

**POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA**



**WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I INFORMATYKI**

**PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA**

**KIERUNEK: ELEKTRONIKA I TELEKOMUNIKACJA  
SPECJALNOŚĆ: SYSTEMY AUTOMATYKI**

**Józef Franciszek Wantoch Rekowski  
U-18039**

**AUTOMAT DO DOZOWANIA PŁYNÓW  
Z MOŻLIWOŚCIĄ OBSŁUGI ZDALNEJ**

**LIQUID DISPENSING MACHINE WITH REMOTE CONTROL  
CAPABILITY**

**Promotor: dr. inż. Paweł Poczekajło**

**Koszalin2024**

# **Streszczenie pracy dyplomowej**

Koszalin, marzec 2024

**POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA**

**WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I INFORMATYKI**

**Katedra Systemów Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów**

**Tytuł:** Automat do dozowania płynów z możliwością obsługi zdalnej

**Autor:** Józef Franciszek Wantoch Rekowski

**Promotor:** dr. inż. Paweł Poczekajło

Projekt automatu do dozowania płynów koncentruje się na opracowaniu prototypu integrującego zaawansowane technologie monitorowania i sterowania. Celem jest nie tylko automatyzacja procesu dozowania cieczy, ale także zapewnienie użytkownikowi łatwości obsługi. W ramach prac zaprojektowano sprzęt, dobrano niezbędne podzespoły, przeprowadzono montaż i próby testowe. Szczególny nacisk położono na interfejs użytkownika, realizowany poprzez aplikację mobilną, wyświetlacz LCD oraz port szeregowy, który ułatwia obsługę i monitorowanie procesu dozowania w czasie rzeczywistym. Projekt ten odzwierciedla trend w kierunku innowacyjnych rozwiązań z zakresu automatyki, łącząc elementy elektroniczne i programistyczne w celu stworzenia zintegrowanego systemu, który jest uniwersalny i można go dostosować do wielu różnych środowisk pracy. Projekt ten podkreśla rolę inżyniera, który poprzez zastosowanie odpowiednich technologii wpływa na optymalizację procesów produkcyjnych i usługowych.

**Słowa kluczowe:**

**Dozowanie płynów**

**Automat dozujący**

**Mikrokontroler**

**Arduino Uno**

**Obsługa zdalna**

# Diploma thesis abstract

Koszalin, march 2024

**KOSZALIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**  
**FACULTY OF ELECTRONICS AND COMPUTER SCIENCE**  
**Department of Digital Signal Processing Systems**

**Title:** Liquid Dispensing Machine with Remote Control Capability

**Author:** Józef Franciszek Wantoch Rekowski

**Supervisor:** dr. inż. Paweł Poczekajło

The liquid dispensing machine project focuses on developing a prototype that integrates advanced monitoring and control technologies. The goal is not only to automate the liquid dispensing process but also to ensure ease of use for the user. The work involved designing the hardware, selecting the necessary components, assembling, and conducting test trials. Special emphasis was placed on the user interface, realized through a mobile application, LCD display, and serial port, which facilitates the operation and monitoring of the dispensing process in real-time. This project reflects the trend towards innovative solutions in automation, combining electronic and programming elements to create an integrated system that is versatile and can be adapted to many different work environments. This project highlights the role of the engineer, who through the application of appropriate technologies, influences the optimization of production and service processes.

**Keywords:**

**Fluid dosing**

**Dosing machine**

**Microcontroller**

**Arduino Uno**

**Remote control**

# Spis treści

1. Wstęp .....	6
1.1 Cel i wprowadzenie do projektu .....	6
1.2 Istniejące rozwiązania .....	8
2. Projekt urządzenia .....	10
2.1 Funkcjonalności programowe .....	10
2.1.1 Wprowadzenie do funkcjonalności programowych .....	10
2.1.2 Struktura i architektura oprogramowania .....	10
2.1.3 Komunikacja i sterowanie .....	11
2.1.4 Zarządzanie procesem dozowania .....	12
2.1.5 Obsługa błędów i awarii .....	13
2.2 Funkcjonalności sprzętowe .....	15
2.2.1 Porównanie dostępnych rozwiązań podzespołów sprzętowych automatu .....	15
2.2.2 Role i mechanizmy kluczowych komponentów .....	18
2.2.3 Bezpieczeństwo i niezawodność systemu .....	20
3. Elementy sprzętowe .....	21
3.1. Płytki sterująca .....	21
3.1.1. Mikrokontroler .....	21
3.1.2. Język mikrokontrolera i środowisko .....	22
3.1.3. Projekt płytki PCB .....	23
3.1.3.1 Koncepcja i realizacja płytki PCB .....	23
3.1.3.2 Szczegółowy opis elementów płytki PCB .....	24
3.1.3.3 Analiza i wdrożenie zabezpieczeń sprzętowych .....	25
3.1.3.4 Dokumentacja techniczna i schematy .....	27
3.2. Pompki .....	34
3.3. Waga .....	35
3.4. Moduł przekaźników .....	40
3.5. Interfejs użytkownika .....	43
3.5.1 Wyświetlacz LCD .....	43

3.5.2 Aplikacja mobilna .....	45
3.5.3 Port szeregowy .....	48
4. Aplikacja.....	49
4.1. Kluczowe funkcje .....	49
4.2. Cykl pracy programu .....	57
5. Budowa prototypowego urządzenia i testy.....	60
5.1 Proces montażu .....	60
5.2 Testowanie urządzenia.....	67
6. Podsumowanie.....	69
Bibliografia.....	71
Spis rysunków .....	72
Spis tabel .....	73

# 1. Wstęp

## 1.1 Cel i wprowadzenie do projektu

Automatyzacja procesów przemysłowych i domowych staje się coraz ważniejsza w szybko rozwijającym się świecie technologii. Celem pracy dyplomowej jest stworzenie prototypu automatu dozującego płyny z wykorzystaniem wybranych technik sterowania i monitorowania. W dzisiejszym świecie, gdzie precyzja i wydajność mają ogromne znaczenie, urządzenia tego typu mają za zadanie nie tylko automatyzować proces dozowania, ale także zapewniać łatwą obsługę i kontrolę, zarówno na miejscu, jak i zdalnie.

Głównym celem tego projektu jest zaprojektowanie, zbudowanie i przetestowanie prototypu, który łączy w sobie wybrane technologie z intuicyjną obsługą. Duży nacisk został zaakcentowany na integrację komponentów sprzętowych i oprogramowania sterującego. Umożliwia to korzystanie zarówno z funkcji narzędzi lokalnych, jak i zdalnych.

W pracy opisano, jak połączenie różnych technologii wpływa na wydajność i użyteczność urządzeń. Praca ta polega na kompleksowym procesie tworzenia urządzenia, począwszy od projektu, doboru odpowiednich komponentów i montażu, aż po szczegółowe testy funkcjonalne. W szczególności skupiono się na interakcji użytkownika i omówiono projektowanie interfejsów użytkownika w postaci aplikacji mobilnych i wyświetlaczy LCD. Szczególną uwagę zwrócono na dedykowane rozwiązania w zakresie sterowania urządzeniami, które umożliwiają kompleksową i elastyczną obsługę, jak np. komunikacja szeregową poprzez USB-UART i bezprzewodową przez Bluetooth.

Projekt ten odzwierciedla rosnące zapotrzebowanie na innowacyjne rozwiązania z zakresu automatyki, które łączą elektronikę i programowanie w zintegrowany system. Ważną cechą projektu jest jego elastyczność i możliwość dostosowania do szerokiego zastosowania w różnych środowiskach i warunkach pracy.

