATmega328P.

Ponadto w projekcie zastosowano szereg dedykowanych układów dla realizacji opisanych funkcjonalności systemu 3D.CANE:

- Układ **ADXL325** jako cyfrowy akcelerometr,
- Moduł z układem **NRF24L01** do komunikacji radiowej,
- Tranzystory **BC847** jako elementy sterujące silnikami vibracyjnymi,
- Karta pamięci **microSD** do magazynowania nagrani audio,
- Układ **TP4056** jako ładowarka do ogniw li-ion,
- Układ **LM4871** jako wzmacniacz audio klasy D,
- Układ **DS3231** jako zegar czasu rzeczywistego,
- Moduły **US-015** jako mierniki odległości.

Programowanie modułów systemu zrealizowano z poziomu środowiska *Eclipse Indigo* w systemie *Windows 7*(rys. 2.6). Do stworzenia oprogramowania użyto języka C dla mikrokontrolerów AVR.



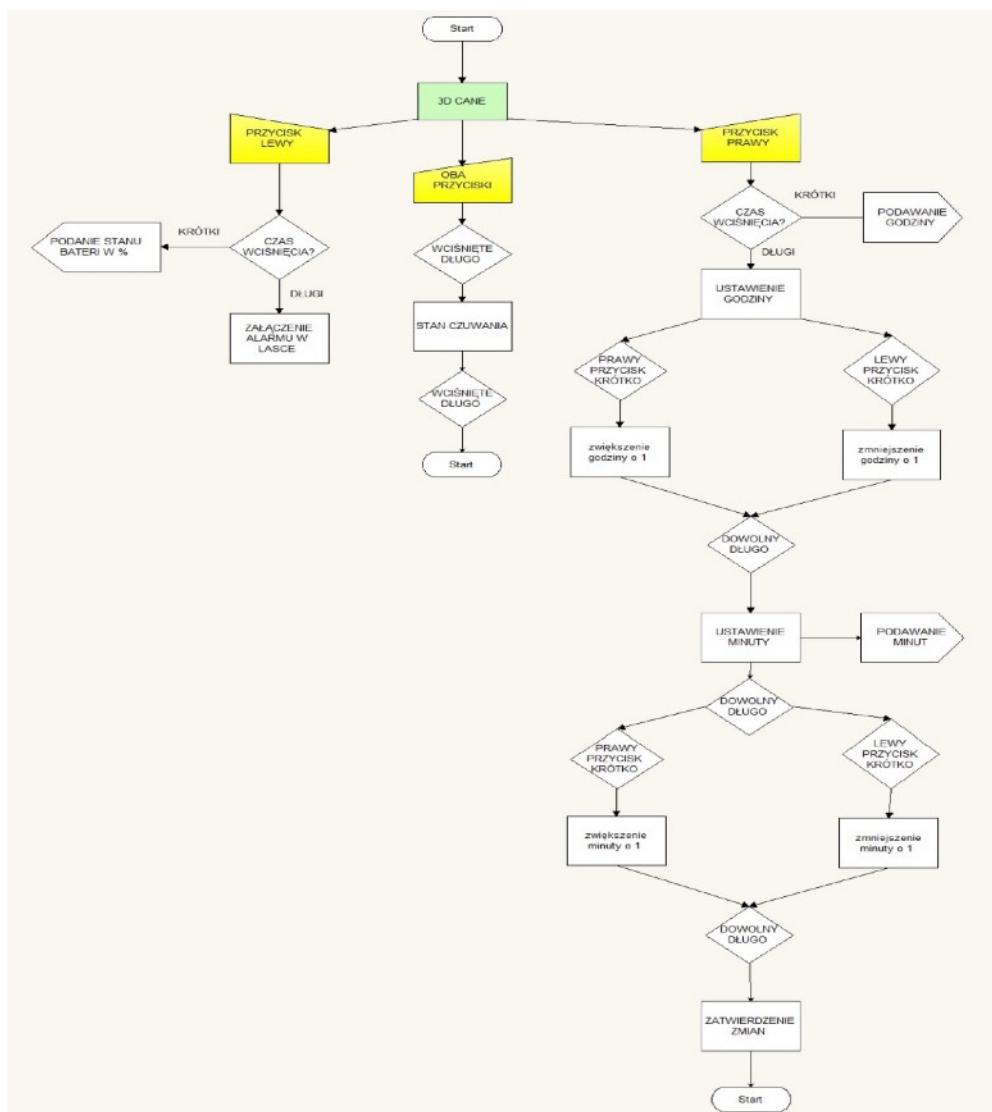
Rys. 2.6. Okno robocze wykorzystanego środowiska Eclipse Indigo w systemie Windows 7.

Źródło: opracowanie własne

Rozdział 3

Opis funkcjonalny systemu 3D.CANE

Zaprojektowany system wsparcia osób niedowidzących i niewidomych zawiera współpracujące ze sobą moduły. W rozdziale opisano szczegółowo ich budowę i funkcjonowanie.



Rys. 3.1. Schemat blokowy systemu 3D.CANE.

Źródło: opracowanie własne

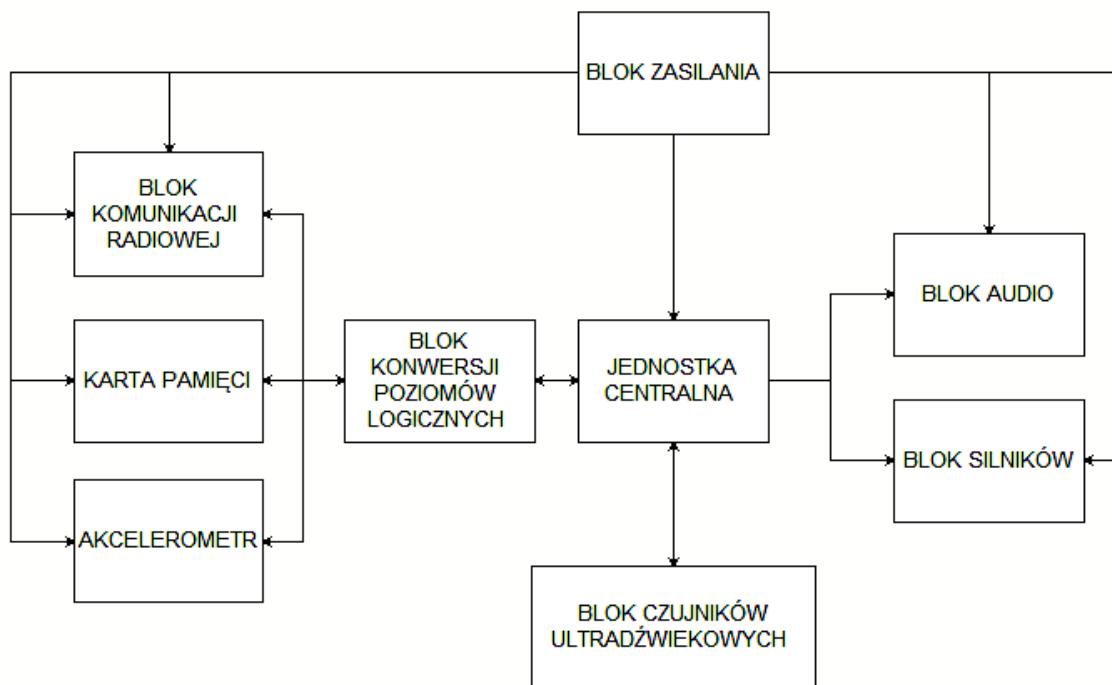
III.1. Moduł elektronicznej laski

Elektroniczna laska w naszym wykonaniu to kompletny system elektroniczny zamknięty w zaprojektowanej przez nas obudowie. Dzięki specjalnie dostosowanej konstrukcji układu oraz przemyślanym rozwiązaniami programistycznym układ stanowi spójną całość tworzącą urządzenie spełniające nasze oczekiwania.

III.1.1. Opis elektronicznych bloków funkcjonalnych

W budowie modułu e-laski można wyróżnić dziewięć zasadniczych bloków funkcjonalnych:

1. *blok zasilania*,
 2. *jednostka centralna modułu e-laski*,
 3. *blok czujników ultradźwiękowych*,
 4. *blok konwersji poziomów logicznych*,
 5. *blok komunikacji radiowej*,
 6. *karta pamięci*,
 7. *akcelerometr*,
 8. *blok audio* oraz
 9. *blok silników vibracyjnych*.
- (rys.3.4)

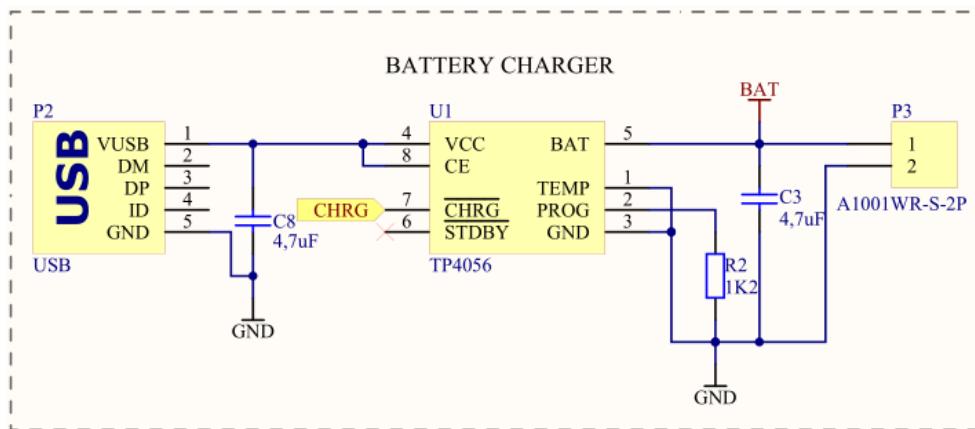


Rys. 3.4. Schemat blokowy modułu e-laski systemu 3D.CANE.

Źródło: opracowanie własne, Diagram Designer

1. Blok zasilania

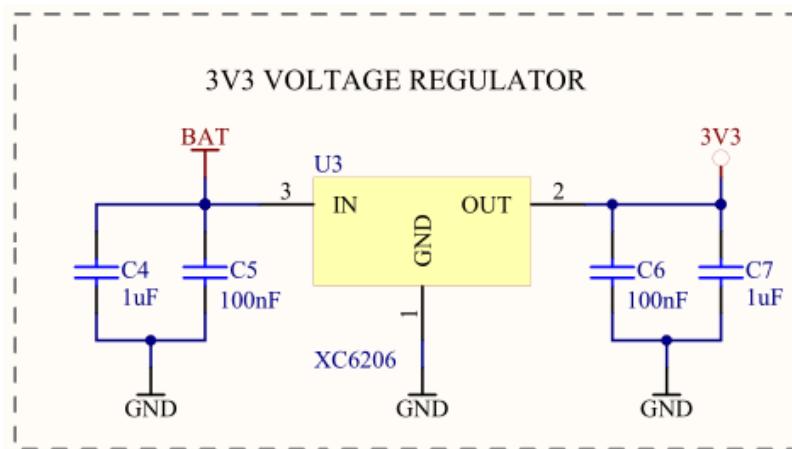
Źródłem zasilania modułu e-laski jest popularny akumulator litowo-jonowy typ 18650 o napięciu nominalnym 3,7V. Współpracuje z nim bardzo kompaktowa ładowarka zbudowana na jednym układzie scalonym TP4056. Ładowanie następuje poprzez podłączenie zewnętrznego zasilacza przez gniazdo micro USB wyrowadzone w obudowie uchwytu.



Rys. 3.5. Schemat ideowy układu ładowania akumulatora.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Ponieważ niektóre zastosowane w konstrukcji modułu e-laski układy wymagają dostarczenia napięcia stałego o wartości 3,3V, w układzie zastosowano stabilizator liniowy na napięcie 3,3V. Ponieważ autorom zależało na zastosowaniu jak najmniejszego układu cechującego się dobrymi parametrami. Wybór padł na tani układ XC6206 w obudowie SOT-23.

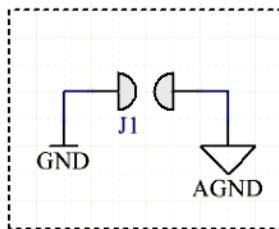


Rys. 3.6. Schemat ideowy stabilizatora napięcia 3,3V.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Ponieważ w module e-laski współpracują ze sobą bloki analogowe i cyfrowe, zasilane ze wspólnego źródła akumulatorowego postanowiono rozdzielić masę układu na masę analogową i masę cyfrową, by ograniczyć przedostawianie się zakłóceń prądowych generowanych przez pracujące bloki cyfrowe do części analogowej. W szczególności zakłócenia mogłyby wpływać niekorzystnie na jakość odtwarzanych komunikatów

dźwiękowych. Rozdzielenie to następuje zaraz za złączem akumulatora. Zworka w procesie montażu została zwarta za pomocą niewielkiej ilości spoiwa lutowniczego.



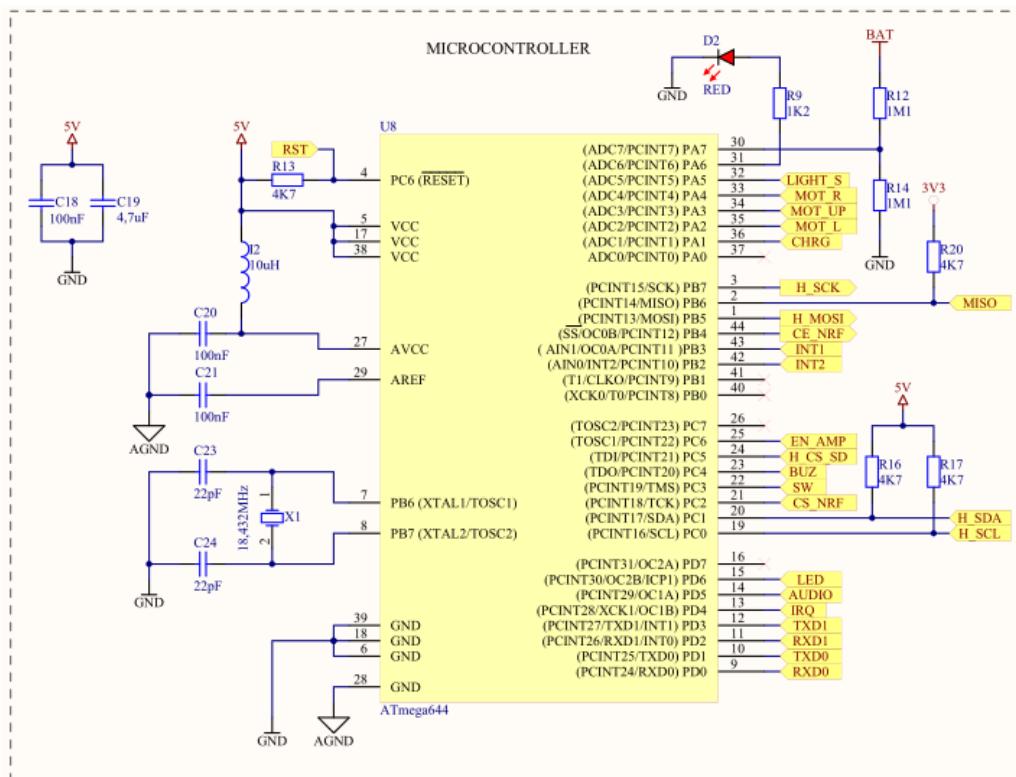
Rys. 3.7. Rozdzielenie mas na masę analogową i masę cyfrową.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

2. Jednostka centralna modulu e-laski

Jednostka centralna, czyli "serce" umieszczonego w uchwycie e-laski jej kontrolera, stanowi 8-bitowy mikrokontroler AVR zaprojektowany przez firmę Atmel. Jest on zbudowany w oparciu o architekturę RISC – czyli ze zredukowaną liczbą instrukcji. Układ ten posiada dwa sprzętowe interfejsy UART co szczególnie pomaga przy programowaniu. Jeden z nich został wykorzystany do komunikacji z układem czujników ultradźwiękowych, a drugi posłużył do debugowania.

Dodatkowo "PA" w nazwie mikrokontrolera oznacza, że posiada on funkcję *picoPower* dzięki której można dodatkowo oszczędzać energię akumulatora. Wybrana obudowa mikrokontrolera to TQFP44. Nie jest ona mała jak na wymiary naszego urządzenia, lecz układ ten jest łatwo dostępny i posiada wystarczającą liczbę programowalnych linii portów wejścia/wyjścia niezbędnych do pracy w naszym urządzeniu.



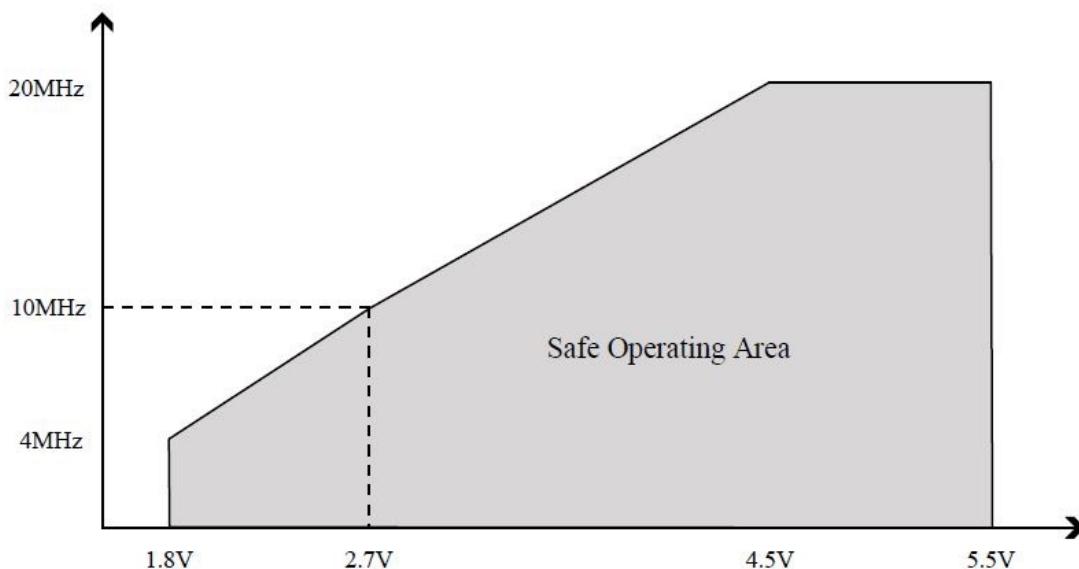
Rys. 3.8. Schemat ideowy jednostki centralnej e-laski.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Jak widać na powyższym schemacie wybrany rezonator kwarcowy odznacza się częstotliwością drgań równą 18,432MHz. Taka częstotliwość taktowania mikrokontrolera została wymuszona zapewnieniem optymalnej jakości przetwarzanego dźwięku.

W tej części schematu zaimplementowano także funkcję pomiaru napięcia akumulatora, a właściwie dzielik napięcia akumulatora. Dzieli on to napięcie przez 2 dzięki czemu przy pełnym naładowaniu na wyjściu dzielnika będzie napięcie 2,1V. Wewnętrzne napięcie odniesienia wynosi 2,56V lub 1,1V. W projekcie wybrano wyższą wartość napięcia źródła.