Rozwój tego urządzenia ma na celu zademonstrowanie możliwości technicznych, ale także skupienie się na ergonomii i łatwości obsługi. W miarę jak technologia staje się coraz bardziej dostępna, ważne jest tworzenie urządzeń, które będą intuicyjne w obsłudze dla szerokiego grona użytkowników. W kontekście społecznym i gospodarczym automatyzacja oferuje znaczne korzyści, zwiększając wydajność i zmniejszając ryzyko błędów ludzkich.

Intencją mojej pracy jest ukazanie, w jaki sposób odpowiednie rozwiązania mogą wpłynąć na technologię automatyki i sterowania oraz ułatwić funkcjonowanie we współczesnym świecie.

Sekcja poświęcona projektowaniu sprzętu szczegółowo opisuje wybór komponentów, takich jak pompy dozujące, czujniki poziomu cieczy, elementy sterujące i interfejsy komunikacyjne. Ergonomia i użyteczność sprzętu została osiągnięta dzięki zastosowaniu najnowszych technologii interfejsu użytkownika, w tym aplikacji mobilnej i stacjonarnego sterowania za pośrednictwem połączenia szeregowego.

W sekcji oprogramowania opisano szczegółowo rozwój modułowego oprogramowania sterującego, które umożliwia precyzyjną kontrolę procesu dozowania przy jednoczesnym monitorowaniu stanu urządzenia. Dedykowane algorytmy sterowania i techniki programowania zaowocowały przyjaznym dla użytkownika interfejsem.

Elementem projektu dyplomowego jest też analiza bezpieczeństwa i niezawodności, w której przedstawiono metody zastosowane w celu zapewnienia sprawnego działania urządzenia i zabezpieczenia go przed awariami. Omówiono również przeprowadzone testy funkcjonalne, które potwierdziły właściwą dokładność i powtarzalność procesu dozowania oraz osiągnięcie celów założonych w projekcie.

## 1.2 Istniejące rozwiązania

Analiza rynku urządzeń do dozowania płynów ujawnia różnorodność technologii i konstrukcji, z których każda oferuje unikalne zalety i potencjalne ograniczenia. Poniżej przedstawione są dwa istniejące rozwiązania wraz z ich kluczowymi parametrami, zasadami działania, wadami i zaletami.



Rys. 1 BarMix – automat do koktajli

Kluczowe parametry i cechy:

- Zasada działania: to automat do koktajli sterowany za pomocą wbudowanej podstawowej klawiatury, który korzysta z przepływomierzy do precyzyjnego dozowania składników płynnych. Urządzenie zawiera 80 zaprogramowanych przepisów na różnorodne koktajle.
- Precyzja dozowania: Dostosowana do konkretnego przepisu, zwykle w granicach  $\pm 5$  ml w zależności od składnika.
- Zakres przepływu: Zaprojektowany do szybkiego serwowania napojów, zależny od specyficznych wymagań danego koktajlu.
- Sterowanie: Poprzez wbudowaną klawiaturę, umożliwiającą szybki wybór przepisów i sterowanie procesem dozowania.

Wady i zalety:

- Zalety: Szybkie przygotowywanie napojów, łatwość programowania i obsługi, możliwość personalizacji przepisów.
- Wady: Konieczność regularnego czyszczenia przepływomierzy i utrzymania higieny systemu dozującego. Brak możliwości przeprogramowania i zmienienia menu.





Rys. 2 FillMaster – automatyczny system napełniania butelek

Kluczowe parametry i cechy:

- Zasada działania: Urządzenie stosuje przepływomierze do dokładnego dozowania płynów do butelek, co umożliwia zachowanie precyzyjnie określonej objętości produktu finalnego.
- Precyzja dozowania: Zależna od dokładności przepływomierzy, zwykle w granicach  $\pm 1\%$  objętości w zależności od modelu.
- Zakres przepływu: Możliwość dostosowania do różnych wymagań produkcji, od niewielkich objętości po duże pojemności.
- Sterowanie: Systemy napełniania takie jak FillMaster są wyposażone w zaawansowane interfejsy programowalne, które pozwalają na łatwe zarządzanie procesem napełniania i zapisywanie różnych receptur napełniania.

Wady i zalety:

- Zalety: Wysoka precyzja napełniania, możliwość pracy z różnymi rodzajami płynów, automatyczne dostosowanie do różnych rozmiarów butelek.
- Wady: Wysoki koszt urządzenia, potrzeba przestrzegania procedur kalibracji i konserwacji.

Rozwiązania takie jak BarMix i FillMaster ilustrują postęp technologiczny w dziedzinie automatyzacji procesów dozowania. Z jednej strony mamy urządzenie zaprojektowane do szybkiego i efektywnego przygotowywania szerokiej gamy koktajli, z drugiej – system napełniania butelek zapewniający wysoką precyzję napełniania płynów do opakowań o różnych pojemnościach. Obie konstrukcje wykorzystują zaawansowane technologie, takie jak przepływomierze, do precyzyjnego dozowania, podkreślając znaczenie dokładności i powtarzalności w tych procesach.

## **2. Projekt urządzenia**

### **2.1 Funkcjonalności programowe**

#### **2.1.1 Wprowadzenie do funkcjonalności programowych**

Opracowanie automatu do dozowania cieczy z mikrokontrolerem stanowi istotny rozwój w wielu obszarach. Motywacją do opracowania oprogramowania tego urządzenia była potrzeba stworzenia precyzyjnego, niezawodnego i łatwego w obsłudze systemu, który może spełnić szeroki zakres wymagań dotyczących dozowania cieczy. Osiągnięcie tego celu wymagało nie tylko wiedzy technicznej i umiejętności, ale także głębokiego zrozumienia potrzeb użytkownika końcowego i szczegółów procesów, które miały zostać zautomatyzowane.

Wpływ oprogramowania na wydajność i niezawodność całego systemu jest kluczowa. Dzięki precyzyjnie zaimplementowanym algorytmom automat może dokładnie mierzyć określone ilości cieczy z zachowaniem spójności i powtarzalności. Skutkuje to zwiększoną wydajnością pracy i mniejszą liczbą błędów manualnych. Niezawodność systemu zwiększają mechanizmy zarządzania awariami i błędami, które zapewniają ciągłość działania systemu nawet w przypadku wystąpienia nieoczekiwanych problemów.

Dlatego też opracowanie oprogramowania dla automatu dozującego płyny było zadaniem wymagającym nie tylko kompetencji technicznych, ale także innowacyjnego myślenia i umiejętności dostosowania się do zmieniających się warunków i wymagań. W rezultacie powstał system, który nie tylko automatyzuje proces dozowania, ale także zwiększa jego dokładność i wydajność, otwierając nowe możliwości dla szerokiej gamy zastosowań przemysłowych i domowych. Oprogramowanie jest przykładem tego, jak zaawansowana technologia może zostać wykorzystana do usprawnienia rutynowych procesów, przynosząc korzyści nie tylko użytkownikowi, ale całej branży.

#### **2.1.2 Struktura i architektura oprogramowania**

Oprogramowanie mikrokontrolera zastosowane w automacie do dozowania płynów jest doskonałym przykładem tego, jak nowoczesna technologia może ułatwić manualne procesy. Zaprogramowane w języku C przy użyciu Arduino IDE, oprogramowanie zostało zaprojektowane z myślą o użytkowniku, zapewnia modułowość i wydajność, umożliwiając efektywne zarządzanie i kontrolowanie wszystkich aspektów dozownika.

Kluczem do sukcesu tego systemu jest jego modułowa architektura. Oprogramowanie składa się z szeregu kluczowych komponentów, które razem tworzą kompletny i niezawodny system. Każdy z tych modułów ma określoną rolę i funkcję oraz może precyzyjnie koordynować i synchronizować działanie całego urządzenia.