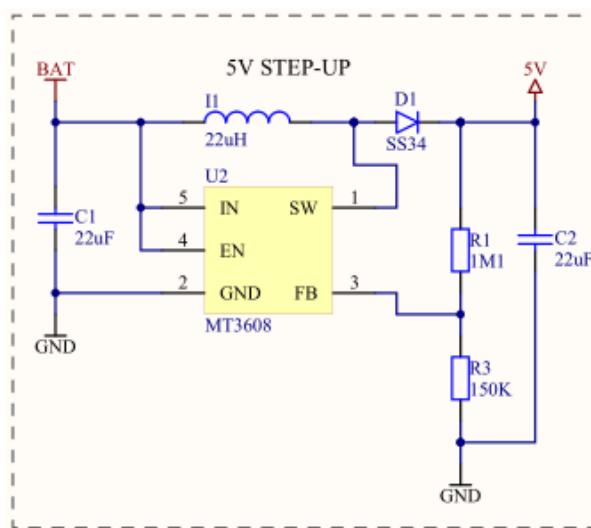
Zastosowany w bloku jednostki centralnej mikrokontroler ATmega644 ma za zadanie m.in. odtwarzanie dźwięków z karty pamięci microSD. Aby uzyskać bardzo dobrą jakość dźwięku należało taktować mikrokontroler częstotliwością większą od 12MHz.



Rys. 3.9. Wykres obrazujący maksymalną częstotliwość taktowania przy danym napięciu zasilającym mikrokontroler ATmega644PA.

Źródło: nota katalogowa układu ATmega644PA

Niestety wybrany mikrokontroler ma ograniczenie sprzętowe nie gwarantujące pewnej pracy układu przy napięciu zasilania równym 3,3V (rys.3.9). Takie napięcie byłoby najwygodniejsze, pozwoliłoby bowiem uniknąć stosowania układu konwersji poziomów logicznych z 5V do 3,3V dla niektórych współpracujących z mikrokontrolerem układów. Ponieważ jednak dodatkowo wykorzystane w projekcie czujniki ultradźwiękowe US-015 wymagają napięcia zasilania równego 5V, jedynym słusznym rozwiązaniem było zastosowanie w module e-laski przetwornicy DC-DC podwyższającej napięcie akumulatora do 5V dla zasilania również mikrokontrolera.

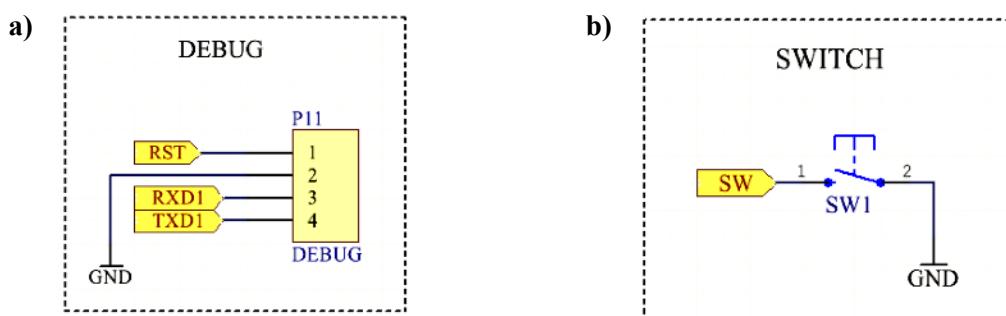


Rys. 3.10. Schemat ideowy przetwornicy podwyższającej napięcie do 5V DC.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Układ MT3608 to sterownik przetwornicy zamknięty w bardzo małej obudowie SOT23-6, posiadającym wbudowany klucz tranzystorowy. Dzięki takiemu rozwiążaniu jedynymi wymaganymi elementami zewnętrznymi są cewka, dioda, dzielnik rezystorowy oraz kondensatory filtrujące.

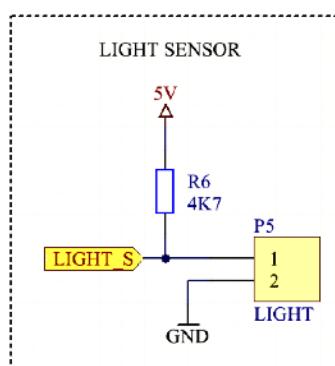
Blok jednostki centralnej wyposażono również w złącze do debugowania, pozwalające na usprawnienie procedur testowania urządzenia i jego funkcjonalności (rys.3.11a). Wyborem funkcji kontrolera e-laski steruje się za pomocą wielofunkcyjnego przycisku monostabilnego umieszczonego na froncie uchwytu e-laski (rys.3.11b)



Rys. 3.11. Schemat ideoowy podłączenia złącza komunikacyjnego oraz b) przycisku sterującego.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

Moduł e-laski wyposażony został dodatkowo w czujnik oświetlenia zewnętrznego sterujący automatycznym załączaniem oświetlenia sygnalizacyjnego wbudowanego w moduł e-laski. Rozwiązanie to ma na celu zapewnić właściwą widoczność osoby niewidomej dla osób trzecich po zmierzchu lub w złych warunkach oświetleniowych. Rolę czujnika oświetlenia pełni fotorezystor zmieniający wartość swojej rezystancji proporcjonalnie do niego promieniowania światelnego, w naszym przypadku słonecznego.



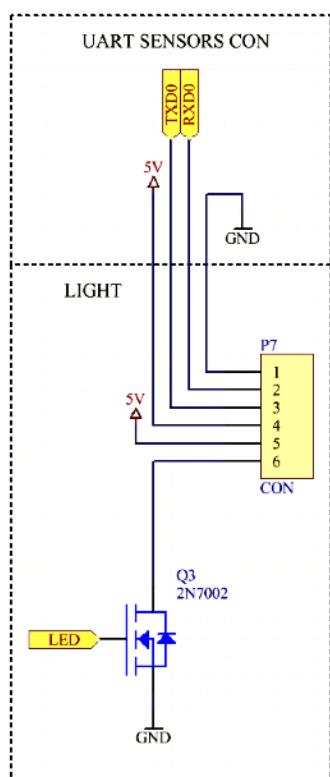
Rys. 3.12. Schemat ideoowy podłączenia czujnika światła.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

Fotorezystor wraz z widocznym na schemacie rezystorem tworzy dzielnik napięcia, które to napięcie jest mierzone przez mikrokontroler i na jego podstawie układ jest w stanie

automatycznie uznać, kiedy jest niedostatecznie jasno i w odpowiednim momencie uruchamia zewnętrzne oświetlenie pozycyjne.

Sterowanie blokiem diod mocy LED doświetlających laskę realizowane jest z wykorzystaniem tranzystora MOSFET poprzez 6-o pinowe złącze (rys. 3.13). To samo złącze zawiera podłączone linie dla komunikacji kontrolera e-laski z blokiem ultradźwiękowego skanera otoczenia poprzez sprzętowy interfejs UART mikrokontrolerów ATmega8 i ATmega 644.



Rys. 3.13. Schemat ideowy podłączenia 6-o pinowego złącza komunikacyjnego.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

3. Blok czujników ultradźwiękowych

Trzy czujniki ultradźwiękowe wraz z mikrokontrolerem sterującym tworzą trójosiowy ultradźwiękowy skaner otoczenia. Zastosowane czujniki ultradźwiękowe to moduły US-015.



Rys. 3.14. Wygląd modułu czujników ultradźwiękowych US015.

Źródło: opracowanie własne

Komunikacja z nimi następuje poprzez dwie linie sygnałowe: *trig* i *echo*. Aby rozpocząć pomiar należy podać na pin *trig* impuls napięciowy (stan wysoki 5 V) przez 10 μ s. Moduł dokonuje pomiaru odległości przy pomocy fali dźwiękowej o częstotliwości 40 KHz. Po dokonaniu pomiaru moduł zwraca sygnał, w którym długość stanu wysokiego jest zależna od zmierzonej odległości. Można ją obliczyć ze wzoru (3.1):

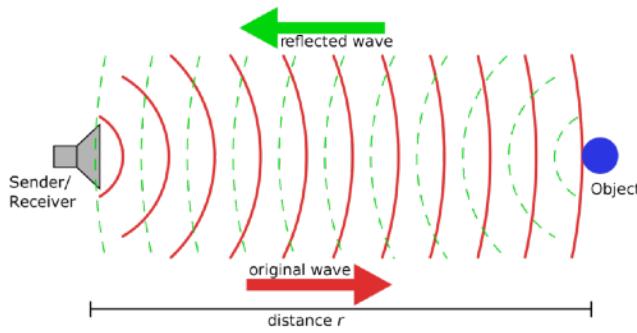
$$s = (t \times v) / 2 \quad (3.1)$$

gdzie:

t - czas trwania stanu wysokiego;

s - zmierzona długość;

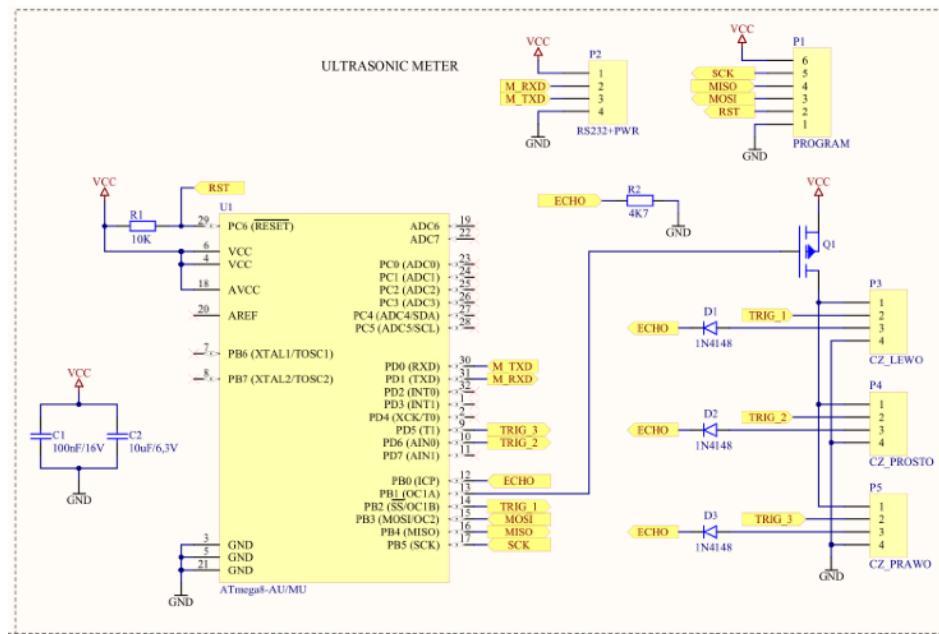
v - prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w powietrzu - 340 m/s.



Rys. 3.15. Schemat obrazujący działanie ultradźwiękowego miernika odległości.

Źródło:www.kerrywong.com

W związku z tym, że potrzebna była obsługa trzech czujników umieszczonych w dolnej części modułu e-laski pojawił się problem poprowadzenia znacznej ilości przewodów sygnałowych wewnętrz skóadanego trzonu e-laski.



Rys. 3.16. Schemat ideowy układu zarządzania czujnikami ultradźwiękowymi.

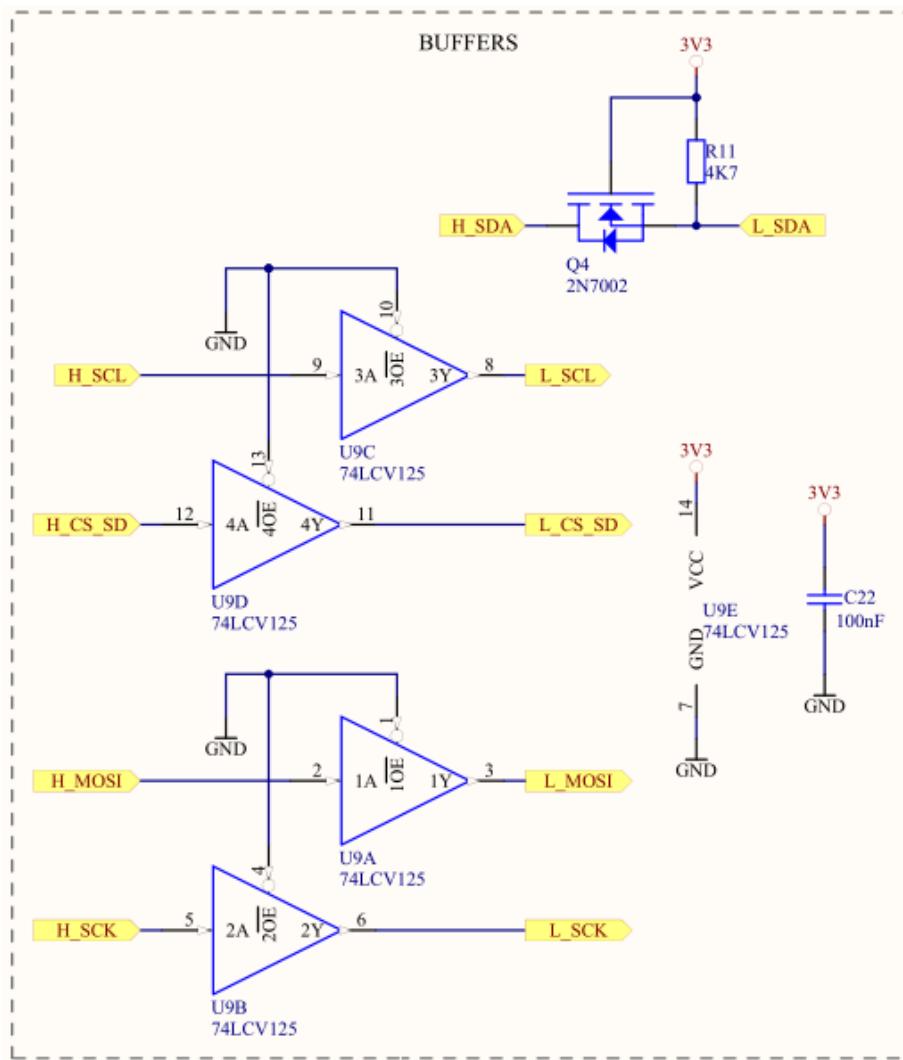
Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Jednym słusznym rozwiążaniem dla redukcji ilości wymaganych linii sygnałowych było wykonanie drugiej płytki drukowanej na której znalazły się drugi mikrokontroler, tym razem obsługujący tylko czujniki ultradźwiękowe. Jest to niewielki mikrokontroler ATmega8 z rodziny AVR do którego zadań należy dokonywanie pomiarów i zwracanie wyników do bloku kontrolera-laski. Do komunikacji z nim służy sprzętowa magistrala UART, która jest dość odporna na zakłócenia i pozwala przesyłać informacje w dwóch kierunkach na duże odległości, w naszym przypadku około 1 metr. Gdy jednostka centralna kontrolera-laski wyśle prośbę o dane z czujników mikrokontroler dokonuje pomiaru i zwraca wynik w centymetrach.

Dzięki zastosowaniu dodatkowego mikrokontrolera do obsługi czujników ilość przewodów niezbędnych do obsługi czujników zmniejszyła się do czterech: +5V, RXD, TXD, GND. Linie +5V i GND służą do zasilania czujników odległości oraz mikrokontrolera. Linie RXD oraz TXD służą do przesyłania danych.

4. Blok konwersji poziomów logicznych

Do prawidłowego działania niektórych układów wymagających niższego napięcia niż napięcie 5V DC zasilające mikrokontroler potrzebny był specjalny układ bufora/konwertera poziomów logicznych. Obniżały on napięcia sygnałów cyfrowych "pływących" od mikrokontrolera do karty pamięci, układu komunikacji radiowej i akcelerometru.



Rys. 3.17. Schemat ideowy układu konwertera poziomów logicznych 5V/3,3V.

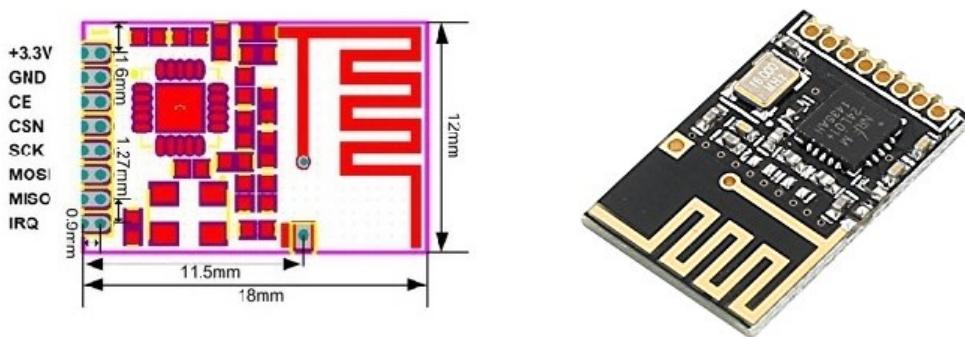
Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Z uwagi na bardzo ograniczone gabaryty płytka autorom zależało na jak najmniejszym skomplikowaniu układu i zastosowaniu możliwie najmniejszych gabarytowo podzespołów. Wybór padł na układ 74LVC125. Dodatkowo potrzebna była pojedyncza dwukierunkowa konwersja poziomu logicznego dla magistrali I2C na linii SDA do akcelerometru. W tym wypadku wystarczył prosty układ na jednym tranzystorze polowym. Symbole oznaczone z przodu literą "H" oznaczają linię po stronie wysokonapięciowej 5V, a "L" po stronie niskonapięciowej 3,3V.

3. Blok komunikacji radiowej

Dzięki komunikacji radiowej zegarek będzie mógł komunikować się z e-laską, dzięki czemu użytkownik w dowolnym momencie z zegarka będzie mógł uruchomić sygnalizację

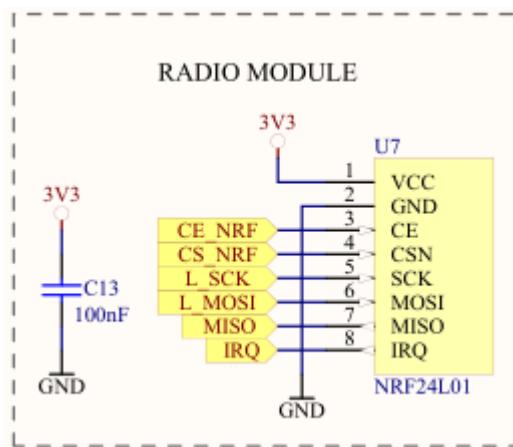
akustyczną w kijku, by łatwiej ją odnaleźć. Zastosowany moduł zawiera układ nRF24L01 wraz ze zintegrowaną anteną.



Rys. 3.18. Moduł komunikacji radiowej z układem nRF24L01 oraz pinout złącza sygnałowego.

Źródło: <http://elty.pl/>

Układ ten wykorzystuje łączność radiową na paśmie 2,4GHz. Komunikacja z modułem następuje przez magistralę SPI, której sprzętowa obsługa jest zaimplementowana w mikrokontrolerach AVR, czyli także użytych ATmega644 oraz ATmega328.



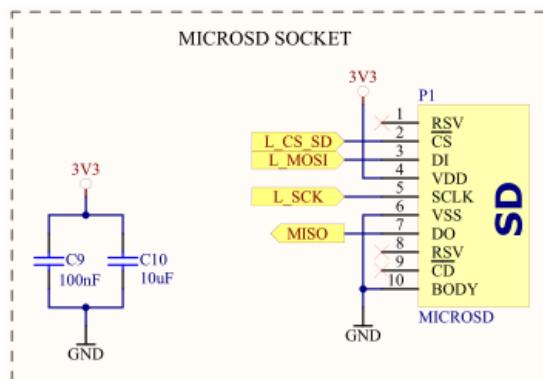
Rys. 3.19. Schemat ideowy układu komunikacji radiowej nRF24L01.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

4. Karta pamięci

Do przechowywania licznych nagrani głosowych potrzebna była spora ilość pamięci. Najłatwiej i najtaniej użyć do tego popularnych kart pamięci microSD. Dzięki takiemu rozwiązaniu nagrania mogą być w bardzo łatwy sposób przeniesione z pamięci komputera do naszego urządzenia. Na karcie pamięci zapisane zostały nagrania informujące o stanie naładowania akumulatora. Do takiej karty pamięci potrzeba było zamontować tylko

odpowiednie złącze, by płynnie przenosić dane w czasie testów. Schemat podłączenia takiego złącza widnieje poniżej.



Rys. 3.20. Schemat ideowy podłączenia karty pamięci *microSD*.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

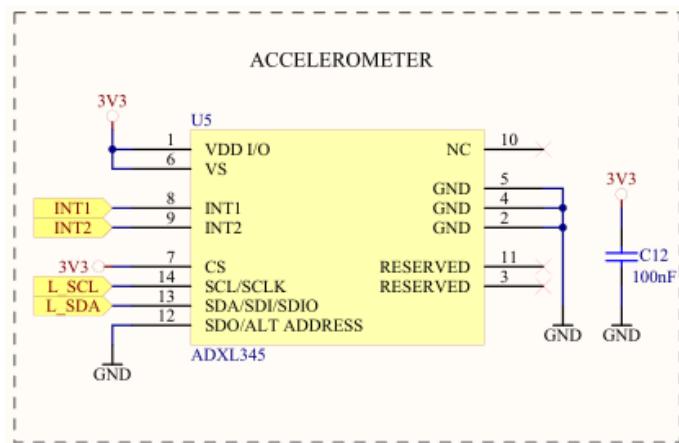
Sporej pojemności kondensator 10uF znajdujący się blisko złącza wspomaga zachowanie odpowiednich prądów podczas operacji na karcie.

5. Akcelerometr

Zastosowany w module e-laski akcelerometr spełnia w projekcie dwa kluczowe zadania:

- wykrywa upadek kijka;
- pomaga w nauce prawidłowego poruszania się z e-laską.

Układ scalony ADXL345 to 3-osiowy akcelerometr o wysokiej rozdzielczości 13-bit. Dzięki wbudowanej sprzętowej obsłudze wykrywania spadku swobodnego układ jest w stanie wykryć taki upadek i uruchomić sygnał dźwiękowy, który ma pomóc w odnalezieniu i uchwyceniu urządzenia. Dzięki zintegrowanemu blokowi pomiaru przyspieszeń układ jest w stanie wykryć nadmierne odchylenie od pionu i poinformować o tym dźwiękowo, by użytkownik prawidłowo korzystał z e-laski.



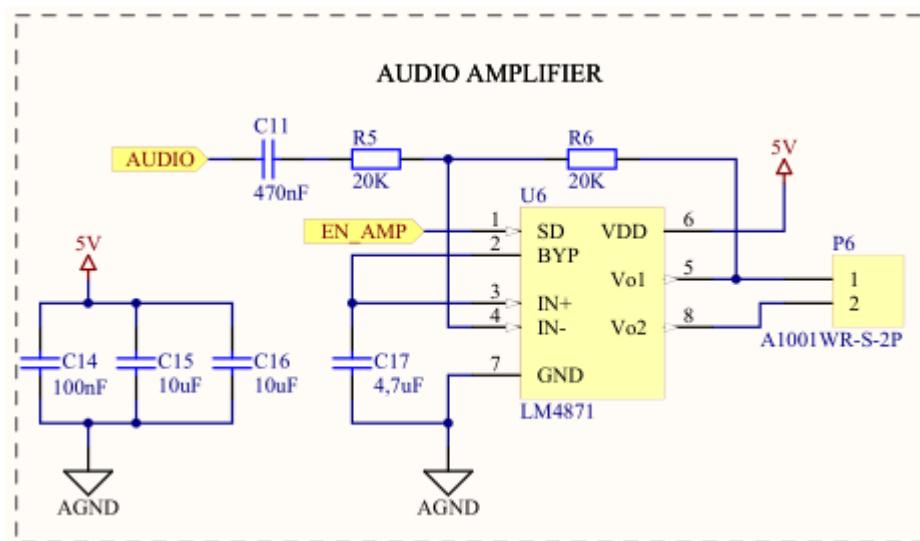
Rys. 3.21. Schemat ideowy podłączenia akcelerometru.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Dzięki bardzo małej obudowie LGA-14 układ nie zajmuje dużo miejsca.

8. Blok audio

W prezentowanej e-lasce umieszczono głośnik, który służy do komunikacji urządzenia z użytkownikiem. Dzięki niemu osoba niewidoma lub słabowidząca dowie się informacji na temat: stanu naładowania akumulatora lub stanu ładowania urządzenia. Informacja o dźwięku jest odczytywana z karty pamięci microSD przez mikrokontroler, dekodowana, a następnie modulowany za pomocą sprzętowej obsługi PWM.



Rys. 3.22. Schemat ideowy wzmacniacza audio.

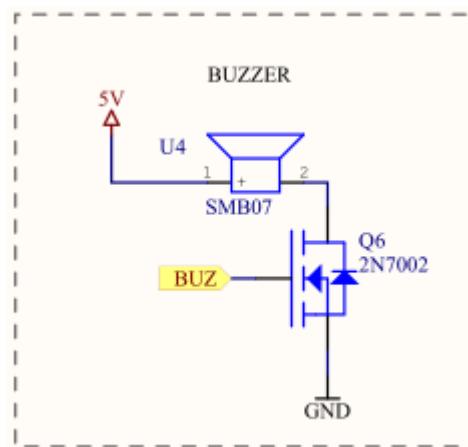
Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Jest to bardzo proste rozwiązanie, lecz w zupełności wystarczające na potrzeby tego projektu. Aby zapewnić odpowiednią głośność, a co za tym idzie czytelność komunikatów, trzeba było zastosować zewnętrzny wzmacniacz sygnału audio. Zastosowany wzmacniacz to układ LM4871, który wymaga minimalnej ilości zewnętrznych elementów. Dodatkowa funkcja tego układu to funkcja uśpienia. Podanie stanu wysokiego - "1" logicznej - na pin 1

oznaczony jako "SD" skutkuje wyłączeniem wzmacniacza. Dzięki tej funkcji można znacznie wydłużyć czas pracy urządzenia na jednym ładowaniu.

Jak widać na załączonym schemacie (rys.3.20) wzmacniacz jest zasilany z napięcia 5V, czyli z wyjścia przetwornicy STEP-UP. Służy to zwiększeniu mocy wyjściowej wzmacniacza z około 0,6W, jeśli zasilanie miałoby pochodzić bezpośrednio z akumulatora, do ok. 1,5W przy impedancji głośnika wynoszącej 8Ω , co przekłada się na większą głośność. Zastosowany głośnik ma właśnie impedancję wynoszącą 8Ω , a moc nominalną równą 1W. Dzięki odpowiedniej konfiguracji wzmacniacza uzyskano zapas mocy, więc przygotowaliśmy nagrania komunikatów w taki sposób, by moc wyjściowa wzmacniacza nie przekraczała 1W, co pozwoli na długą bezpieczną pracę głośnika.

Dodatkowym elementem jest buzzer, czyli brzęczyk z wbudowanym generatorem. Ma on w tym układzie bardzo istotną rolę. Jest on źródłem głośnych dźwięków alarmowych o wysokiej częstotliwości. Układ włącza buzzer w przypadku upadku użytkownika oraz na wezwanie przez zegarek w celu wskazania za pomocą dźwięku lokalizacji pozostawionego kijka. Podobnie jak w przypadku wzmacniacza audio, buzzer jest zasilany z napięcia 5V dla uzyskania większej mocy wyjściowej. Sterowanie przez tranzystor odciąża port mikrokontrolera, a także zmniejsza zakłócenia transmisji danych na płytce zmniejszając prąd zasilający mikrokontroler.

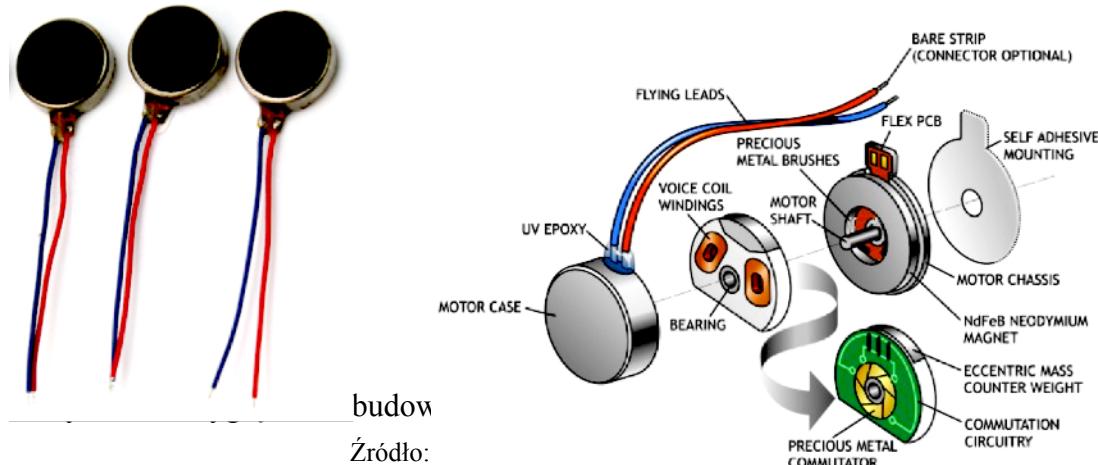


Rys. 3.23. Schemat ideowy podłączenia buzzera.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

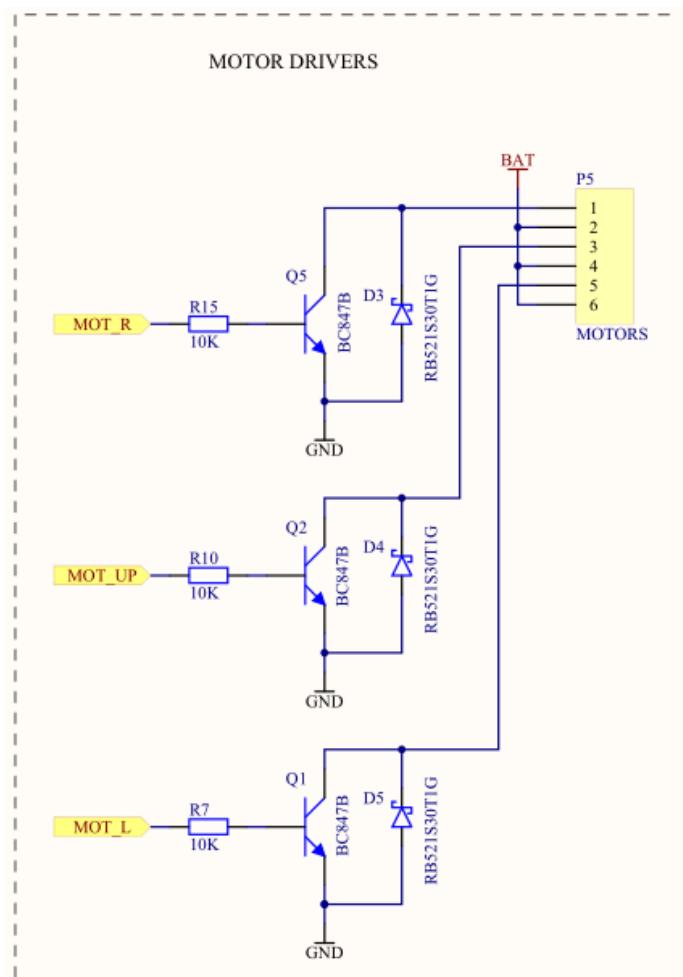
9. Blok komunikacji wibracyjnej

W uchwycie modułu e-laski zamontowano 3 silniki wibracyjne, które informują użytkownika o otaczających obiektach.



Silniczki rozmieszczone zostały w taki sposób, aby użytkownikowi było najłatwiej stwierdzić z której strony jest przeszkoda: po lewej stronie, z przodu (pod kciukiem) oraz z prawej strony. Działają one w 2 trybach:

- wibrowanie pulsacyjne – gdy odległość od obiektu wynosi między 1m do 0,5m,
- wibrowanie ciągłe - gdy odległość od obiektu jest mniejsza od 50cm.



Rys. 3.25. Schemat ideowy podłączenia silników vibracyjnych.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

Napięcie znamionowe silników wynosi 3V, lecz w naszym układzie nie było sensu stosować dodatkowego stabilizatora napięcia tylko na potrzeby silników, więc zmierzyliśmy prąd płynący przez silnik przy napięciu wskazanym przez producenta. Wynosił on 60mA, więc wyliczyliśmy jakie wzmacnienie prądowe musi mieć tranzystor bipolarny w układzie wspólnego emitera, by płynął właśnie taki prąd. Zgodnie z dokumentacją tranzystora BC547B wzmacnienie przy takim prądzie wynosi 110, a napięcie baza-emiter 0,75V, napięcie wyjściowe mikrokontrolera wynosi 4,8V.

Na podstawie tych danych wyliczyliśmy odpowiedni rezystor bazy.

$$I_B = (4,8V - 0,75V) / 10K = 4,05V / 10K = 405\mu A$$

$$I_C = 110 * 405\mu A \approx 45mA$$

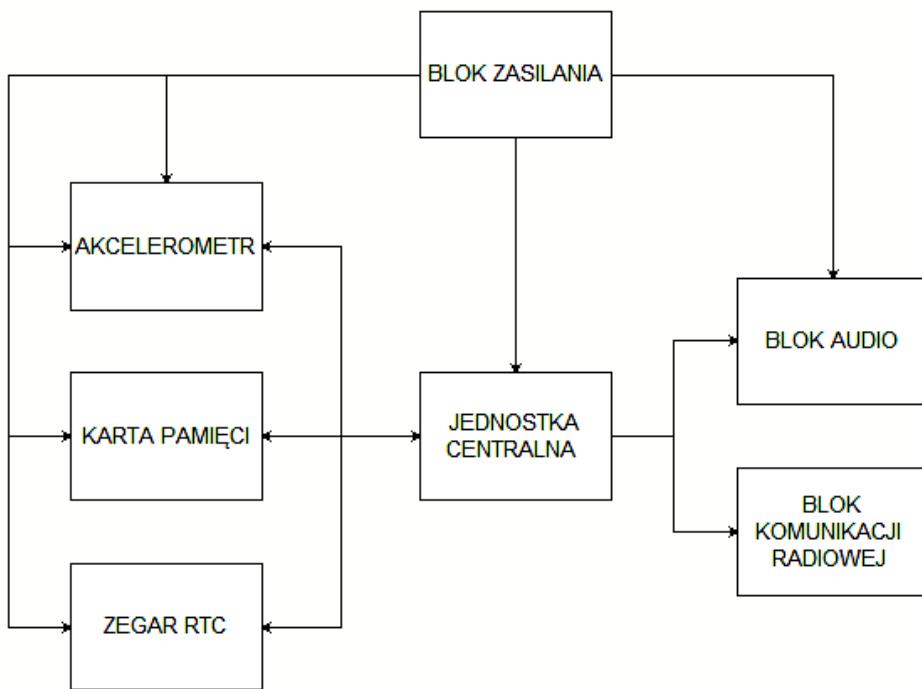
Uzyskany prąd wynosi 45mA. Diody Schottkiego spolaryzowane zaporowo służą do eliminacji szpilek i przepięć spowodowanych pracą elementów indukcyjnych silnika.

III.2. Moduł zegarkowy

Moduł zegarka składa się z mikrokontrolera połączonego z modułem radiowym, który to potrafi łączyć się z e-laską w celu wywołania alarmu. Ponadto na płytce znalazły się: układ RTC liczący czas rzeczywisty oraz karty pamięci na której uprzednio zostały zapisane nagrania audio. Układ odczytuje czas i odtwarza aktualną godzinę w zadanym momencie.

III.2.1. Opis elektronicznych bloków funkcjonalnych

W budowie sterującego modułu zegarkowego wykorzystano bloki funkcjonalne, w znacznej większości stanowiących bliźniacze rozwiązania układowe względem tych zastosowanych w rękojeści modułu elektronicznej laski. Do siedmiu podstawowych bloków funkcjonalnych modułu zegarkowego należą: 1. *blok zasilania*, 2. akcelerometr, 3. karta pamięci, 4. *zegar RTC*, 5. *jednostka centralna*, 6. *blok audio*, 7. *blok komunikacji radiowej*. (rys. 3.27)

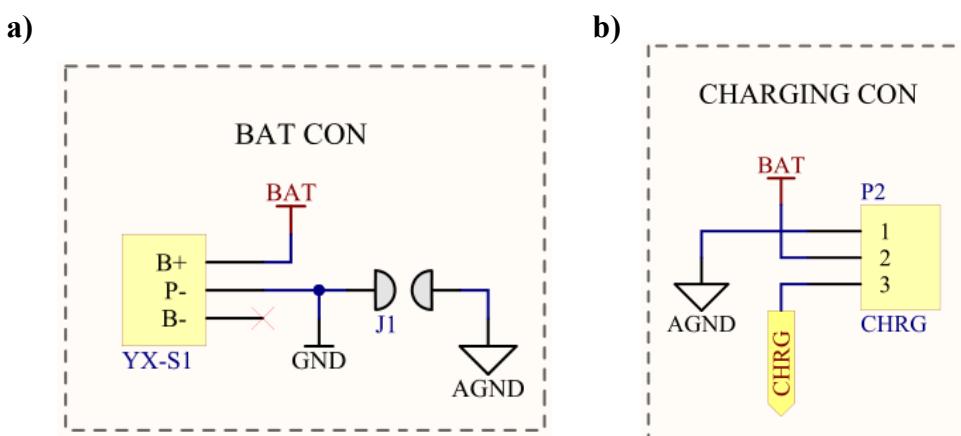


Rys. 3.27. Schemat ideowy podłączenia silników.