Pierwszym z tych modułów jest system komunikacji bezprzewodowej, który działa jako łącznik między sprzętem a użytkownikiem. Umożliwia on zdalne sterowanie i monitorowanie urządzenia, zapewniając wygodę i elastyczność użytkowania. Kolejnym ważnym modulem jest wyświetlacz, który działa jako interfejs użytkownika i wyświetla niezbędne informacje o stanie i działaniu sprzętu.

Głównym elementem całego systemu jest jednak moduł sterowania procesem dozowania. To tutaj znajdują się złożone algorytmy odpowiedzialne za dokładne dozowanie cieczy. Wykorzystanie czujników tensometrycznych w tym module zapewniają precyzyjne dozowanie składników, co jest kluczowe dla utrzymania jakości i spójności produktu końcowego. Dzięki modułom pomocniczym zapewniającym funkcje takie jak kontrola bezpieczeństwa i monitorowanie przepływu materiału, oprogramowanie automatu do dozowania cieczy stanowi kompletne rozwiązanie.

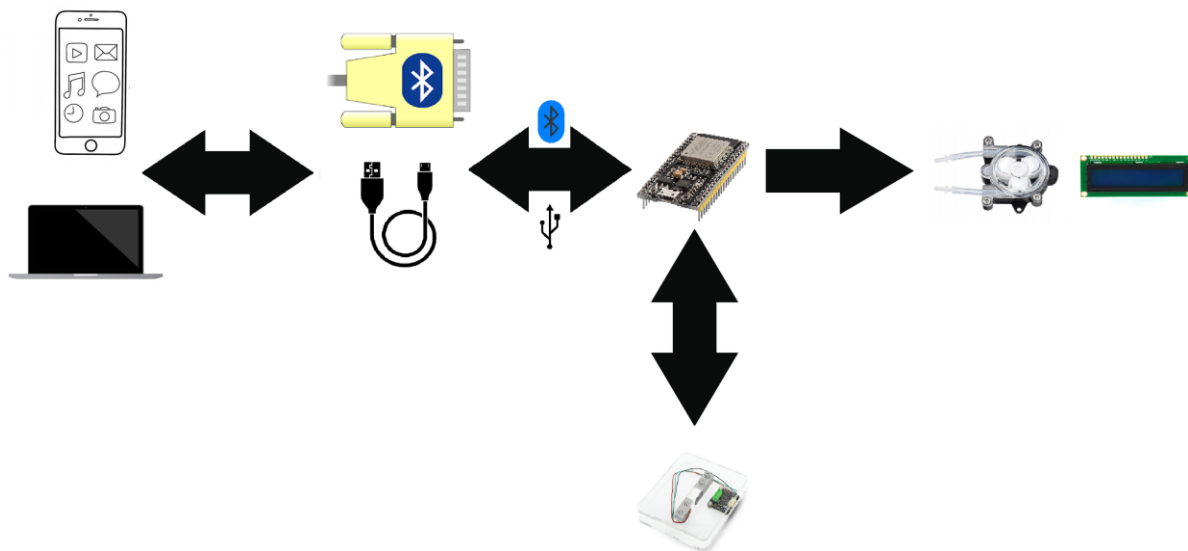
Integracja wszystkich tych modułów tworzy nie tylko wydajny, ale także bardzo elastyczny system. Modułowa architektura oprogramowania ułatwia jego zmianę i aktualizację, co jest bardzo ważne w świecie ciągłych innowacji. Dzięki temu automat dozowania cieczy z mikrokontrolerem ESP32 jest zaawansowanym rozwiązaniem, który łączy w sobie najnowsze osiągnięcia w dziedzinie programowania i inżynierii.

### **2.1.3 Komunikacja i sterowanie**

W urządzeniach dozujących ciecze, komunikacja i kontrola są nie tylko wartością dodaną, ale także integralną częścią, która określa interaktywność i dostępność urządzenia. Prezentowany system opiera się na dwóch głównych kanałach komunikacji - Bluetooth i USB - i oferuje wszechstronny sposób monitorowania i sterowania urządzeniem.

Moduł Bluetooth przy użyciu specjalnej aplikacji na smartfonie lub innego urządzenia mobilnego (patrz rys. 1), umożliwia podstawowe funkcje, takie jak rozpoczęcie dozowania i wybór programu oraz bardziej złożone operacje, np. ustawianie parametrów dozowania i odbieranie powiadomień o stanie. Ta metoda komunikacji dostarcza użytkownikowi niezbędnych informacji oraz umożliwia reakcję procesu dozowania w czasie rzeczywistym.

Z drugiej strony połączenie USB zapewnia niezawodną podstawę do konfiguracji urządzenia i przesyłania danych. Kanał ten jest szczególnie ważny w początkowej fazie konfiguracji urządzenia, umożliwiając precyzyjne dostosowanie parametrów dozowania do konkretnych potrzeb. Korzystając z laptopa lub komputera stacjonarnego, użytkownik może pobierać nowe ustawienia, aktualizować oprogramowanie i przysyłać dane wymagane do działania urządzenia; USB jest zarówno bezpiecznym portem, który zapewnia dogłębną interakcję z urządzeniem, jak i otwiera szeroki zakres możliwości personalizacji i optymalizacji.



Rys. 3 Schemat struktury komunikacji modułów automatu.

Schemat struktury komunikacji pokazuje Powyższy schemat struktury komunikacji pokazuje, że mikrokontroler ESP32, pełni rolę pośrednika między różnymi formami interfejsu a użytkownikiem końcowym. Wiele funkcji i protokołów jest wykorzystywanych do obsługi różnych form komunikacji, co odzwierciedla elastyczność i zdolność adaptacji tego systemu. Dodatkowo użytkownik ma do dyspozycji szereg opcji, od prostego połączenia bezprzewodowego z aplikacją mobilną, przez przewodowe połączenie USB z laptopem, po integrację z innymi systemami za pośrednictwem mikrokontrolera.

#### 2.1.4 Zarządzanie procesem dozowania

Sterowanie procesem dozowania cieczy w nowoczesnych systemach jest zadaniem wymagającym precyzyjnej współpracy i kontroli między oprogramowaniem a sprzętem. System opiera się na szeregu algorytmów oprogramowania, które interpretują dane wejściowe z czujnika tensometrycznego. Czujnik tensometryczny jest kluczowym elementem sprzętowym do dokładnego pomiaru masy dozowanej cieczy.

Algorytmy te stanowią podstawę funkcjonalności oprogramowania dozownika. Wykorzystując dane z czujnika tensometrycznego, oprogramowanie wykonuje niezbędne obliczenia i steruje sprzętowym elementem systemu - pompą perystaltyczną. Ze względu na swoją konstrukcję pompa jest w stanie pompować określoną ilość cieczy zgodnie z wymaganiami wagowymi określonymi przez algorytm. Takie dozowanie jest nie tylko bardzo dokładne, ale także wszechstronne, ponieważ jest niezależne od fizycznych i chemicznych właściwości cieczy, takich jak lepkość i gęstość.

W przypadku różnych rodzajów cieczy i warunków pracy, system musi być niezwykle elastyczny. Oprogramowanie do automatyzacji umożliwia dostosowanie parametrów pracy pompy perystaltycznej zgodnie z odczytami tensometru. Na przykład, jeśli konieczne jest dozowanie cieczy o określonej masie, użytkownik wprowadza odpowiednią wartość do programu i wybiera go za pośrednictwem menu interfejsu użytkownika. Następnie oprogramowanie aktywuje pompę perystaltyczną i monitoruje wagę dozowanej cieczy w czasie rzeczywistym. Gdy waga osiągnie wartość zadaną, algorytm odpowiedzialny za sterowanie przerywa przepływ i zapewnia dokładne dozowanie bez przekraczania wymaganej wagi.