Źródło: opracowanie własne, Diagram Designer

1. Blok zasilania

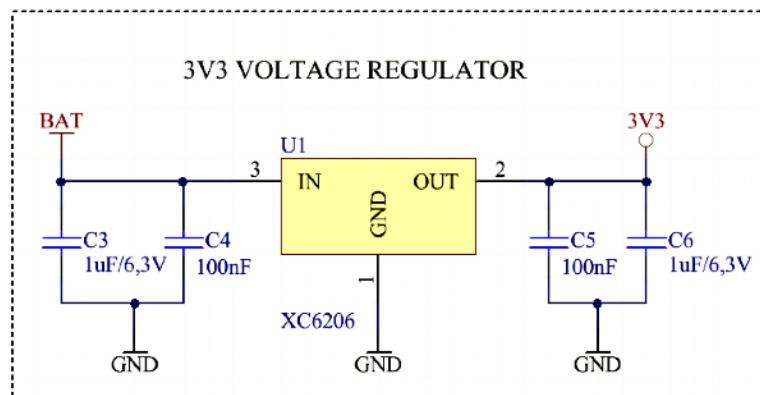
Blok zasilania zegarka jest zdecyduowanie prostszy od bloku zasilania modułu e-laski. Tak samo jak w przypadku e-laski zdecydowano się na zasilanie akumulatorowe. W tym przypadku akumulator z racji na małe wymiary zegarka musi być proporcjonalnie mniejszy. Zastosowane ogniwko to akumulator przystosowany gabarytowo do pracy w smartwatch'ach – YX-S1. Ma on pojemność wynoszącą 380mAh i napięcie znamionowe równe 3,7V. Dodatkowo producent zapewnił wbudowane zabezpieczenie przeciwzwarcie oraz przeciw zbyt niskiemu napięciu, w takim momencie napięcie zostaje automatycznie odcięte. Rozwiążanie to zostało sprawdzone i przeszło nasze testy. Poniżej przedstawiono złącze akumulatora oraz rozdzielenie masy na masę analogową do części audio oraz masę cyfrową do pozostałych elementów.



Rys. 3.28. Złącze akumulatora a) oraz b) złącze ładowania akumulatora.*Źródło: opracowanie własne, Diagram Designer*

Akumulator ładowany jest za pomocą zewnętrznej ładowarki przypinanej do zegarka za pomocą trzech styków. Dwa z nich podłączone są bezpośrednio do akumulatora, trzeci służy do komunikacji z ładowarką i wykrywania podłączenia ładowania.

Zaraz za akumulatorem jest liniowy stabilizator napięcia XC6206 na napięcie 3,3V. Stabilizator ten wyróżnia się bardzo niskim spadkiem napięcia wynoszącym zaledwie 200mV przy prądzie wynoszącym 80mA, więc bez problemu nadaje się on w tym układzie.

**Rys. 3.29.** Schemat ideowy stabilizatora napięcia 3,3V*Źródło: opracowanie własne, Altium Designer*

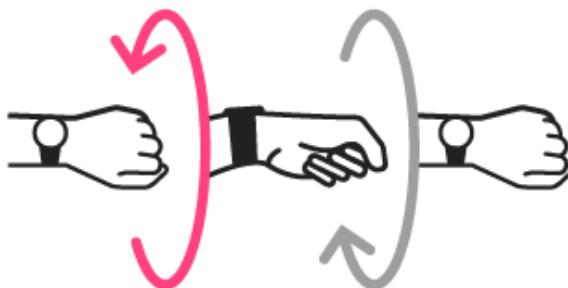
2. Akcelerometr

Akcelerometr w zegarku wykorzystany został do pełnienia dwóch funkcji:

- wykrywa upadek użytkownika,
- służy do aktywacji funkcji zegarka za pomocą gestu.

Dzięki sprzętowemu wykrywaniu spadku swobodnego zegarek potrafi wykryć upadek i uruchomić alarm z zegarka oraz głośniejszy z e-laski.

Dodatkową opcją jest obsługa gestu popularnego ze smartwatch'ów. We wspomnianych zegarkach dzięki gestowi pokazanemu na grafice poniżej użytkownik zwykle wybudza urządzenie, zostaje podświetlony ekran. W naszym przypadku nie ma ekranu, a w momencie wykonania tego gestu zegarek odczyta aktualną godzinę.



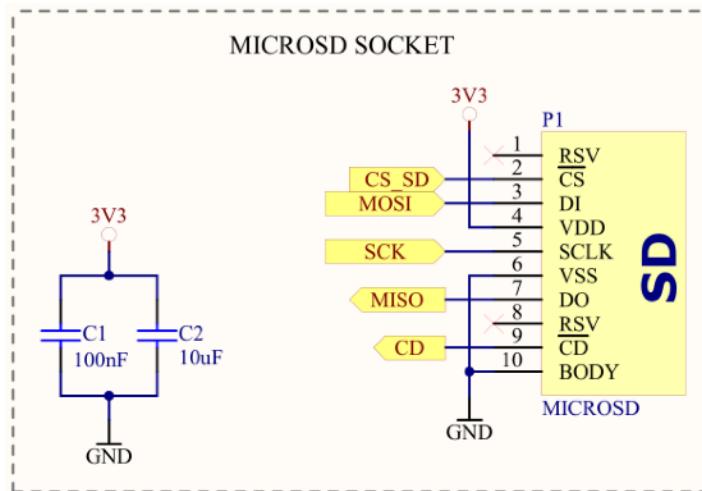
Rys. 3.30. Gest wywołujący funkcję głosowego odczytu godziny przez moduł zegarkowy.Źródło: support.google.com

Jest to możliwe dzięki ciągłym odczytom danych z akcelerometru i porównywanie ich w czasie. Aby gest został uznany użytkownik musi przekrącić rękę szybko w prawo do pewnego stopnia, następnie w lewo, a później znowu w prawo. Podeczas wykonywania obsługi tego gestu użytkownik musi trzymać rękę pionowo, w innym przypadku gest nie zostanie zaakceptowany. Jest to dość naturalny gest i nie ma problemu z jego nauczeniem się.

3. Karta pamięci

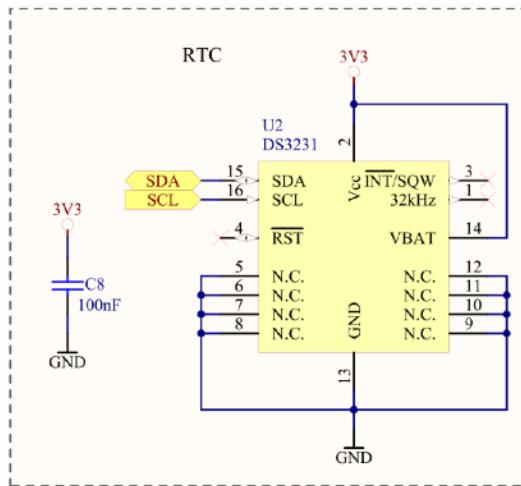
Rola karty pamięci w zegarku jest taka sama jak w e-lasce – magazynowanie komunikatów audio. W tym przypadku, oprócz nagrani informujących o stanie naładowania akumulatora, zostały zapisane nagrania dotyczące czasu tzn. godzin i minut.

W tym przypadku mikrokontroler, jak i karta pamięci jest zasilana napięciem 3,3V, więc nie ma potrzeby używać dodatkowych elementów służących translacji poziomów logicznych.

**Rys. 3.31.** Schemat ideowy podłączenia karty microSD.Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

4. Zegar RTC

Zegar RTC, czyli zegar czasu rzeczywistego to układ liczący upływający czas i zapisujący go w formacie godzin, minut i sekund. Zastosowany układ scalony to DS3231 o wysokiej dokładności pomiaru czasu. Dzięki wbudowanemu czujnikowi temperatury układ automatycznie kompensuje błąd związany z jej zmianą.

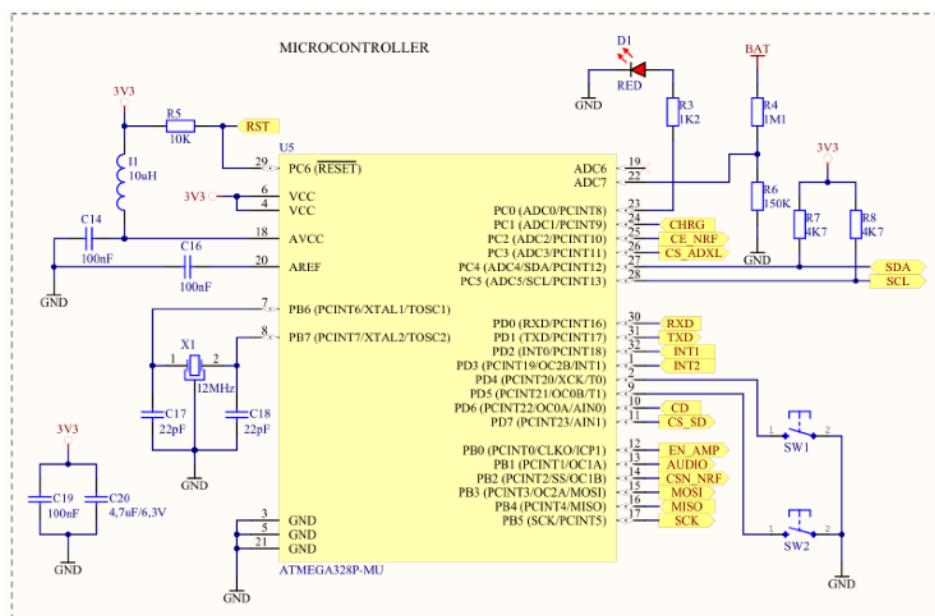


Rys. 3.32. Schemat ideowy zegara RTC.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

5. Jednostka centralna modułu zegarkowego

Moduł zegarkowy podobnie jak moduł e-laski zbudowany jest w oparciu o mikrokontroler rodziny AVR. Tym razem jest to mniejszy układ w mniejszej obudowie i o słabszych parametrach. Jest to układ ATmega328P zamknięty w obudowie MLF 28-pin.



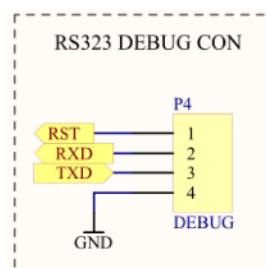
Rys. 3.33. Schemat ideowy jednostki centralnej modułu zegarkowego.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Na powyższym schemacie można spostrzec diodę LED służącą do debugowania. Dwa przyciski monostabilne tzw. microswitch'e, które służą do wprowadzania danych przez użytkownika, czyli obsługi menu programu. Jest tutaj też dzielnik napięcia dzielący przez 2 napięcie akumulatora. Dzięki niemu otrzymywane napięcie jest zawsze mniejsze od 2,1V,

a wewnętrzne napięcie odniesienia mikrokontrolera wynosi 2,56V, więc układ jest w stanie zawsze prawidłowo zmierzyć napięcie akumulatora.

Warto tutaj zaznaczyć także złącze służące do debugowania urządzenia, w tym przypadku do komunikacji z komputerem przez UART do przesyłania bardziej skomplikowanych informacji niż stan "0" lub "1" jaki można przesłać za pomocą diody LED. Na tym złączu dodatkowo wyprowadzony został sygnał RESET, który jest niezbędny do programowania mikrokontrolera.

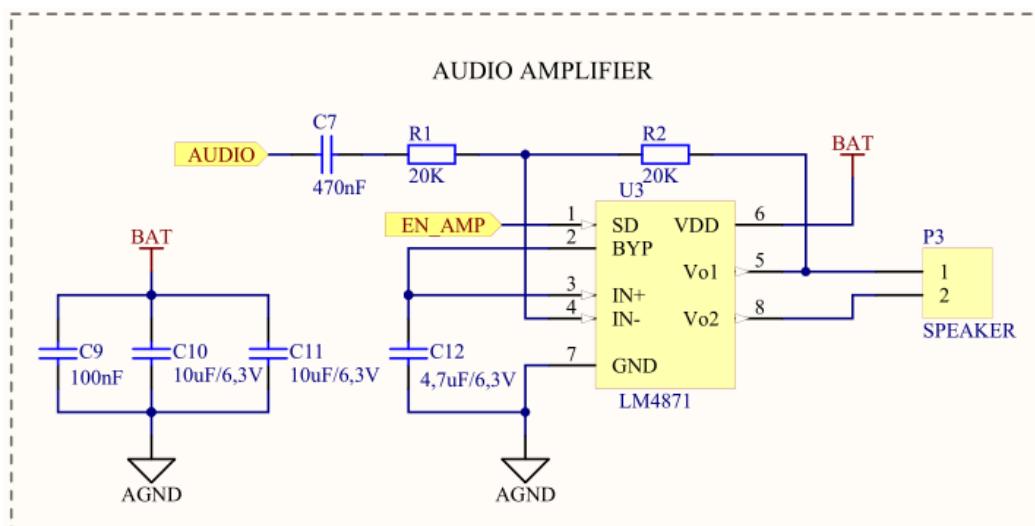


Rys. 3.34. Schemat ideowy złącza debugowania.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

6. Blok audio

Blok audio nie różni się znaczco od bloku audio e-laski. Jedyną różnicą jest to, że wzmacniacz jest zasilany bezpośrednio z akumulatora, czyli z napięcia od 3,3V do 4,2V.

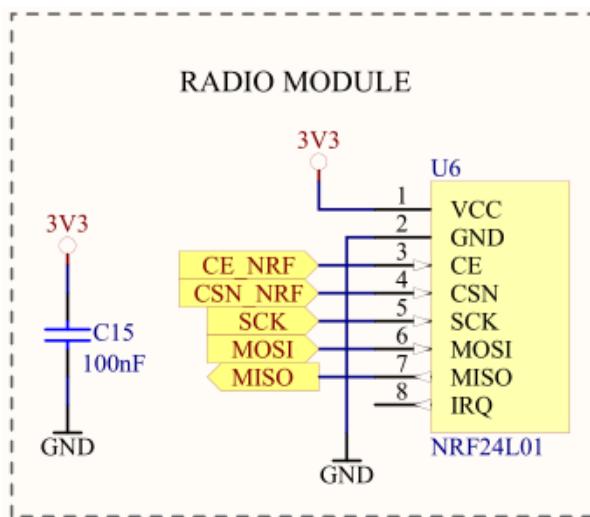


Rys. 3.35. Schemat ideowy bloku audio.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

7. Blok komunikacji radiowej

Ten blok w porównaniu do bloku komunikacji radiowej e-laski różni się tylko tym, że w tym układzie nie występuje układ translacji poziomów logicznych. Jest on tu zbędny, gdyż mikrokontroler, jak i układ komunikacji radiowej nRF24L01 jest zasilany tym samym napięciem wynoszącym 3,3V.



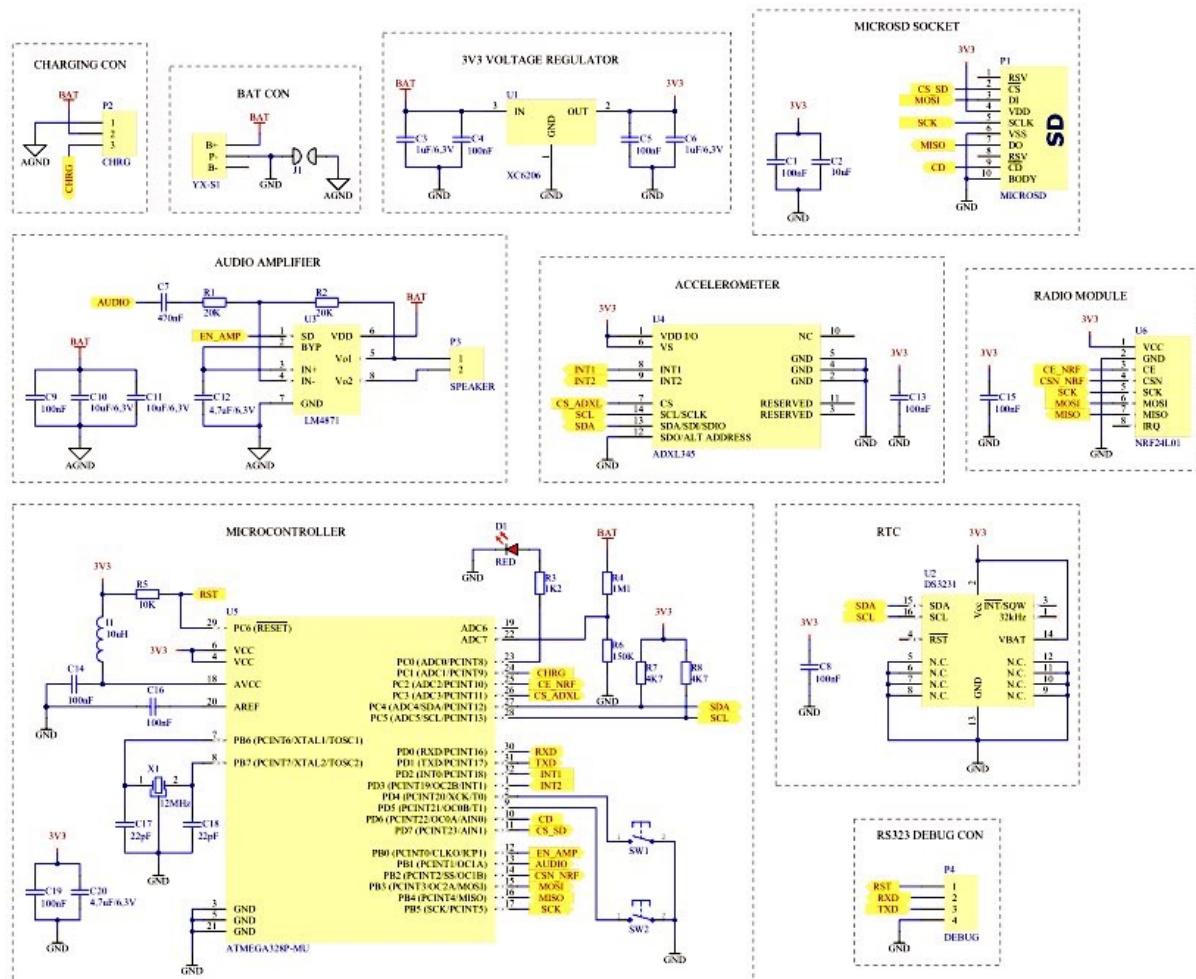
Rys. 3.36. Schemat ideowy podłączenia układu nRF24L01.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