### **2.1.5 Obsługa błędów i awarii**

Utrzymanie płynnego działania urządzeń dozujących ciecze zależy w dużej mierze od skuteczności systemu reagowania na błędy i usterki. Pomimo złożonej konstrukcji, system został zaprojektowany tak, aby dostarczać proste i jasne komunikaty niezależnie od poziomu wiedzy technicznej użytkownika. Pozwala to na kontynuowanie pracy dozownika przy minimalnych zakłóceniach, zarówno podczas rutynowej pracy, jak i w przypadku nieprzewidzianych problemów.

W automacie do dozowania płynów użytkownik nie jest obciążony wyborem wagi lub objętości poszczególnych płynów. Zamiast tego korzysta z receptur w menu, które zostały zaprogramowane zgodnie z parametrami technicznymi urządzenia. Jeśli użytkownik dokona nieprawidłowego wyboru, oprogramowanie automatycznie zatrzymuje operację dozowania i wyświetla komunikaty o błędach. Komunikaty te są wydawane w prostej i przejrzystej formie, informując użytkownika o błędzie i sugerując działania zgodnie z zaleceniami systemu.

W przypadku awarii, takiej jak zatkanie pompy perystaltycznej, system zapewnia użytkownikowi możliwość szybkiego zatrzymania procesu dozowania. Możliwość

natychmiastowego zatrzymania pracy jest niezbędna, aby zapobiec dalszym komplikacjom, zminimalizować ilość odpadów i zapewnić bezpieczeństwo. Aplikacja "Serial Bluetooth Terminal" i monitor szeregowy zapewniają użytkownikowi stały dostęp do informacji o stanie automatu, a także interfejs do natychmiastowego reagowania na błędy.

## 2.2 Funkcjonalności sprzętowe

### 2.2.1 Porównanie dostępnych rozwiązań podzespołów sprzętowych automatu

Projekt automatu do dozowania płynów wymaga analizy dostępnych technologii i komponentów, aby zapewnić wysoką dokładność, niezawodność i łatwość obsługi. Odmierzanie przez wagę, komunikacja Bluetooth, zastosowanie przekaźników oraz wybór platformy ESP32 DevKit stanowią kluczowe elementy projektu, które zostały wybrane na podstawie ich specyfikacji technicznych, efektywności i wsparcia społeczności. Rozpatrzenie alternatywnych rozwiązań, takich jak przepływomierze, różne protokoły bezprzewodowe i elementy sterujące (MOSFET), oraz porównanie platform mikrokontrolerowych umożliwia zrozumienie motywacji stojącej za podjętymi decyzjami projektowymi.

W procesie wyboru odpowiedniej metody odmierzania płynów dla projektowanego automatu, przeprowadzono szczegółową analizę trzech różnych technik: odmierzania przez wagę, zastosowania przepływomierzy, oraz pomiaru czasu działania pompy. Poniższa tabela przedstawia porównanie tych metod pod kątem kluczowych parametrów, takich jak dokładność, zalety i wady. Celem tego porównania jest wybór najbardziej optymalnego rozwiązania, które zapewni wysoką dokładność dozowania, niezależność od właściwości fizycznych płynów oraz możliwie najprostszy mechanizm działania, minimalizując jednocześnie złożoność systemu.

Tab. 1 Porównanie metod odmierzania płynów.

Cecha	Odmierzanie przez wagę	Przepływomierz	Czas działania pompy
Dokładność	$\pm 0.1$ gram	$\pm 0.5\%$ dla zakresu przepływu	$\pm 3\%$
Zalety	Wysoka precyzja pomiaru, niezależność od właściwości płynów	Prosta instalacja, dobra dokładność przy niższych kosztach niż systemy ważące, efektywność w szerokim zakresie przepływów	Niskie koszty implementacji, prostota konstrukcji i obsługi
Wady	Wysokie koszty zakupu i instalacji, konieczność regularnej kalibracji, większa złożoność systemu	Wrażliwość na zmiany lepkości i gęstości płynów, konieczność dostosowania do konkretnego zakresu przepływów	Zmienne warunki pracy, właściwości fizyczne płynu mogą wpływać na dokładność, zależność od charakterystyk pracy pompy i jej zużycia

Wybór metody odmierzania przez wagę jest podyktowany jej wysoką dokładnością ( $\pm 0.1$  gram) oraz niezależnością od właściwości płynów, co jest kluczowe w aplikacjach wymagających precyzyjnego dozowania. Mimo potrzeby regularnej kalibracji, ta metoda zapewnia niezbędną kontrolę i spójność procesu dozowania.

Rozpatrzenie dostępnych technologii komunikacyjnych miało na celu identyfikację najbardziej odpowiedniego rozwiązania do zastosowania w projekcie automatu do dozowania płynów. Analiza skupiła się na takich parametrach jak pasmo częstotliwości, prędkość transmisji danych, zasięg, zużycie energii, topologia sieci, bezpieczeństwo oraz typowe zastosowania. Poniższa tabela prezentuje porównanie trzech popularnych technologii: Bluetooth, WiFi oraz ZigBee, w kontekście ich przydatności do realizacji projektu, w którym kluczowe są niskie zużycie energii, bezpieczeństwo transmisji oraz łatwość wdrożenia.

Tab. 2 Analiza technologii komunikacyjnych dla aplikacji.

Kategoria	Bluetooth	WiFi	ZigBee
Pasmo częstotliwości	2.4 GHz	2.4 GHz i 5 GHz	2.4 GHz
Prędkość transmisji danych	1-3 Mbps	Do 9.6 Gbps (WiFi 6)	250 Kbps
Zasięg	Do 100 m	50 m wewnątrz, 100 m na zewnątrz	10-100 m
Zużycie energii	Niskie	Wysokie	Niskie
Topologia sieci	Ad hoc, gwiazda	Punkt do huba, ad hoc	Siatka, gwiazda, drzewo
Bezpieczeństwo	Wysokie (szyfrowanie, autentykacja)	Wysokie (WPA2/WPA3)	Wysokie (AES-128)
Zastosowania	Urządzenia przenośne, IoT	Dostęp do Internetu, sieci LAN	Automatyka domowa, IoT

Bluetooth został wybrany ze względu na jego zasięg (do 100 m), niskie zużycie energii oraz wysokie bezpieczeństwo, co czyni go idealnym rozwiązaniem dla urządzeń przenośnych. Tworzenie za pomocą sieci ad hoc oraz prostota wdrożenia w porównaniu do WiFi i ZigBee skierowały decyzję w jego stronę, ponieważ nie potrzebuje zewnętrznego routera jak przez WiFi i jest mniej skomplikowany w porównaniu do ZigBee.

Wybór odpowiednich elementów sterujących ma kluczowe znaczenie dla funkcjonalności i niezawodności automatu do dozowania płynów. W niniejszej analizie porównano przełączniki i MOSFETy pod kątem ich sposobu działania, efektywności, łatwości wdrożenia,



niezawodności, szybkości działania, prądu pracy, napięcia pracy oraz zastosowania w projekcie. Celem tej analizy jest wybór najbardziej efektywnego i niezawodnego rozwiązania, które zapewni proste i skuteczne sterowanie komponentami automatu, takimi jak pompy dozujące.

Tab. 3 Analiza elementów sterujących.