Rozdział 4

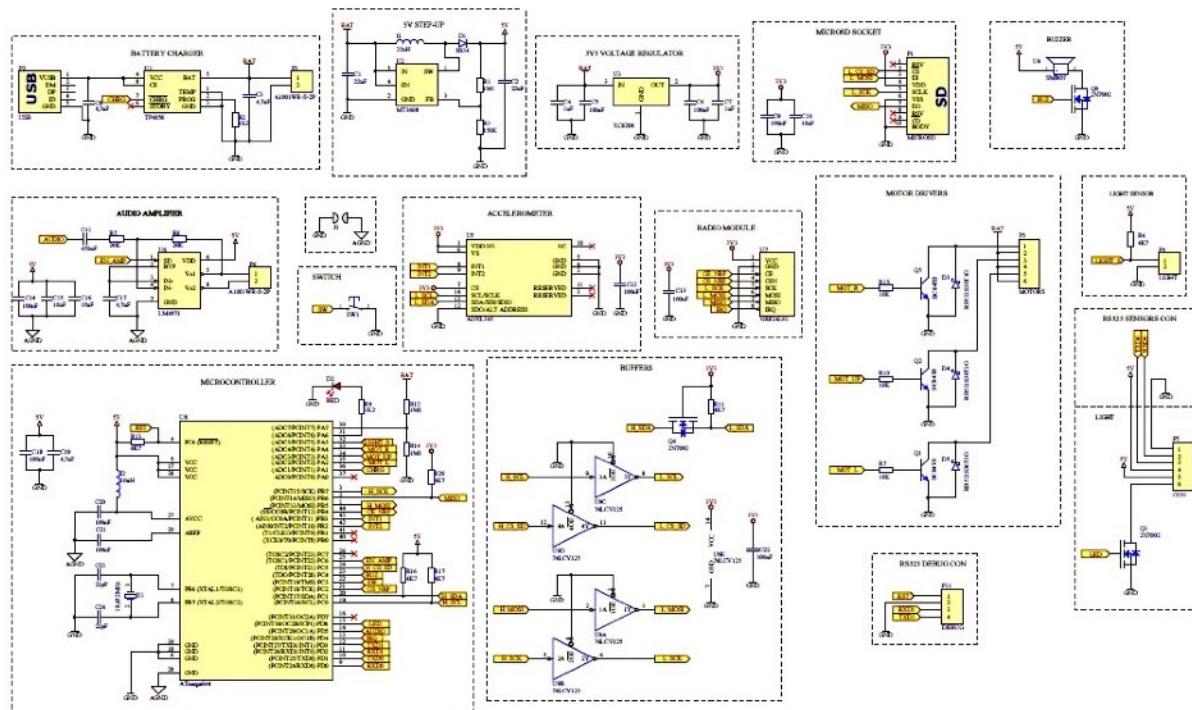
Dokumentacja wykonawcza systemu 3D.CANE

1. Schematy ideowe modułów systemu



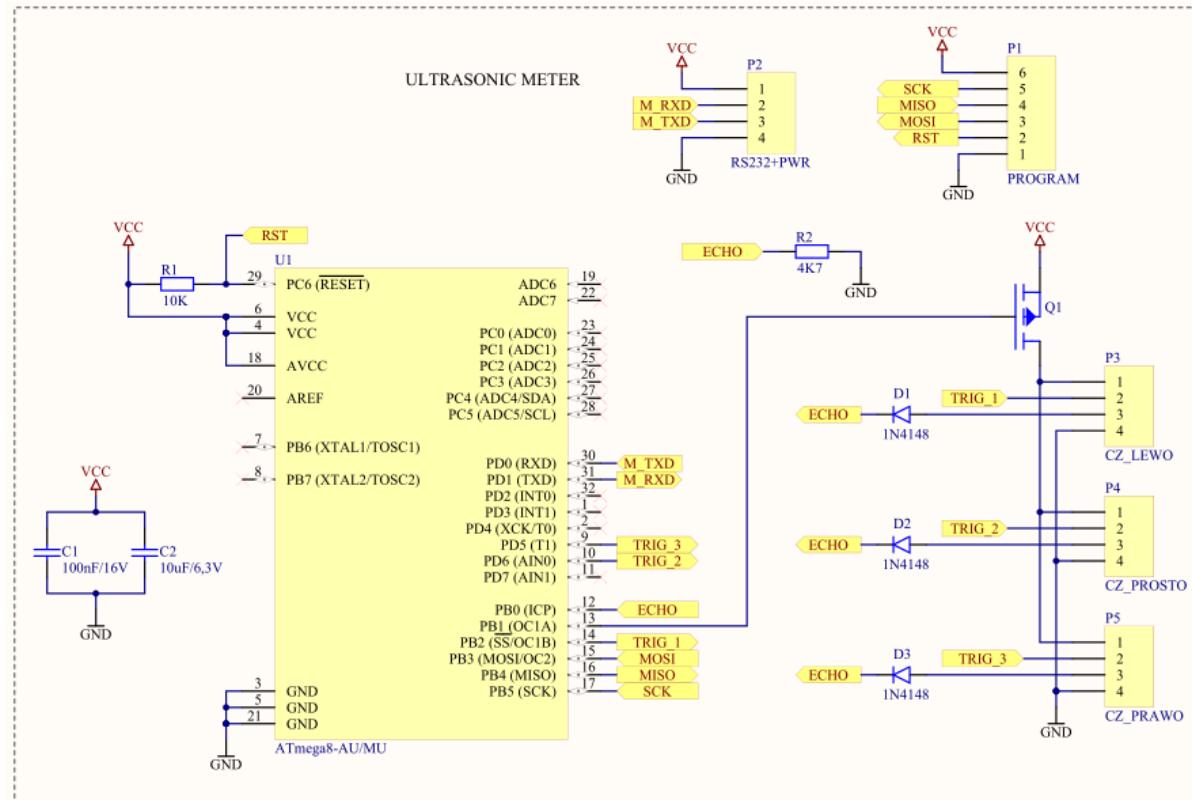
Rys.4.1. Schemat ideowy modułu zegarkowego.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer



Rys. 4.2. Schemat ideowy modułu rączki e-laski.

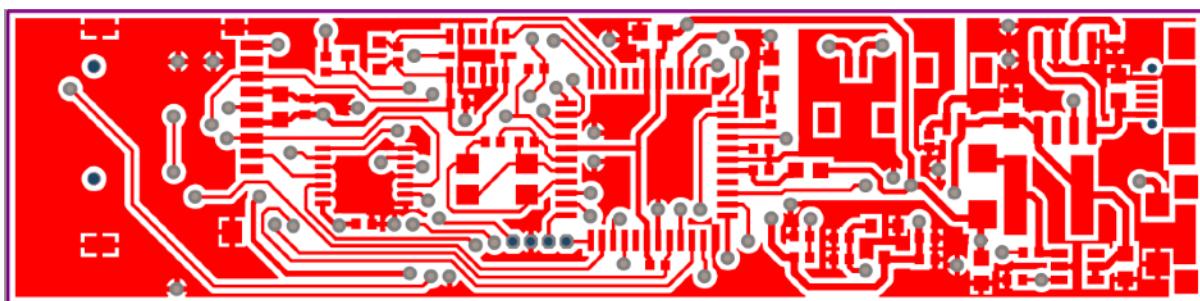
Źródło: opracowanie własne, Altium Designer



Rys. 4.3. Schemat ideowy modułu czujników e-laski.

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

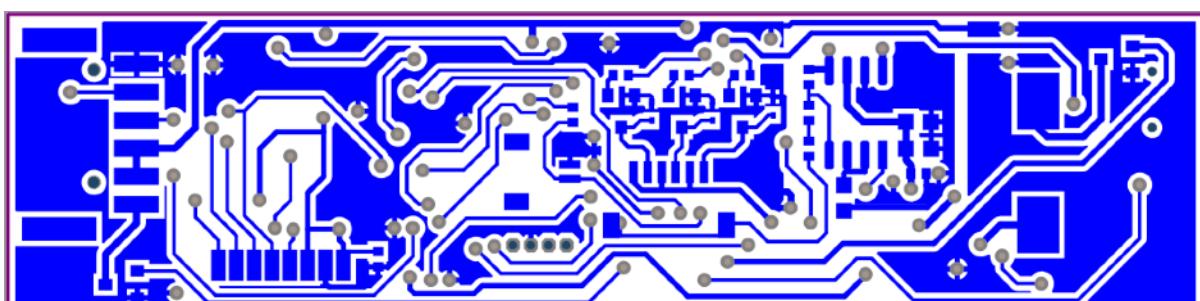
2. Mozaiki obwodów drukowanych



Rys.4.3. Mozaika PCB modułu elektronicznej laski – warstwa góra (top).

Wymiary laminatu: 85 x 21 mm.

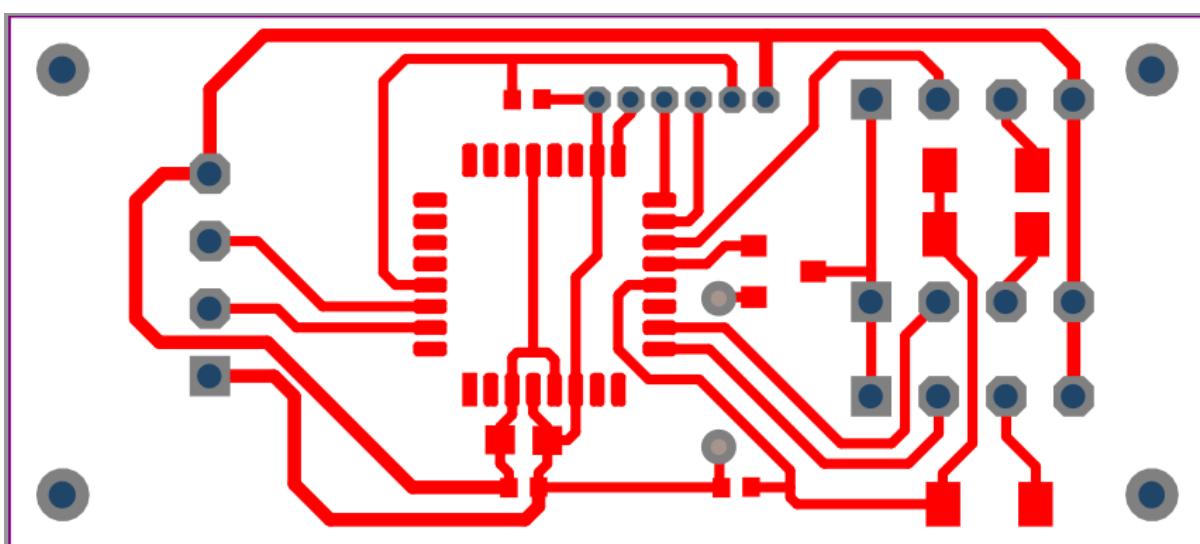
Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.4. Mozaika PCB modułu elektronicznej laski – warstwa dolna (bottom).

Wymiary laminatu: 85 x 21 mm.

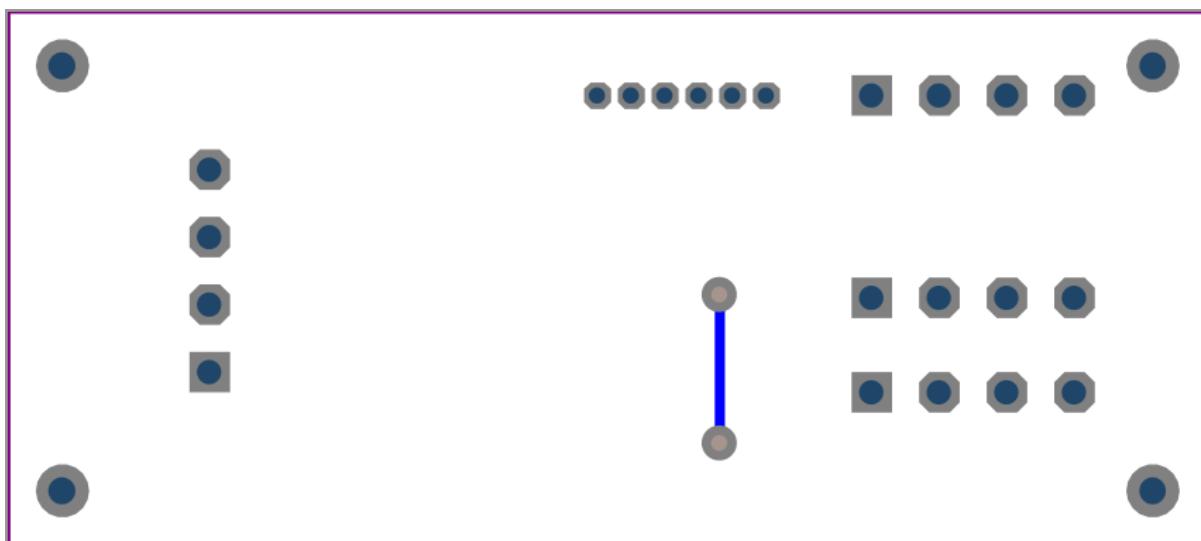
Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.5. Mozaika PCB bloku czujników ultradźwiękowych modułu elektronicznej laski – warstwa góra (top).

Wymiary laminatu: 45 x 20 mm.

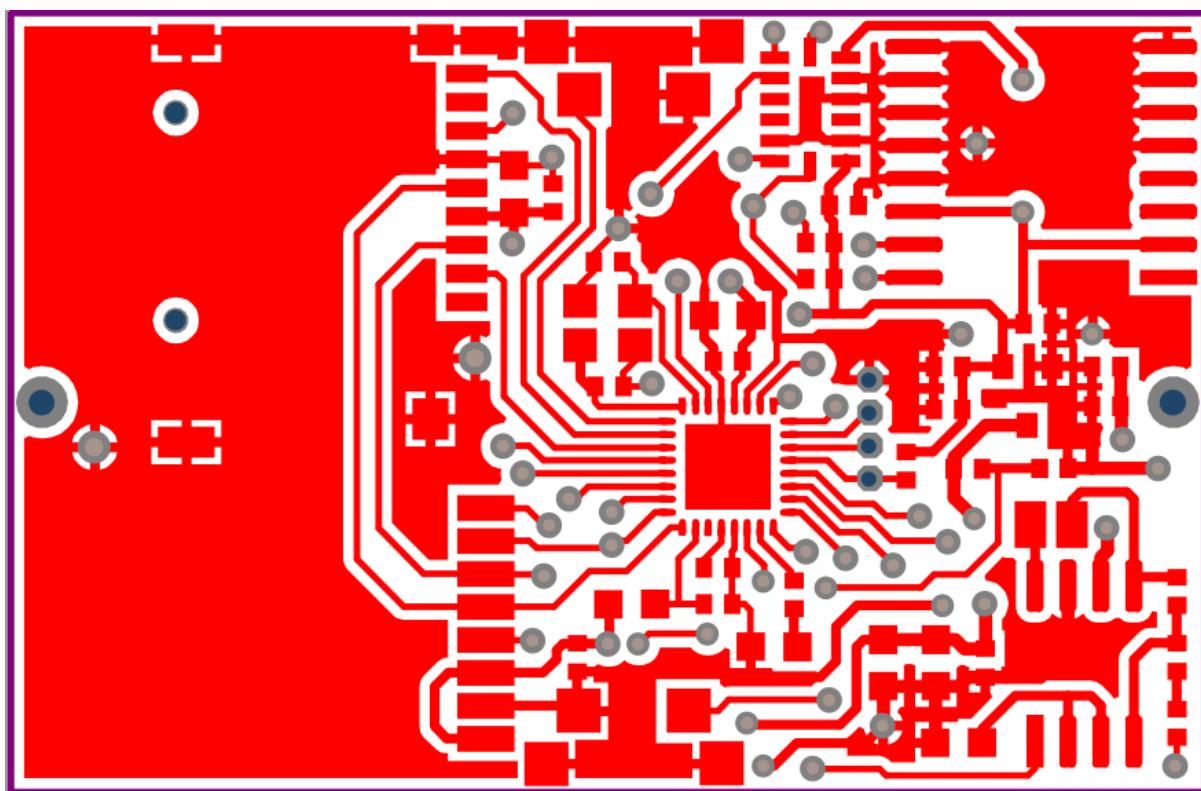
Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.6. Mozaika PCB bloku czujników ultradźwiękowych modułu elektronicznej laski
– warstwa dolna (bottom).

Wymiary laminatu: 45 x 20 mm.

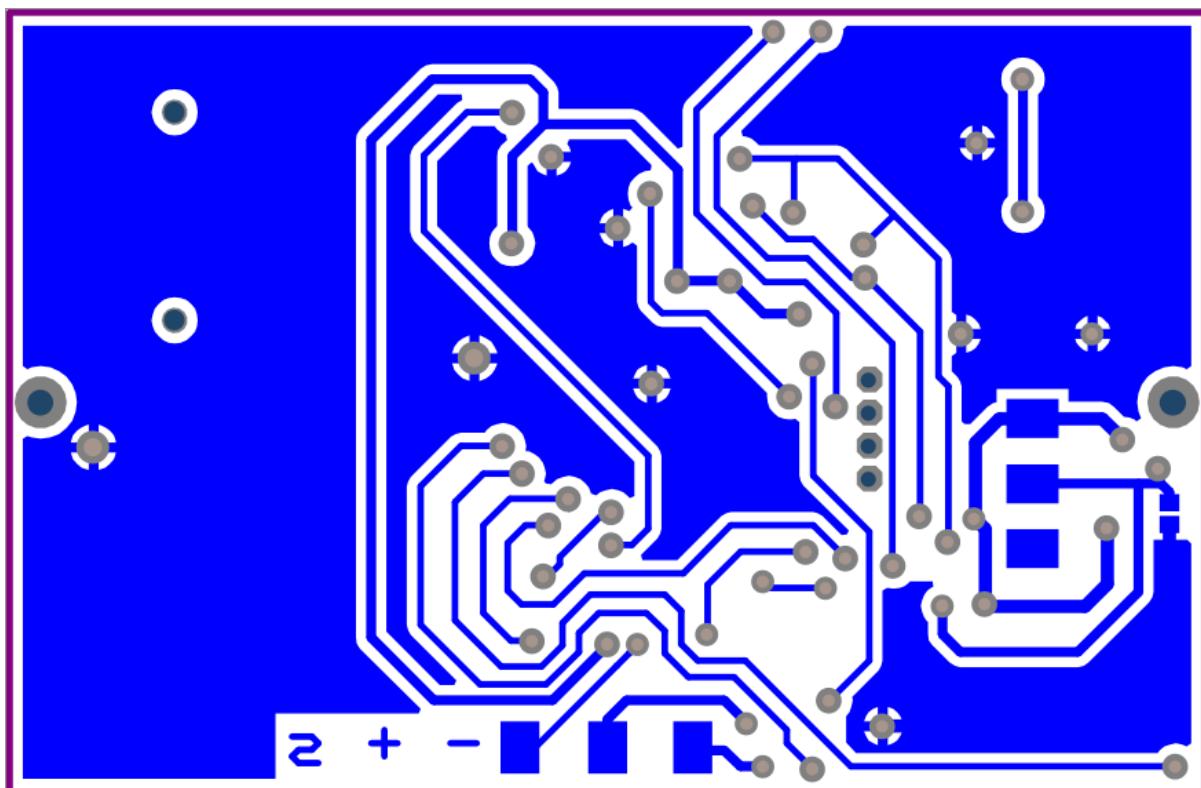
Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.7. Mozaika PCB zegarkowego modułu sterującego – warstwa górna (top).

Wymiary laminatu: 46 x 30 mm.

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

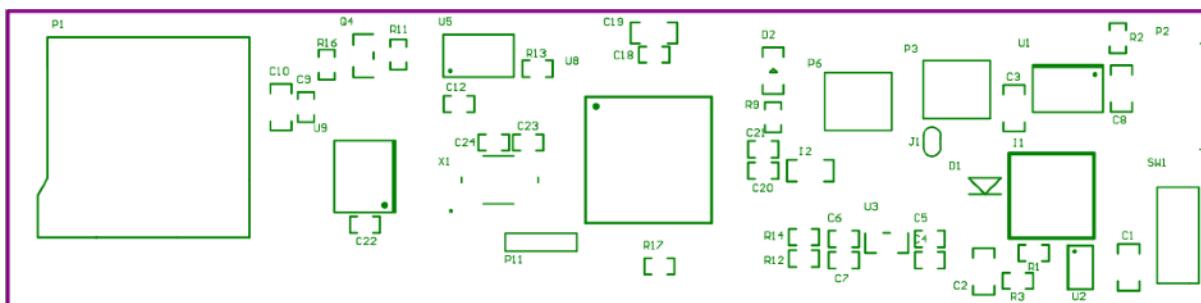


Rys.4.8. Mozaika PCB zegarkowego modułu sterującego – warstwa dolna (bottom).

Wymiary laminatu: 46 x 30 mm.