Kategoria	Przełącznik	MOSFET
Sposób działania	Proste włączanie/wyłączanie	Skomplikowane sterowanie
Efektywność	Dobra dla aplikacji nie wymagających regulacji mocy	Nadmiarowa dla prostych operacji on/off
Łatwość wdrożenia	Proste w instalacji i wymagają mniejszej konfiguracji	Wymaga bardziej złożonej konfiguracji i programowania
Niezawodność	Wysoka w prostych operacjach on/off, długa żywotność	Może wymagać dodatkowego chłodzenia i ochrony
Szybkość działania	Szybkość odpowiednia, typowo 5-10 ms	Szybka reakcja, idealna do zastosowań wymagających szybkiego reagowania
Prąd pracy	Obsługuje prądy od kilku A do ponad 10A	Zależny od modelu, ale zazwyczaj niższy niż przełączniki
Napięcie pracy	Od 5V do 230V AC	Niskie do średnich napięć, zależne od typu
Zastosowanie w projekcie	Idealne do sterowania pompami, gdy potrzebne jest tylko włączanie i wyłączanie	Nadmiarowe dla podstawowych zastosowań, gdzie nie jest wymagana regulacja prędkości

Przełączniki zostały wybrane jako elementy sterujące w projekcie z uwagi na ich prostotę włączania/wyłączania, wysoką niezawodność w prostych operacjach oraz łatwość wdrożenia. Ich dobra efektywność dla aplikacji, które nie wymagają regulacji mocy, oraz zdolność do obsługi wysokich prądów pracy sprawiają, że są one idealne do sterowania pompami w tym projekcie.

Finalnym etapem analizy jest porównanie czterech platform mikrokontrolerowych: ESP32 DevKitV4, Arduino Uno, ESP8266, i STM32F103C8T6. Porównanie to obejmuje aspekty takie jak rdzenie CPU, pamięć RAM i Flash, obecność WiFi i Bluetooth, porty I/O, ADC, oraz wsparcie społeczności. Wybór odpowiedniego mikrokontrolera jest kluczowy dla zapewnienia wymaganej funkcjonalności automatu, w tym zdalnej komunikacji, precyzyjnego sterowania i elastyczności rozwoju projektu.

Tab. 4 Wybór mikrokontrolera.

Cecha	ESP32 DevKitV4	Arduino Uno	ESP8266	STM32F103C8T6
Rdzenie CPU	2x Xtensa LX6 @ 240 MHz	1x ATmega328P @ 16 MHz	1x Tensilica L106 @ 160 MHz	1x ARM Cortex-M3 @ 72 MHz
Pamięć RAM	520 KB	2 KB	128 KB	20 KB
Pamięć Flash	4 MB	32 KB	4 MB	64 KB
WiFi	Tak	Nie	Tak	Nie
Bluetooth	Tak (BLE 4.2)	Nie	Nie	Nie
Porty I/O	Do 34	14	Do 20	Do 37
ADC	18-kanalowy	6-kanalowy	1-kanalowy	10-kanalowy
DAC	Nie	Nie	Nie	Nie
USB	Tak	Tak	Tak	Tak
Wsparcie społeczności	Wysokie	Bardzo wysokie	Wysokie	Wysokie

ESP32 DevKit został wybrany ze względu na jego wyjątkowe cechy, takie jak dwurdzeniowy procesor CPU, obszerne zasoby pamięci RAM i Flash, wbudowane WiFi i Bluetooth (BLE 4.2), co zapewnia wszechstronne możliwości komunikacyjne i procesowe. Jego liczne porty I/O oraz wsparcie społeczności dodatkowo ułatwiają implementację projektu i eksperymentowanie.

### 2.2.2 Role i mechanizmy kluczowych komponentów

Działanie automatu do dozowania płynów opiera się na kilku ważnych komponentach sprzętowych. Pierwszym ważnym elementem jest pompa perystaltyczna, której specjalna konstrukcja zapewnia bezdotykowe i higieniczne przepompowanie płynów. Pompa jest bezpośrednio sterowana przez oprogramowanie, które precyzyjnie kontroluje ilość dozowanego płynu w oparciu o dane z czujników, takich jak tensometry. Pompa zapewnia wysoką dokładność dozowania, która jest niezbędna do utrzymania spójności i jakości produktu końcowego.

Czujnik tensometryczny to kolejny ważny komponent, który dostarcza oprogramowaniu informacji o masie dozowanej cieczy. Dokładność i niezawodność pomiaru tego czujnika jest

podstawą dokładnego dozowania i dostosowania procesu do różnych wymagań produkcyjnych. Informacje te są przetwarzane przez oprogramowanie, które wykorzystuje je do dostosowania działania pompy perystaltycznej w celu zapewnienia stałej dokładności pomiaru każdej części cieczy.

Kalibracja czujnika wagi tensometrycznej jest wykonywana przy użyciu sprawdzonej biblioteki i ma kluczowe znaczenie dla dokładności pomiaru masy dozowanej cieczy. Dokładne dane wejściowe dostarczane przez skalibrowany czujnik są ważne dla oprogramowania mikrokontrolera, które dostosowuje działanie pompy w oparciu o te dane, aby zapewnić spójne wyniki dozowania. Proces ten zapewnia, że każda partia cieczy jest dozowana z taką samą dokładnością, niezależnie od liczby cykli pracy. Integracja tych zaawansowanych komponentów sprzętowych z oprogramowaniem pozwala systemowi dozowania dynamicznie dostosowywać się do zmieniających się warunków, zapewniając stałą dokładność dozowania. Oprogramowanie, wykorzystując dane z czujników, może dostosowywać parametry pracy urządzenia w czasie rzeczywistym, zapewniając stałą jakość i jednorodność produktu końcowego.

Zadaniem mikrokontrolera ESP32 jest koordynacja pracy wszystkich komponentów sprzętowych i implementacja algorytmów programowych. ESP32 odpowiedzialny jest za kontrolę procesu dozowania oraz zapewnienie użytkownikowi różnych interfejsów, takie jak aplikacja mobilna, port szeregowy i wyświetlacz LCD. Mikrokontroler ESP32 zapewnia stabilność całego urządzenia, ponieważ kontroluje czas pracy pompy perystaltycznej za pomocą zaawansowanego oprogramowania. Program wykorzystuje wstępnie zdefiniowane receptury dozowania, aby dostosować parametry pracy do bieżących potrzeb, kompensując w ten sposób możliwe zmienne, takie jak gramatura konkretnych płynów. Korzystając z algorytmów zaprojektowanych w celu dokładności, oprogramowanie może również dostosować parametry pracy urządzenia i skorygować nawet najmniejsze odchylenia od wartości zadanych. Takie podejście zapewnia stałą dokładność w każdej operacji dozowania, zapewniając, że każdy proces dozowania jest dokonywany z niezrównaną precyzją.

Port szeregowy jest kolejnym ważnym kanałem komunikacji, szczególnie przydatnym do konfiguracji technicznej i aktualizacji oprogramowania. Port szeregowy jest zwykle dostępny za pośrednictwem komputera, co pozwala na głębszą interakcję z oprogramowaniem automatu oraz umożliwia zmianę parametrów pracy.

Ponadto proces dozowania może być monitorowany w czasie rzeczywistym za pomocą wyświetlacza LCD i aplikacji mobilnej. Podczas gdy wyświetlacz służy jako wskaźnik stanu i alarmów, aplikacja mobilna zapewnia głębszą interakcję z urządzeniem, umożliwiając dokładne monitorowanie i kontrolę parametrów procesu. Pozwala to użytkownikom na łatwe dostosowanie procesu dozowania do ich konkretnych potrzeb, zwiększając możliwości adaptacyjne i elastyczność całego systemu.

### **2.2.3 Bezpieczeństwo i niezawodność systemu**

W zaprojektowanym shieldzie, który jest integralną częścią automatu do dozowania cieczy, bezpieczeństwo sprzętowe jest kluczem do zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności całego systemu. Zaimplementowany bezpiecznik szklany stanowi ochronę przed potencjalnymi przeciążeniami, które mogłyby uszkodzić wrażliwe elementy elektroniczne, a nawet spowodować pożar. Dzięki jego obecności wszystkie niebezpieczne wzrosty prądu są natychmiast wykrywane i neutralizowane, szybko przerywając obwód, zapobiegając dalszym uszkodzeniom.

Dodatkowo mostek prostowniczy chroni układ przed możliwymi problemami związanymi ze zmianami kierunku napięcia. Jest to szczególnie ważne, jeśli urządzenie jest podłączone do różnych źródeł zasilania, gdzie istnieje ryzyko błędnego podłączenia. To zabezpieczenie przed napięciem odwrotnym jest niezbędne do utrzymania integralności elementów elektronicznych osłony i zapewnienia, że obwód pozostanie bezpieczny i nieuszkodzony nawet w przypadku awarii.

Cała konstrukcja shielda, włączając w to bezpiecznik szklany i mostek prostowniczy, tworzy zintegrowany system bezpieczeństwa współpracujący z mikrokontrolerem ESP32 i modułami dodatkowymi. Oprócz wysokiego bezpieczeństwa pracy, współpraca ta zapewnia niezawodność automatu do dozowania płynów.



służy do bezpośredniego połączenia z komputerem, co jest ważne dla programowania, konfiguracji systemu i debugowania. Służy głównie do bezpośredniego połączenia z komputerem.

Zaawansowane funkcje ESP32, takie jak 18-kanalowy przetwornik ADC, nie tylko umożliwiają precyzyjne sterowanie i odczyt, ale także zapewniają elastyczność w dostosowywaniu się do różnych aplikacji i środowisk operacyjnych, w których automat jest używany. Ta wszechstronność, w połączeniu z możliwościami komunikacyjnymi mikrokontrolera, znacznie rozszerza funkcjonalność automatu, czyniąc go odpowiednim dla nowoczesnych systemów IoT.

Wybór ESP32 DevKitV4 jest dodatkowo wspierany przez aktywną i bogatą w zasoby społeczność deweloperów. Dostępność licznych bibliotek i zasobów, a także aktywnych forów i grup dyskusyjnych znacznie przyspiesza rozwój oprogramowania, umożliwia szybkie rozwiązywanie problemów i ułatwia wdrażanie nowych funkcji. Stosunkowo niski koszt mikrokontrolera w porównaniu do oferowanych funkcji sprawia, że ESP32 DevKitV4 jest atrakcyjną opcją dla projektów, w których ważna jest równowaga między zaawansowanymi funkcjami a kontrolą budżetu.

### **3.1.2. Język mikrokontrolera i środowisko**

Wybór języka programowania C w środowisku Arduino IDE dla mikrokontrolera ESP32 DevKitV4 w projekcie automatu do dozowania płynów wynika ze starannej analizy potrzeb systemu i wymagań technicznych. Język C, znany ze swojej wydajności i bliskości sprzętowej, zapewnia wymaganą precyzję i kontrolę nad zasobami mikrokontrolera. Ma to kluczowe znaczenie dla aplikacji wymagających szybkiego i niezawodnego przetwarzania zdarzeń sprzętowych oraz wydajnego zarządzania pamięcią.

Z drugiej strony, środowisko Arduino IDE jest znane ze swojej prostoty, dostępności i bogatego wsparcia społeczności, znacznie obniżając barierę wejścia dla programistów na wszystkich poziomach. Arduino posiada kompletny zestaw zintegrowanych narzędzi programistycznych do szybkiego kompilowania kodu i ładowania go do urządzenia. Zapewnia również szeroki zakres bibliotek i przykładów, aby przyspieszyć rozwój projektu i ułatwić wdrażanie nowych funkcji.

Integracja WiFi i Bluetooth w mikrokontrolerze ESP32 oraz jego natywna obsługa w środowisku Arduino IDE i bibliotece C były również czynnikami wpływającymi na wybór

tej platformy. Umożliwia to projektowanie elastycznych, interaktywnych aplikacji do zdalnego sterowania, które mogą być dostępne z urządzeń mobilnych i komputerów. Zdalna komunikacja nie tylko rozszerza funkcjonalność aplikacji, ale także wprowadza nowe sposoby interakcji z użytkownikiem.

Warto również zauważyć, że Arduino IDE i język C zyskały ogromne wsparcie ze strony światowej społeczności programistów. Szeroka wiedza, gotowe rozwiązania i dostęp do wsparcia technicznego znacznie ułatwiają rozwiązywanie problemów, które mogą pojawić się w trakcie rozwoju projektu. Co więcej, relatywnie niski koszt urządzeń i oprogramowania opartego na Arduino sprawia, że jest to atrakcyjna opcja zarówno dla hobbystów, jak i profesjonalnych projektantów systemów wbudowanych.

### **3.1.3. Projekt płytki PCB**

#### *3.1.3.1 Koncepcja i realizacja płytki PCB*

Opracowanie płytki drukowanej (PCB) dla systemu dozowania cieczy było zadaniem, które wymagało nie tylko technicznej wiedzy, ale także innowacyjnego podejścia, aby sprzęt był wysoce funkcjonalny, bezpieczny i niezawodny. Kluczowym elementem procesu było staranne rozmieszczenie komponentów, aby zapewnić działanie systemu i chronić go przed potencjalnymi zagrożeniami.

Wybór programu Eagle w wersji 9.6.2 do zaprojektowania płytki PCB automatu do dozowania płynów był świadomą decyzją opartą na szczegółowej analizie dostępnych funkcji. Szeroki zasób funkcji programu Eagle, dzięki swojej elastyczności pozwolił na zaprojektowanie schematu elektrycznego obwodu i układu płytki drukowanej. Intuicyjny interfejs użytkownika oraz obszerna biblioteka komponentów elektronicznych znacznie przyspieszyły proces projektowania, co pozwoliło na skupieniu się na optymalizacji obwodów i innowacyjnych rozwiązaniach.

Jedną z kluczowych zalet Eagle jest obszerny zakres dostępnych bibliotek. Program ten zapewnia dostęp do ogromnej liczby gotowych komponentów i modułów, co znacznie upraszcza proces projektowania. Co więcej, biblioteki te są stale rozwijane i aktualizowane zarówno przez twórców oprogramowania, jak i społeczność użytkowników.

Centralnym elementem projektu jest mostek prostowniczy, który odgrywa rolę w ochronie przed odwrotnym podłączeniem napięcia (polaryzacją). Ten ważny poziom ochrony

zabezpiecza elektronikę przed uszkodzeniami spowodowanymi błędami w instalacji lub naprawie urządzenia.

Ponadto zastosowanie stabilizatora napięcia, które zapewnia stabilne zasilanie 5 V, ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia ciągłego zasilania części logicznej, modułów i czujników. Jest to szczególnie ważne dla zapewnienia prawidłowego działania mikrokontrolera ESP32. Stabilizator zapewnia, że wahania napięcia nie wpływają negatywnie na działanie urządzenia.

Użyteczność urządzenia zwiększa integracja diod LED jako wskaźników stanu zasilania, umożliwiając użytkownikowi łatwe sprawdzenie stanu działania automatu. W ten sposób użytkownik może określić, czy system jest prawidłowo zasilany.

Projekt płytki obejmuje również sekcje zasilania :

- 12V - przeznaczona dla zasilania pomp,
- 5V - przeznaczona głównie dla modułów i czujników, które wymagają tego poziomu napięcia do normalnej pracy,
- 3,3V - przeznaczona do zasilania komponentów niskonapięciowych.