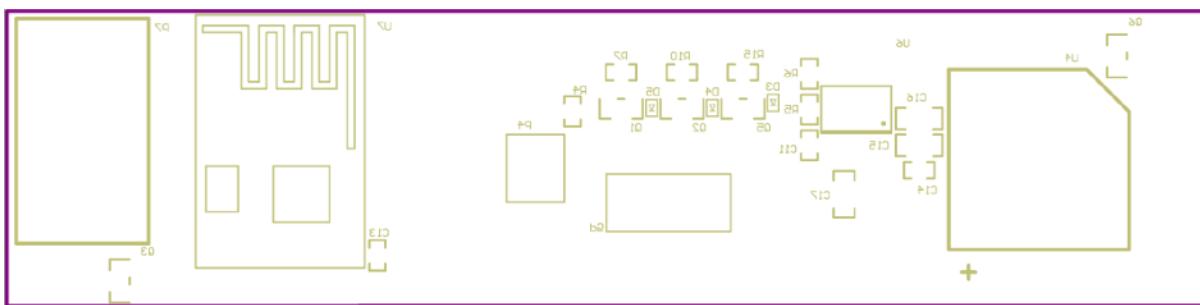
Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*

3. Schematy montażowe PCB



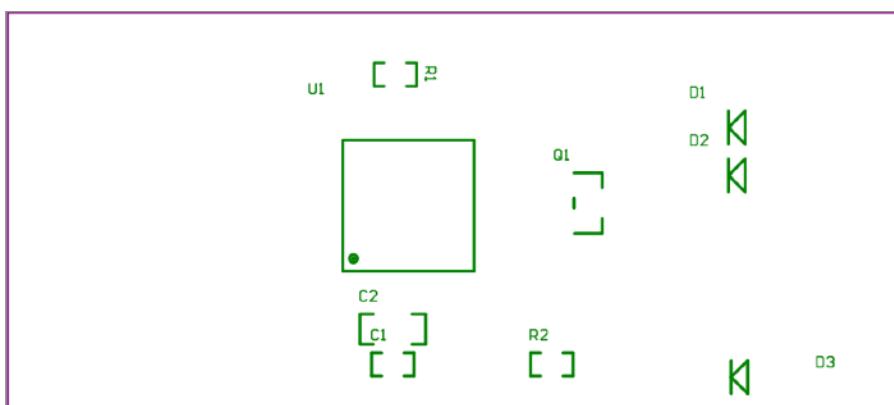
Rys.4.9. Rozmieszczenie podzespołów na PCB modułu elektronicznej laski – warstwa góra (top).

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



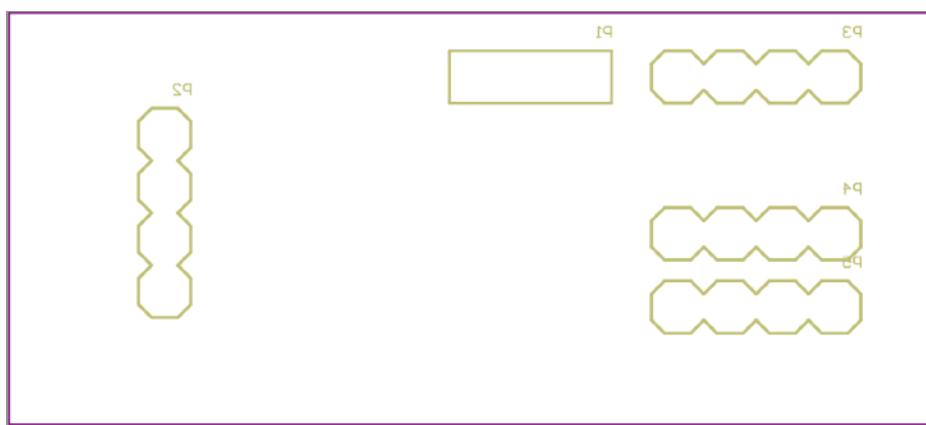
Rys.4.10. Rozmieszczenie podzespołów na PCB modułu elektronicznej laski
– warstwa dolna (bottom).

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.11. Rozmieszczenie podzespołów na PCB bloku czujników ultradźwiękowych modułu elektronicznej laski – warstwa góra (top).

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



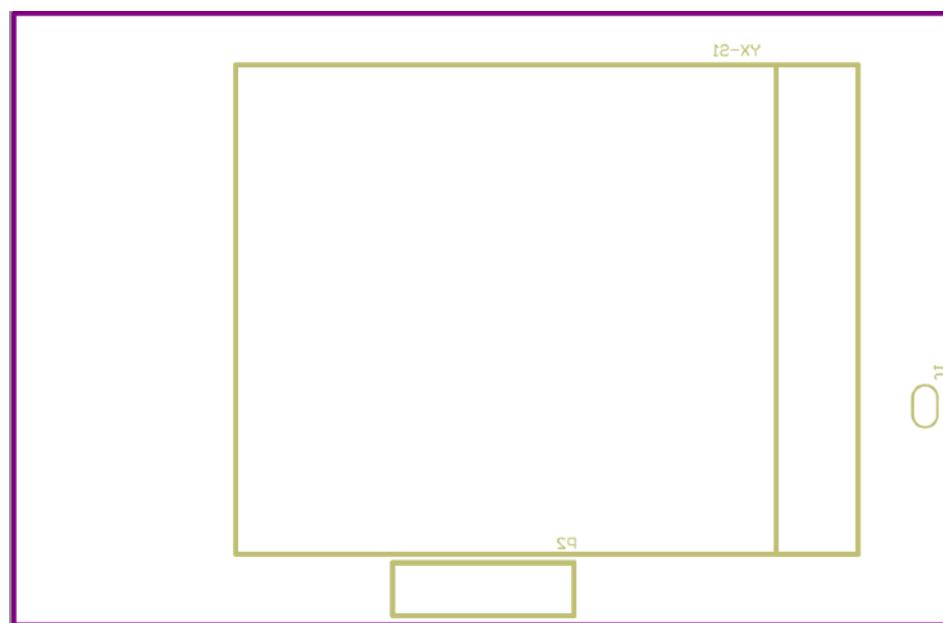
Rys.4.12. Rozmieszczenie podzespołów na PCB bloku czujników ultradźwiękowych modułu elektronicznej laski – warstwa dolna (bottom).

Źródło: *opracowanie własne, Altium Designer*



Rys.4.13. Rozmieszczenie podzespołów na PCB zegarkowego modułu sterującego
– warstwa góra (top).

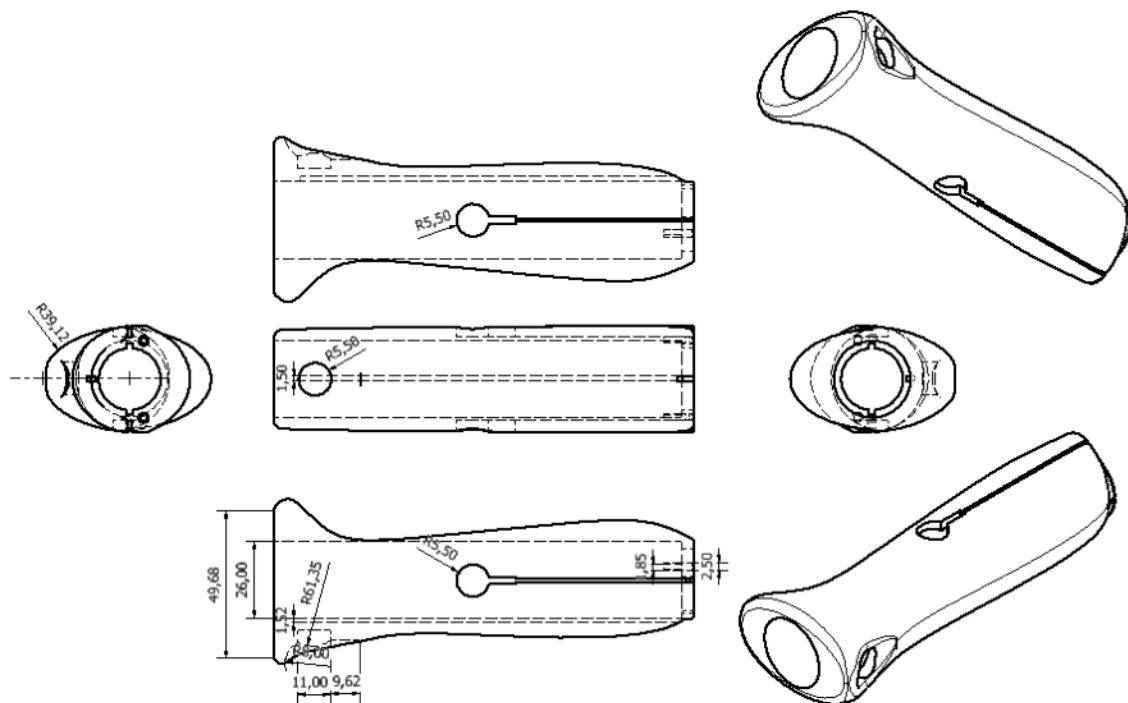
Źródło: opracowanie własne, Altium Designer



Rys.4.14. Rozmieszczenie podzespołów na PCB zegarkowego modułu sterującego
– warstwa dolna (bottom).

Źródło: opracowanie własne, Altium Designer

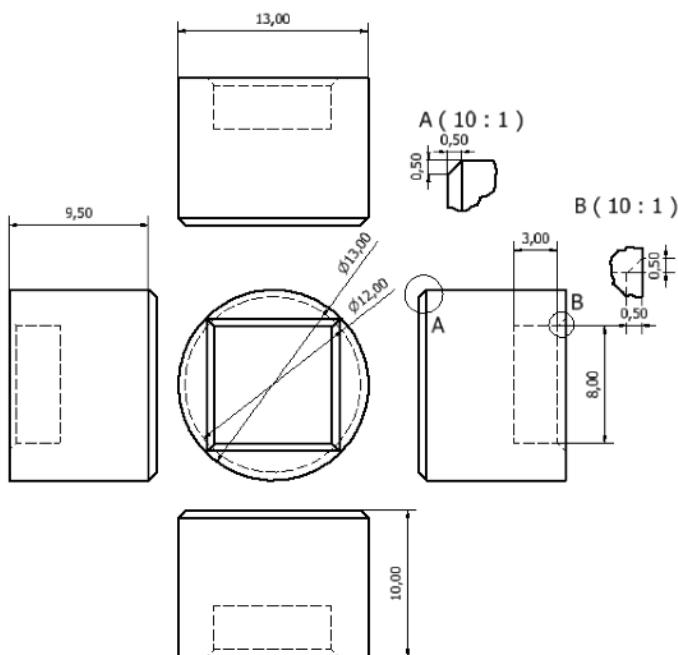
4. Rysunki techniczne obudów



Rys.4.16. Rysunek techniczny elementów konstrukcyjnych trzonu elektronicznej laski.

Wymiary podane w mm.

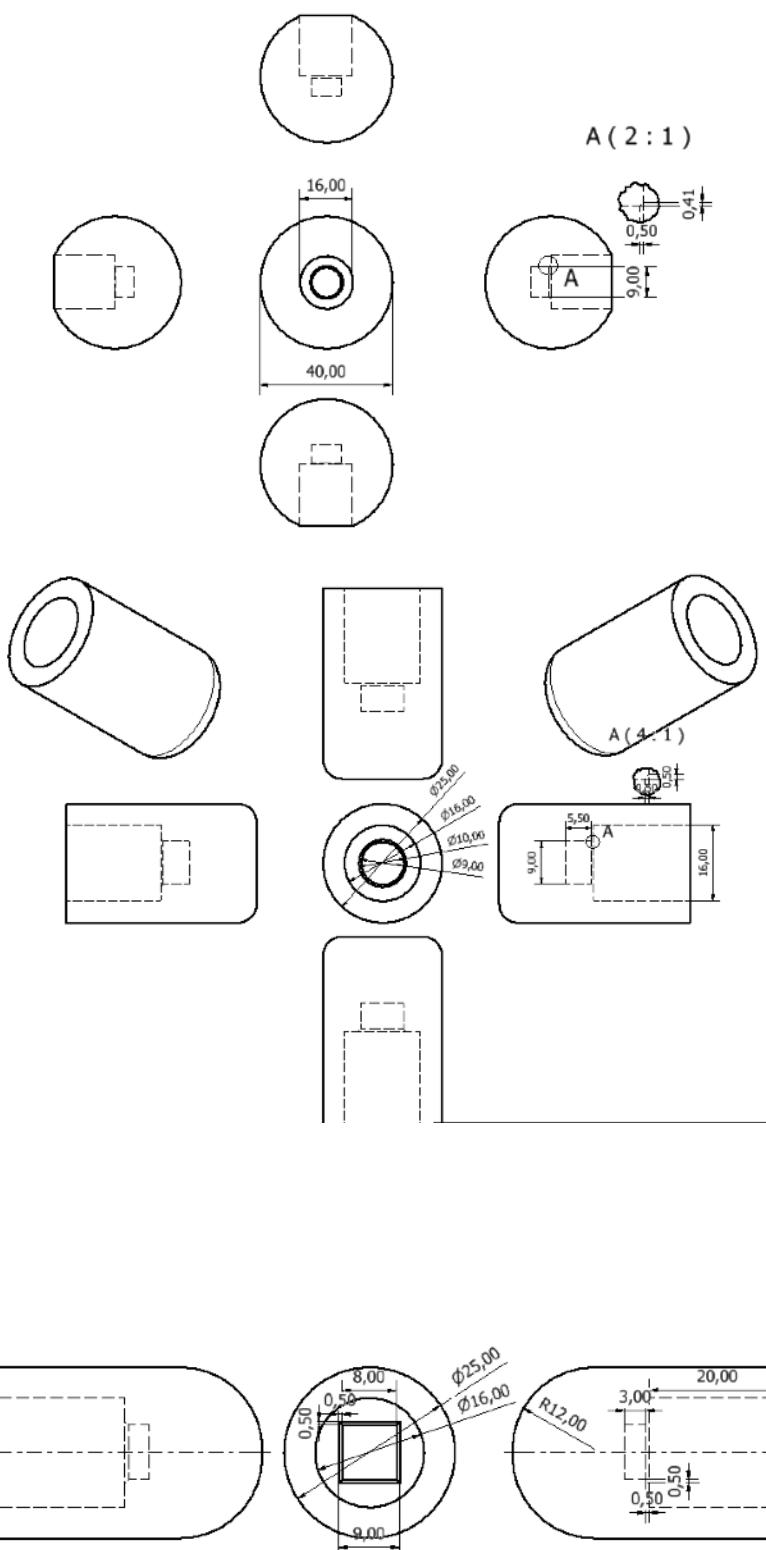
Źródło: opracowanie własne, Inventor



Rys.4.17. Rysunek techniczny uchwytu magnetycznego wymiennych końcówek.

Wymiary podane w mm.

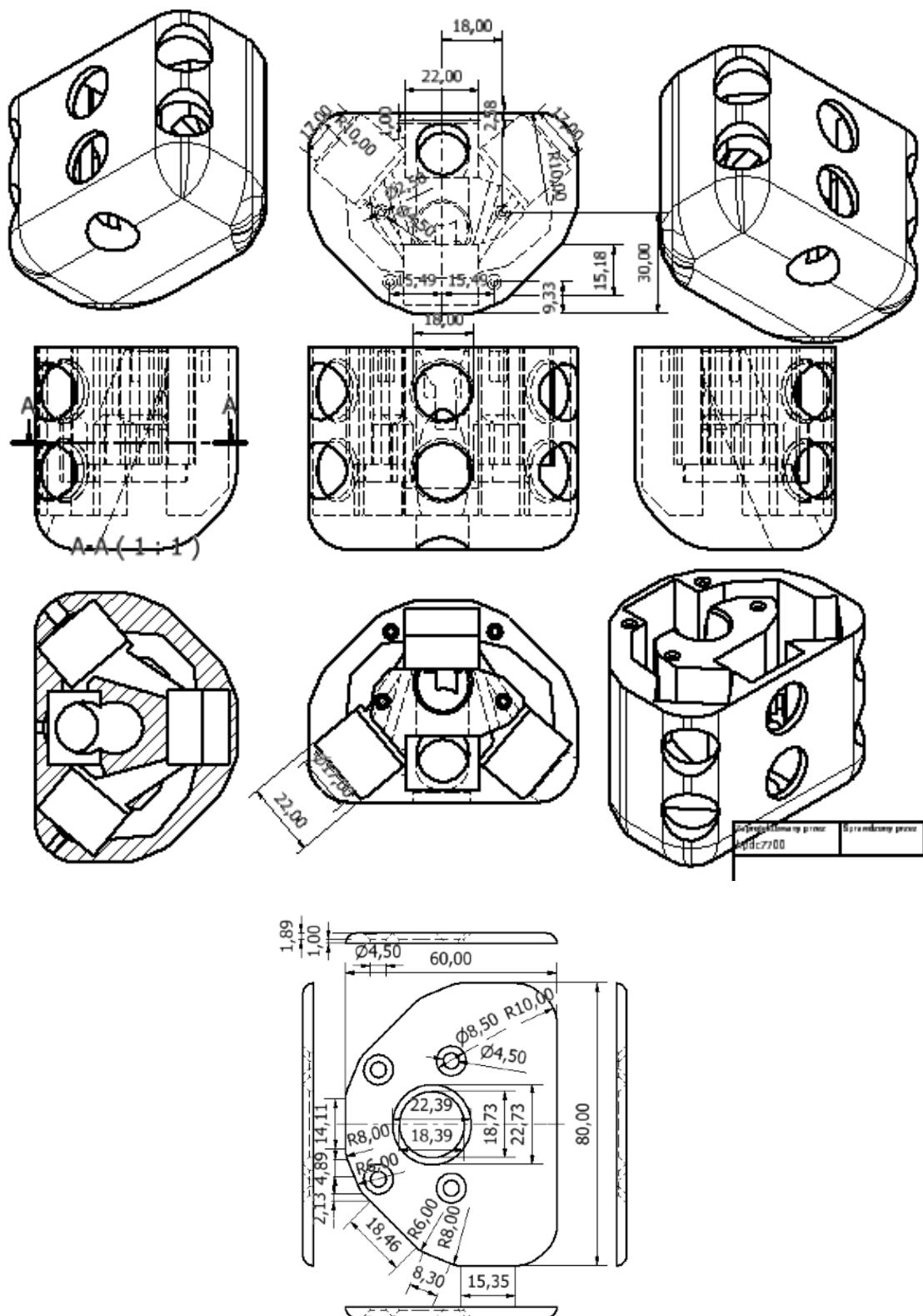
Źródło: opracowanie własne, Inventor



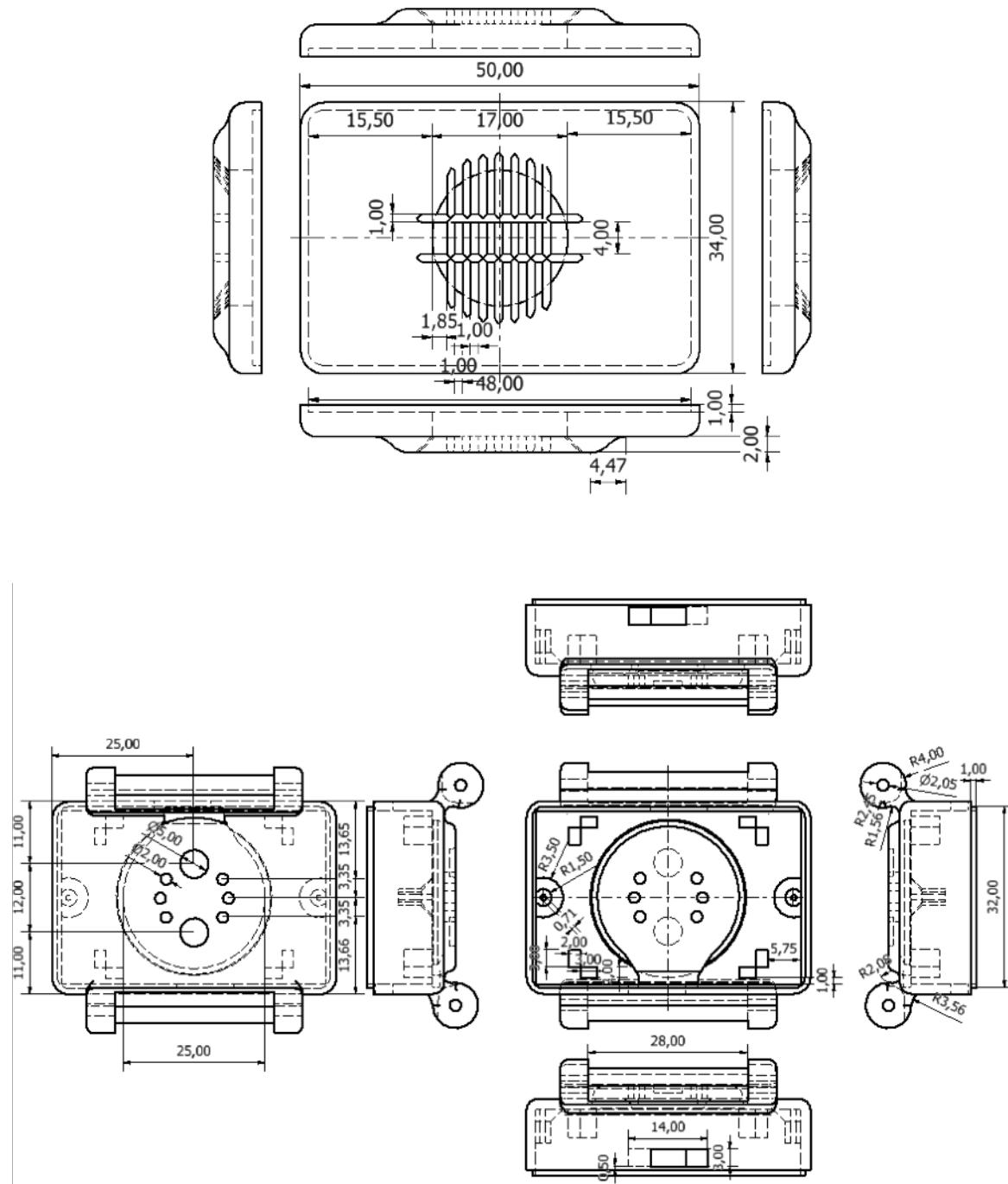
Rys.4.18. Rysunek techniczny wymiennych końcówek.

Wymiary podane w mm.

Źródło: opracowanie własne, Inventor



Rys.4.19. Rysunek techniczny detektora ultradźwiękowego. Wymiary podane w mm.
 Źródło: opracowanie własne, Inventor



Rys.4.20. Rysunek techniczny elementów konstrukcyjnych obudowy modułu zegarkowego. Wymiary podane w mm.

Źródło: opracowanie własne, Inventor

5. Wykaz elementów

Tabela 4.1. Wykaz elementów elektronicznych **modułu elektronicznej laski**.

L.p	Symbol	Typ	Parametry / typ obudowy	Producent	Ilość szt.
1	X1	-	18,432MHz / CFPX-104	-	1
2	U9	74LCV125	TSSOP-14	/	1
3	U8	ATmega644	TQFP-44A	Atmel	1
4	U7	NRF24L01	NRF24L01		
5	U6	LM4871	SO-8		
6	U5	ADXL345	LGA_CC-14		
7	U4	SMB07	SMB07		
8	U3	XC6206	SOT23		
9	U2	MT3608	SOT-23-6		
10	U1	TP4056	SO-8		
11	SW1	SW_3x6x3.5 mm	3x6x3.5mm		
12	R7, R10, R15		10K / R0402		
13	R5, R6		20K / R0402		
14	R4, R11, R13, R16, R17, R20		4K7 / R0402		
15	R3		150K / R0402		
16	R2, R9		1K2 / R0402		
17	R1, R12, R14		1M1 / R0402		
18	Q3, Q4, Q6	2N7002			
19	Q1, Q2, Q5	BC847B			
20	P11	PAD_4-1			
21	P7	MX-502352-0 600			
22	P5	A1001WR-S-6P			
23	P4	A1001WR-S-2P			
24	P3, P6	A1001WR-S-2P			
25	P2	MICRO_USB_2			

26	P1	MICROSD			
27	J1				
28	I2		10uH / I0603		
29	I1		22uH / 6x6x2.8mm		
30	D3, D4, D5	RB521S30T1 G	SOD523		
31	D2	BLUE	LED0603		
32	D1	SS34	SMA		
33	C23, C24		22pF / C0402		
34	C11		470nF / C0402		
35	C10, C15, C16		10uF / C0603		
36	C5, C6, C9, C12, C13, C14, C18, C20, C21, C22		100nF / C0402		
37	C4, C7		1uF / C0402		
38	C3, C8, C17, C19		4,7uF / C0603		
39	C1, C2		22uF / C0603		
40	C1		100nF/16V / C0402		
41	C2		10uF/6,3V / C0603		
42	D1, D2, D3	1N4148	1N4148 / DO-213A		
43	P1		SMA06-1		
44	P2		MA04-1		
45	P3		MA04-1	1	
46	P4		MA04-1	1	
47	P5		MA04-1	1	
48	Q1	AO3401	SOT23	1	
49	R1		10K / R0402	1	
50	R2		4K7 / R0402	1	
51	U1		TQFP-32A	1	

Tabela 4.2. Wykaz elementów elektronicznych zegarkowego modułu sterującego.

L.p	Symbol	Typ	Parametry / typ obudowy	Producent	Ilość szt.
1	C1, C4, C5, C8, C9, C13, C14, C15, C16, C19		100nF / C0402		
2	C2		10uF / C0603		
3	C3, C6		1uF/6,3V / C0402		
4	C7		470nF / C0402		
5	C10, C11		10uF/6,3V / C0603		
6	C12, C20		4,7uF/6,3V / C0603		
7	C17, C18		22pF / C0402		
8	D1		RED / LED0603		
9	I1		10uH / I0603		
10	J1				
11	P1				
12	P2		3SMD		
13	P3		TOP_SMD		
14	P4		PAD_4-1		
15	R1, R2		20K / R0402		
16	R3		1K2 / R0402		
17	R4		1M1 / R0402		
18	R5		10K / R0402		
19	R6		150K / R0402		
20	R7, R8		4K7 / R0402		
21	SW1, SW2		3x6x3.5mm		
22	U1	XC6206	SOT23		
23	U2	DS3231	SO-16W		
24	U3	LM4871	SO-8		
25	U4	ADXL345	LGA_CC-14		
26	U5	ATMEGA328P-MU	QFN5X5-32		
27	U6	NRF24L01	NRF24L01		
28	X1	12MHz	ILCX13		
29	YX-S1	YX-S1	YX-S1		

6. Kosztorys realizacyjny projektu

Tabela 4.3. Szacunkowy kosztorys realizacyjny projektu w wersji prototypowej oraz w produkcji przy nakładzie 1000 szt.

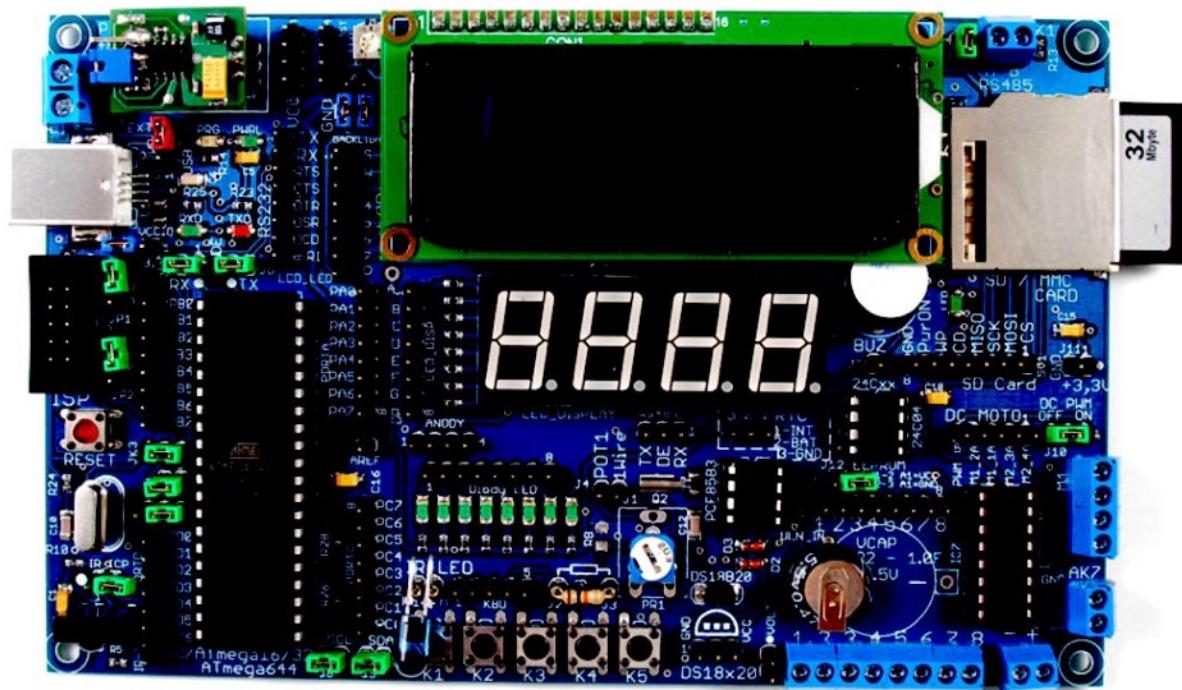
Element systemu 3D.CANE	Szacunkowy jednostkowy koszt realizacyjny projektu brutto [pln]	
	Prototyp	Produkcja 1000 szt.
Moduł elektronicznej laski	Podzespoły elektroniczne	40
	PCB rękojeści	20
	PCB bloku czujników UD	15
	Obudowa	30 (druk 3D)
Zegarkowy moduł sterujący	Podzespoły elektroniczne	30
	PCB	15
	Obudowa	20 (druk 3D)
SUMA:	165	72

Rozdział 5

Realizacja i montaż systemu 3D.CANE

1. Prototypowanie koncepcji systemu

Prototypowanie ograniczyło się do sprawdzenia działania akcelerometru oraz odczytu audio z karty pamięci. Posłużył do tego zestaw uruchomieniowy Atmel ATB rev. 1.04. Jest to bardzo dobry zestaw uruchomieniowy, ponieważ nie ogranicza użytkownika i pozwala na podłączanie dodatkowych modułów. Dzięki niemu rola płytki stykowej, a więc liczne połączenia zostały ograniczone do minimum.



Rys. 5.1. Widok płytki głównej zestawu uruchomieniowego ATB rev.1.04.

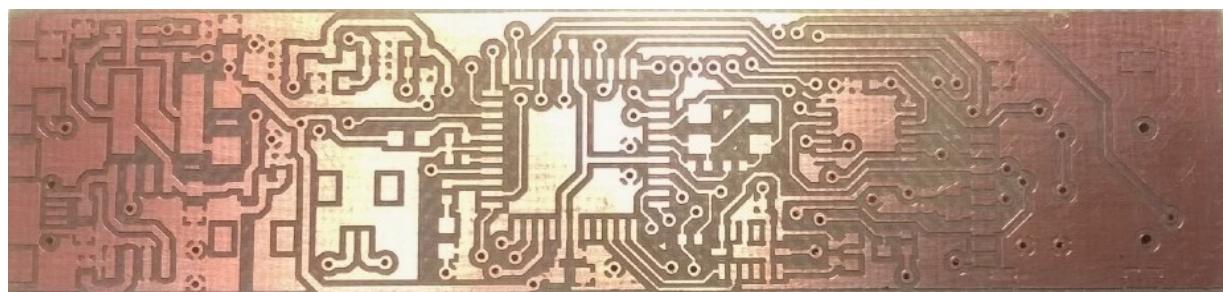
Źródło: <http://sklep.atmel.pl/>

2. Realizacja i montaż obwodów drukowanych

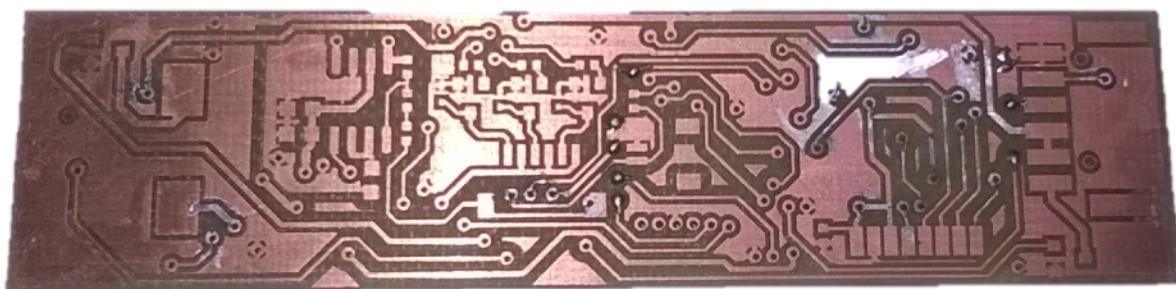
Z uwagi na bardzo małe odstępy między ścieżkami oraz bardzo małych wymiarów elementów zdecydowano się na wykonanie płytka na maszynie LPKF. Jest to maszyna, która usuwa miedź z laminatu techniką frezowania mechanicznego oraz dokonuje nawicertu niezbędnych otworów montażowych tworząc gotowy do montażu obwód drukowany. Maszyna ta obsługuje rozmaite frezy i wiertła. Po tym procesie zwykle na laminacie zostają małe niepożądane skrawki miedzi. Do ich usunięcia posłużyły miękkie materiały ścierny. Następnie płytka została uszlachetniona kalafonią w sprayu zapobiegając korozji. Niestety wykonane otwory nie mają metalizacji więc wszystkie przelotki musiały zostać wykonane ręcznie. W niektórych miejscach, gdzie nie było elementów użyto srebrzanki o średnicy 0,5mm, w innych przypadkach użyto pojedynczych drucików z żyły taśmy komputerowej.

Wszystkie wykonane obwody drukowane wymagały mieszanego montażu podzespołów zarówno w technologii przewlekanej (THT) jak i powierzchniowej (SMT). Oba typy montażu zrealizowano ręcznie z wykorzystaniem stacji lutowniczej kontaktowej typ WEP 937D oraz stacji HotAir typ WEP 858D.

a)



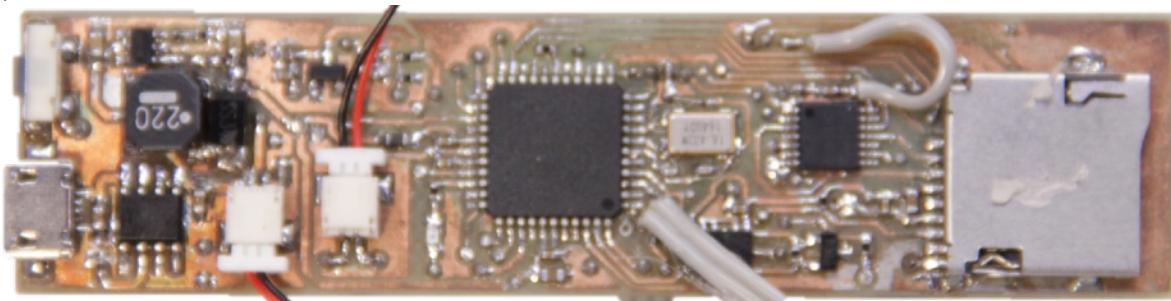
b)



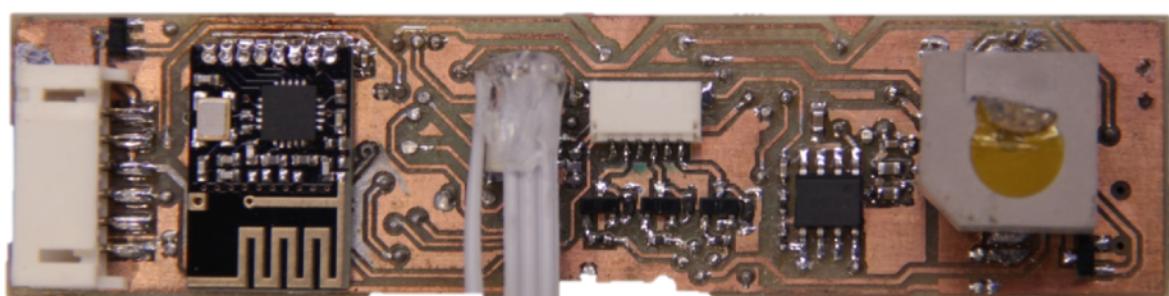
Rys. 5.2. Obwód PCB kontrolera modułu e-laski umieszczonego w jej uchwycie
– a) warstwa górsza (top), b) warstwa dolna (bottom)

Źródło: *opracowanie własne*

a)

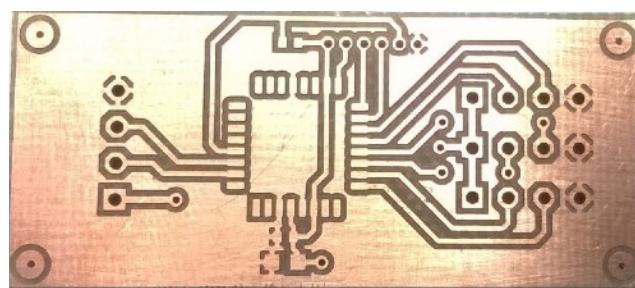


b)



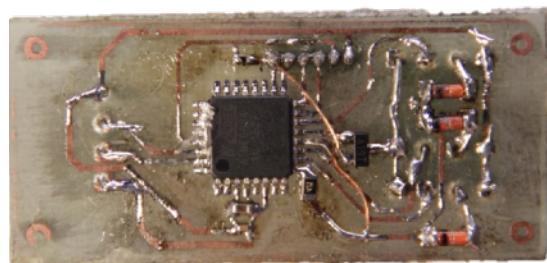
Rys. 5.3. Widok zmontowanej płytki PCB kontrolera modułu e-laski umieszczonego w jej uchwycie
– a) warstwa góra (top), b) warstwa dolna (bottom)