#### *3.1.3.2 Szczegółowy opis elementów płytki PCB*

Kluczowe elementy konstrukcyjne płytki PCB obejmują szklane bezpieczniki i złącza ARK na każdym pinie oraz zasilanie mikrokontrolera w celu zapewnienia stabilnych połączeń i modułowości systemu. Sekcje: 12V, 5V, 3.3V i bezpośrednie zasilanie mikrokontrolera - każda z nich ma diodę, która jest zabezpieczona rezystorem, ograniczającym prąd, aby zapobiec uszkodzeniu.

Sekcja zasilania pozwala na łatwe i bezpieczne podłączenie zewnętrznych źródeł zasilania, takich jak silniki lub inne urządzenia wymagające wyższego napięcia. Zapewnia to nie tylko stabilne zasilanie poszczególnych komponentów, ale także ułatwia konserwację i naprawę w razie potrzeby.

Głównym elementem zabezpieczającym jest mostek prostowniczy, który gwarantuje ochronę przed odwrotnym podłączeniem napięcia i chroni wrażliwe podzespoły elektroniczne przed ewentualnym uszkodzeniem. Stabilizator napięcia L7805CV zapewnia stabilne napięcie 5 V oraz jest niezbędny dla sekcji logicznej oraz innych modułów i czujników, które wymagają tego poziomu napięcia do normalnej pracy. Ponadto w projekcie przewidziano sekcję 12 V do



zasilania silników i innych komponentów wymagających wyższego napięcia. Sekcje zasilania 5 V i 3,3 V są dostępne dla różnych komponentów systemu, takich jak waga tensometryczna i wyświetlacz LCD. Precyzyjna konstrukcja tych sekcji zapewnia stabilną pracę i minimalizuje ryzyko zakłóceń elektromagnetycznych. Otwiera to również możliwości rozwoju urządzeń o różne dodatkowe funkcje i moduły.

Bezpieczniki szklane są ważnym elementem bezpieczeństwa i chronią system przed nadmiarowym poborem prądu i możliwymi uszkodzeniami. Obecność szklanych bezpieczników zapewnia specjalny poziom ochrony delikatnych komponentów elektronicznych, zwłaszcza w przypadku nieprzewidzianych okoliczności.

Każdy pin mikrokontrolera został zaprojektowany z myślą o łatwym i stabilnym podłączeniu. Dla każdego pinu mikrokontrolera znajduje się wyprowadzenie, które kończy się na śrubowym złączu ARK. Dla sekcji zasilania przeznaczone jest po 10 wyjść, co pozwala na łatwą integrację zewnętrznych modułów i czujników oraz elastyczne dostosowywanie urządzenia. Dzięki temu użytkownicy mogą łatwo rozbudować system o dodatkowe funkcjonalności lub zmodyfikować istniejące.

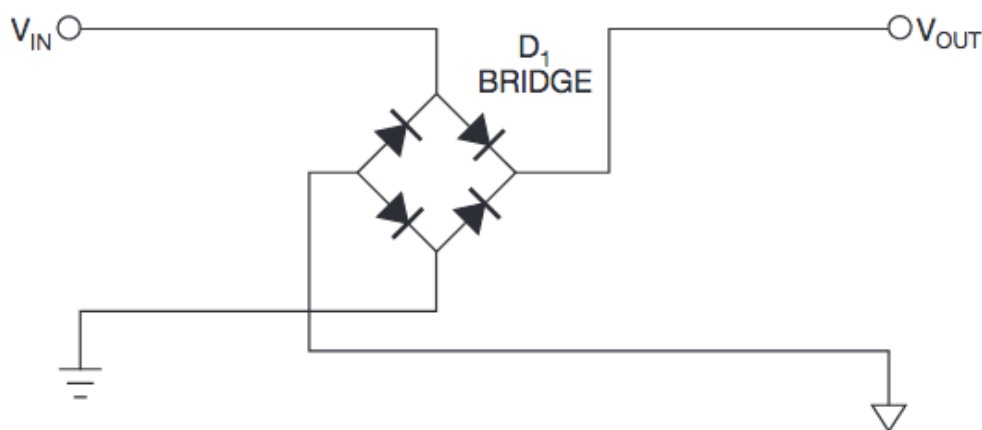
Kolejnym ważnym aspektem konstrukcji jest zastosowanie dwóch kondensatorów elektrolitycznych i dwóch ceramicznych w stabilizatorze napięcia. Obecność tych kondensatorów jest niezbędna do filtrowania napięć wejściowych i wyjściowych stabilizatora oraz zapewnienia czystego i stabilnego zasilania całego systemu. Taka kombinacja kondensatorów skutecznie redukuje szумы i wahania napięcia, które mogą negatywnie wpływać na wydajność urządzenia.

Projekt płytki PCB odzwierciedla również potrzebę łatwej integracji z zewnętrznymi modułami i czujnikami, co osiągnięto dzięki zastosowaniu złączy i precyzyjnemu poprowadzeniu ścieżek sygnałowych. Każde wyjście mikrokontrolera zostało zaprojektowane z myślą o łatwym i stabilnym połączeniu, co jest kluczem do modułowości systemu i łatwości implementacji różnych funkcjonalności.

### *3.1.3.3 Analiza i wdrożenie zabezpieczeń sprzętowych*

Podczas projektowania automatycznego dozownika płynów szczególną uwagę zwrócono na elementy bezpieczeństwa, które zapewniają niezawodne i bezpieczne działanie urządzenia. Wybór odpowiedniego mostka prostowniczego miał kluczowe znaczenie pod względem parametrów elektrycznych i wymagań przestrzennych. Komponenty te zostały starannie

dobrane ze względu na ich funkcjonalność oraz odporność na różne warunki pracy. Projekt mostka wymagał zrozumienia procesów elektrycznych i przewidywania możliwych scenariuszy awarii, aby być odpornym na przypadkowe błędy ludzkie i wahania w sieci zasilającej.



Rys. 5 Schemat mostka Graetza.

Schemat przedstawia mostek Gretza, obwód często używany do zapobiegawczego odwracania prądu stałego (DC). Składa się on z czterech diod prostowniczych połączonych w taki sposób, że niezależnie od kierunku prądu wejściowego, prąd zawsze płynie w tym samym kierunku na wyjściu.

Gdy prąd zasilający płynie w zbieżnym kierunku, przechodzi przez dwie z czterech diod, które przewodzą jednocześnie, umożliwiając przepływ prądu do wyjścia. Jeśli prąd zasilający ma przeciwną polaryzację, pozostałe dwie diody przewodzą prąd i kierują go do wyjścia z prawidłową polaryzacją. W ten sposób mostek Gretza nie tylko prostuje napięcie, ale także chroni obwód przed uszkodzeniem, które mogłoby wystąpić, gdyby polaryzacja prądu zasilającego została odwrócona.

Przełącznik zasilania jest prostym, ale ważnym elementem sterowania dozownikiem, umożliwiającym użytkownikowi ręczne sterowanie działaniem systemu. Niezawodność przełącznika, ergonomiczny układ i intuicyjna obsługa są wynikiem przemyślanej konstrukcji, która zapewnia łatwą i bezpieczną obsługę. Przełączniki stanowią integralną część interfejsu użytkownika i zwiększają bezpieczeństwo użytkownika, umożliwiając szybkie wyłączenie zasilania w sytuacjach awaryjnych.

Diody LED w sekcji zasilania nie tylko poprawiają wygląd urządzenia, ale także służą jako niezbędna pomoc w szybkim diagnozowaniu stanu systemu. Wspomagane przez odpowiednio dobrane rezystory, diody te dostarczają jasnych informacji o stanie zasilania poszczególnych sekcji, co jest kluczowe dla uruchomienia i dalszej pracy systemu.