Źródło: *opracowanie własne*



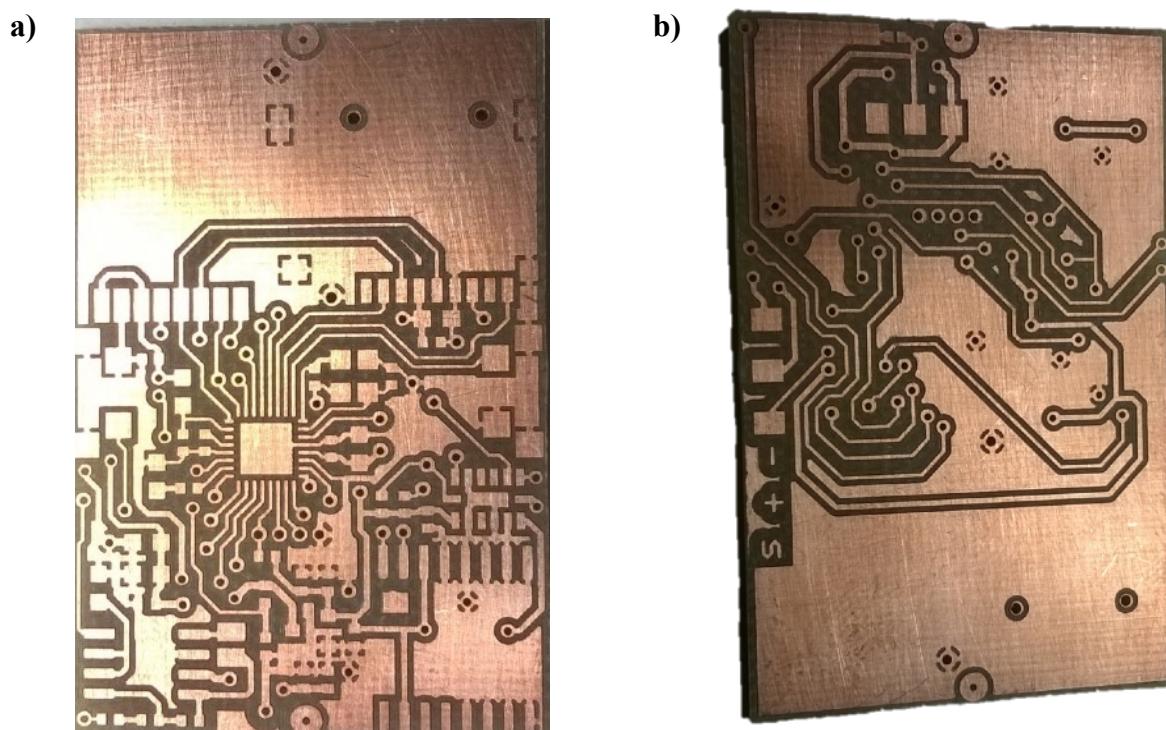
Rys. 5.4. Obwód PCB bloku ultradźwiękowego skanera otoczenia wbudowanego w moduł elektronicznej laski
– warstwa góra (top)

Źródło: *opracowanie własne*



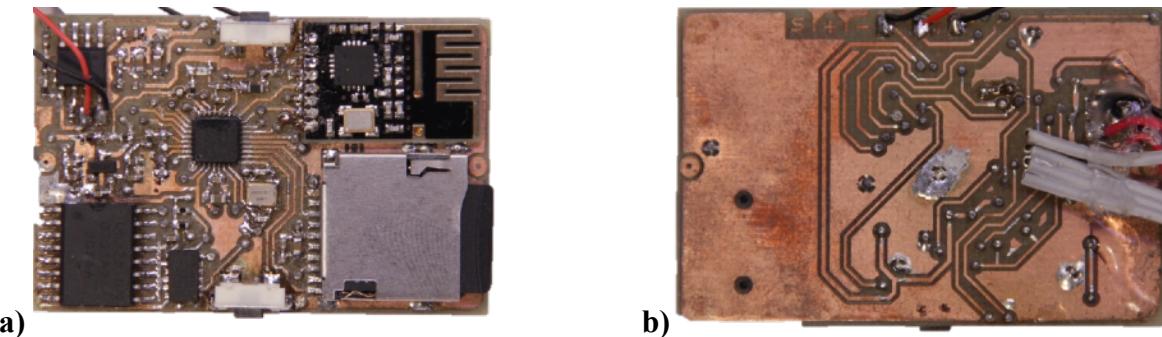
Rys. 5.5. Widok zmontowanej płytki PCB bloku czujników ultradźwiękowych modułu elektronicznej laski- warstwa górna (top)

Źródło: *opracowanie własne*



Rys. 5.6. Obwód PCB modułu zegarkowego
– a) warstwa górna (top), b) warstwa dolna (bottom)

Źródło: *opracowanie własne*

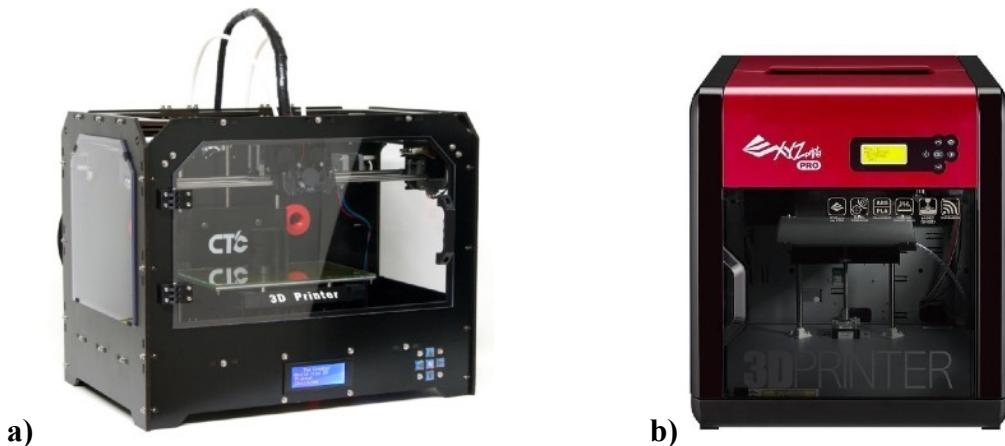


Rys. 5.7. Widok zmontowanej płytki PCB modułu zegarkowego
– a) warstwa góra (top), b) warstwa dolna (bottom)

Źródło: *opracowanie własne*

3. Realizacja obudów modułów

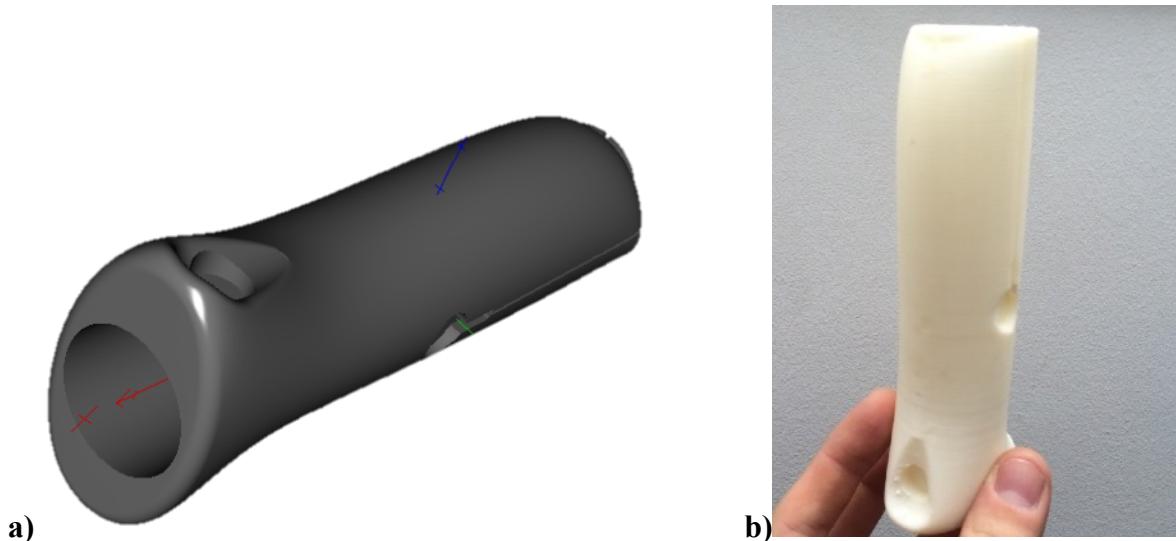
W realizacji elementów konstrukcji mechanicznej systemu 3D.CANE, w tym obudowy uchwytu modułu elektronicznej laski oraz modułu zegarkowego wykorzystano prototypowanie w technologii 3D. Wydruki zrealizowano na dwóch rodzajach drukarek 3D:



Rys. 5.8. Drukarki 3D wykorzystane do prototypowania obudów modułów systemu 3D.CANE: a) drukarka 3D model CTC Bizer 2x Pro b) drukarka 3D model XYZ Printing da Vinci 1.0 Pro

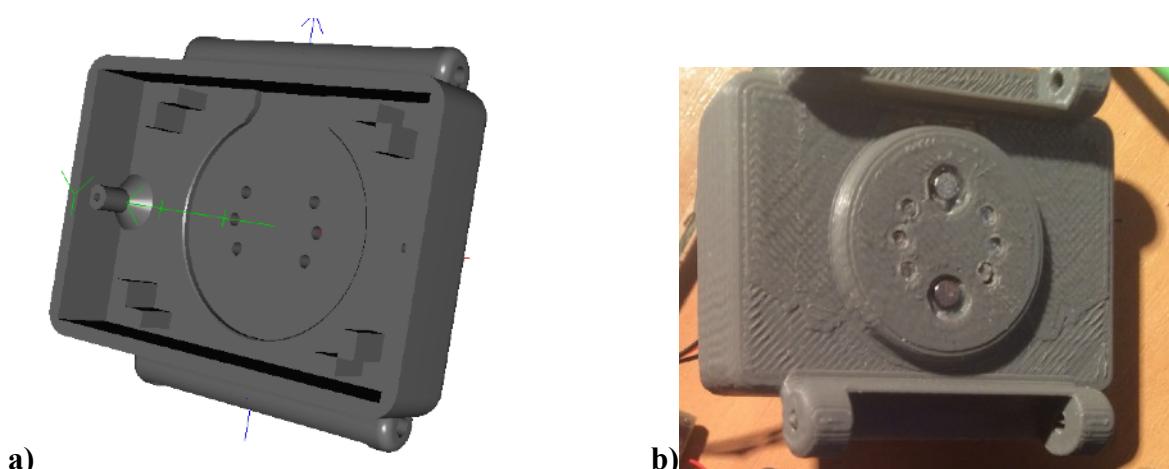
Źródło: *opracowanie własne*

Konstrukcja laski wykonana jest z aluminium oraz tworzyw sztucznych, jak ABS oraz PET. Głównymi założeniami przy projektowaniu była ergonomia użytkowania, lekka konstrukcja oraz prostota obsługi.



Rys. 5.9. Realizacja obudowy uchwytu modułu elektronicznej laski:
a) model 3D obudowy (Inventor) oraz b) wydruk 3D modelu.

Źródło: *opracowanie własne*



Rys. 5.10. Realizacja obudowy modułu zegarkowego: a) model 3D obudowy (Inventor)
orzaz b) wydruk 3D modelu.

Źródło: *opracowanie własne*

4. Programowanie i testowanie modułów systemu

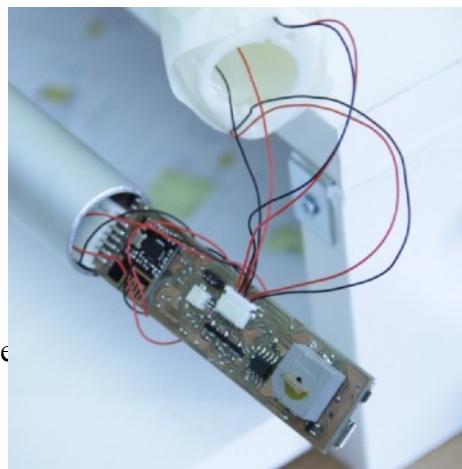
Użyty programator to USBASP, czyli popularny i tani programator umożliwiający programowanie mikrokontrolerów AVR przez złącze USB. Na tych liniach występują napięcia takie jak napięcia zasilające mikrokontroler. W naszym przypadku mikrokontroler sterujący w kijku zasilany jest napięciem 5V, a w zegarku 3,3V. Aby nie doszło do uszkodzenia programowanego układu napięcia na liniach programujących nie mogą przekraczać napięcia zasilającego mikrokontroler programowany. W naszym programatorze został zamontowany stabilizator napięcia stabilizujący napięcie z USB na 3,3V, który zasila programator. Dzięki niemu połączeniu stabilizatora, a dokładniej mówiąc rozwarciu jego nóżek poprzez wylutowanie rezystora 0R, możliwe było programowanie zegarka bez potrzeby użycia dodatkowych elementów.

Montaż urządzeń w całość nie był łatwy. Składanie zegarka wymagała wykonania kolejnych kroków:

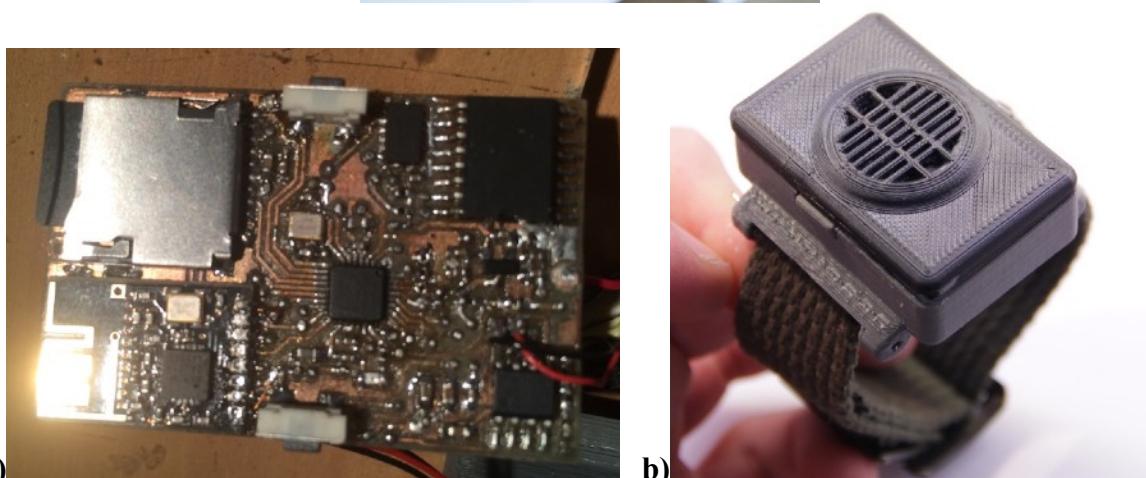
1. Przymocować konektory do ładowania oraz magnesy neodymowe
2. Przyłutować akumulator oraz przewody złącz ładowania
3. Włożyć akumulator oraz ułożyć przewody w obudowie
4. Włożyć płytka i przykręcić za pomocą dwóch śrub
5. Umocować przedłużenia klawiszy
6. Przykleić pokrywkę.

Montaż kijka był jeszcze bardziej skomplikowany:

1. Złożyć konstrukcję aluminiową kijka,
2. Przeciągnąć przewód wzduż rury oraz wyprowadzić,
3. Umocować czujniki ultradźwiękowe w obudowie,
4. Podłączyć przewód do czujników;
5. Umocować silniki w rączce,
6. Podłączyć silniki, głośnik, akumulator oraz przewód do czujników ultradźwiękowych.
7. Przykręcić zaślepkę przycisku i gniazda micro USB.



Rys. 5.13. Uchwyt elektroniki do laski z osadzoną i uruchomioną elektroniką.



Rys. 5.14. Zegarkowy moduł sterujący z osadzoną i uruchomioną elektroniką: a) widok wnętrza obudowy, b) złożony kompletny moduł zegarkowy.

Źródło: *opracowanie własne*

Do sprawdzania, czy mikrokontroler jest „widziany” przez komputer użyliśmy programu mkAVRcalculator firmy ATNEL. Pierwsze próby zaczęliśmy właśnie od niego. Program ten prosty sposób umożliwia wykrycie mikrokontrolera AVR. Gdy już ten program pokazał nazwę mikrokontrolera w kijku i zegarku mogliśmy zająć się programowaniem.

Dzięki licznym bibliotekom programowym dostępnych w internecie uruchomienie układu nie było bardzo trudne. Na początku przetestowaliśmy każdy moduł: zegar RTC, układ komunikacji radiowej itd. Gdy już się okazało, że podmoduły działają można było przejść dołączenia modułów w kompletne urządzenie.

Rozdział 6

Eksplotacja systemu 3D.CANE

1. Kalibracja i konfiguracja systemu

Przystępując pierwszy raz do urządzenia użytkownik powinien odpowiednio skonfigurować parametry pracy systemu 3D CANDLE. Procedura włączania i wyłączania poszczególnych modułów systemu jest następująca:

- e-laska – przytrzymanie przycisku do czasu uzyskania potwierdzenia włączenia komunikatem głosowym „Kijek włączony”
- zegarek - przytrzymanie obu przycisków jednocześnie do czasu uzyskania potwierdzenia włączenia komunikatem głosowym „Zegarek włączony”

Po włączeniu e-laska jest gotowa do użycia i automatycznie włącza czujniki ultradźwiękowe oraz rozpoczęta nieskończoną procedurę pomiaru odległości, która kończy się dopiero wyłączeniem urządzenia przez przytrzymanie przycisku do czasu uzyskania wiadomości głosowej potwierdzającej rozpoczęcie procedury wyłączania „Wyłączam kijek”.

Zegarek oferując możliwość mierzenia czasu rzeczywistego wymaga wpierw ustawienia aktualnej godziny i minuty. Dokonać tego można poprzez przytrzymanie lewego przycisku do momentu uzyskania potwierdzenia uruchomienia procedury ustawienia czasu „Ustaw godziny”. Po tym komunikacie zostanie odczytana aktualnie nastawiona godzina, którą można zwiększać i zmniejszać za pomocą przyciśnięcia dostępnych klawiszy (jeden odpowiada za zwiększenie, a drugi za zmniejszenie), każda nowa wartość godziny zostanie natychmiast odczytana, by użytkownik wiedział jaką wartość wybrał. Następnie po wybraniu aktualnej godziny użytkownik przechodzi do zmiany minut przez przytrzymanie dowolnego klawisza do czasu uzyskania komunikatu głosowego „Zmiana minut” i odczytana zostaje zapisana wartość minut. Podobnie jak w przypadku godzin użytkownik zmienia minuty przyciskając klawisze na obudowie. Zatwierdzenie następuje przez przytrzymanie dowolnego klawisza do czasu uzyskania potwierdzania „nowy czas ustawiony”.

KONKLUZJE, DALSZE PRACE

Mając już złożone urządzenie warto pomyśleć, co jeszcze można udoskonalić i co nowego można wprowadzić.

Nie udało nam się zrealizować podświetlenia kijka. Wynikało to z braku zużytego już filamentu przezroczystego.

Kolejną rzeczą jaką można ulepszyć jest zwiększenie szybkości przetwarzania danych czujników. Ograniczona ilość czasu mocno wpłynęła na efekt końcowy. Mając więcej czasu można zoptymalizować program główny, by dane z czujników były szybciej przesyłane i oddziaływały na silniki wibracyjne.

Nastecną sprawą jest możliwość zwiększenia zasięgu komunikacji zegarka z e-laską. Podobnie jak z przetwarzaniem danych z czujników, brak czasu spowodował, że nie udało nam się napisać takich algorytmów, by wykorzystać pełny zasięg modułu radiowego, który może osiągnąć do kilkunastu metrów.