Bezpieczniki szklane odgrywają ważną rolę w systemach zabezpieczeń mając za zadanie ochronić przed przeciążeniami prądowymi, aby nie uszkodzić wrażliwych elementów systemu. W projekcie zastosowano bezpieczniki szklane do 1,5A, które zapewniają wystarczającą ochronę dla większości komponentów, w tym stabilizatora napięcia. Dzięki zastosowaniu bezpieczników o takiej charakterystyce prądowej, każdy nieoczekiwany wzrost prądu jest szybko neutralizowany, zanim wpłynie na wrażliwe elementy systemu. Stabilizator napięcia, który nie jest bezpośrednim elementem zabezpieczającym, odgrywa jednak ważną rolę w utrzymaniu stabilności sprzętu. Precyzyjnie regulując napięcie dostarczane do mikrokontrolerów i innych czujników, zapewniają ich prawidłowe działanie i eliminują ryzyko błędów wynikających z niestabilnego zasilania. Stabilizator, wspierany przez kondensatory filtrujące, zapewnia prawidłowe napięcie dostarczane do poszczególnych podzespołów elektronicznych.

#### 3.1.3.4 Dokumentacja techniczna i schematy

Dokumentacja techniczna i schematy stanowią kluczowe narzędzia w procesie projektowania, produkcji oraz utrzymania systemów technicznych. Przedstawienie szczegółowych diagramów i wizualizacji, uzupełnione kompleksową listą komponentów, jest niezbędne dla zapewnienia precyzyjnego zrozumienia konstrukcji i funkcjonalności projektu. Takie materiały ułatwiają wszystkie etapy pracy nad projektem, od fazy koncepcyjnej, przez realizację, aż po serwisowanie i ewentualne modyfikacje.

Tab. 5 Spis elementów płytki PCB.

Lp.	Komponent	Opis	Wartość	Ilość	Lokalizacja
1	Złącze zasilania	Złącze zasilania DC	x	1	J1
2	Przełącznik	Przełącznik dźwigniowy	x	1	S1
3	Koszyk bezpiecznika	Koszyk pod bezpiecznik szklany 5x20mm	x	1	TB1
4	Dioda prostownicza	Diody prostownicze tworzące mostek Graetza	x	4	D1,D2,D3,D 4
5	Kondensator	Kondensator filtrujący	100nF	2	C3,C4

	elektrolityczny				
6	Kondensator ceramiczny	Kondensator filtrujący	100uF	2	C5,C6
7	Stabilizator napięcia	Stabilizator napięcia L7805CV, 5V	x	1	IC1
8	Rezystor	Rezystor ograniczający prąd dla diody LED przy mikrokontrolerze	330Ohm	1	R1
9	Rezystor	Rezystor ograniczający prąd dla diody LED przy sekcji 12V	470Ohm	1	R3
10	Rezystor	Rezystor ograniczający prąd dla diody LED przy sekcji 5V	130Oh	1	R5
11	Rezystor	Rezystor ograniczający prąd dla diody LED przy sekcji 3.3V	470Ohm	1	R8
12	Dioda	Dioda LED do sygnalizacji stanu zasilania	x	4	LED1,LED3, LED4,LED5
13	Mikrokontroler	ESP32 DevKitV4	x	1	U1
14	Złącze ARK	Złącza ARK dla łatwego podłączania przewodów przy sekcji 12V	x	5	X1-X5
15	Złącze ARK	Złącza ARK dla łatwego podłączania przewodów przy sekcji GND	x	5	X6-X10
16	Złącze ARK	Złącza ARK dla łatwego podłączania przewodów przy sekcji 5V	x	5	X11-X15
17	Złącze ARK	Złącza ARK dla łatwego podłączania przewodów przy sekcji 3.3V	x	5	X16-X20
18	Złącze ARK	Złącza ARK dla łatwego podłączania przewodów przy mikrokontrolerze	x	19	X21-X41

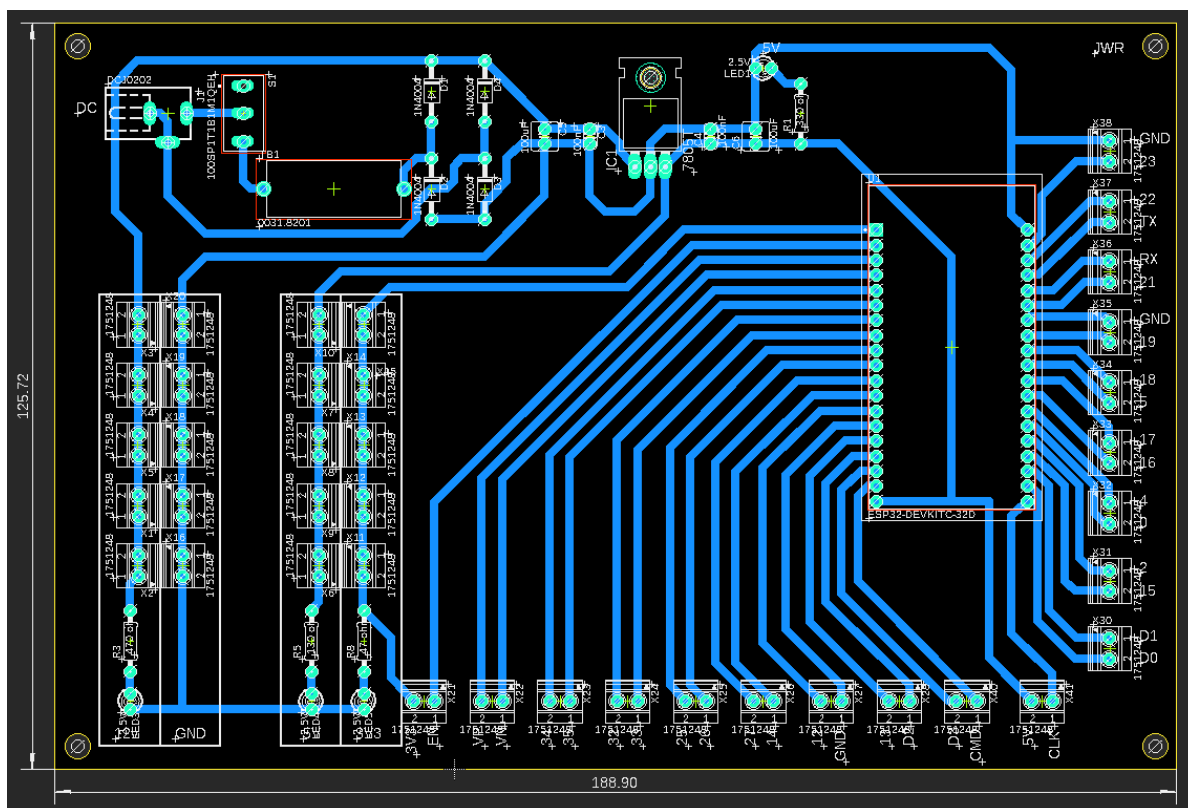
Powyższa tabela stanowi ważną część dokumentacji technicznej, zapewniając szybki i łatwy dostęp do szczegółowych informacji na temat komponentów elektronicznych wykorzystywanych w projektowaniu PCB. Podane są nazwy i znaczenia poszczególnych komponentów, a także ich liczba i dokładna lokalizacja, co znacznie ułatwia proces montażu, testowania i diagnozowania urządzeń.

Dane w tabelach odnoszą się do konkretnych komponentów, takich jak złącza, przełączniki, diody prostownicze tworzące mostek siatkowy, kondensatory filtrujące itp. z których każdy odgrywa określoną rolę w zapewnieniu prawidłowego działania urządzenia dozującego płyn.

Rys. 6 Schemat obwodu zaprojektowanej płytki PCB.

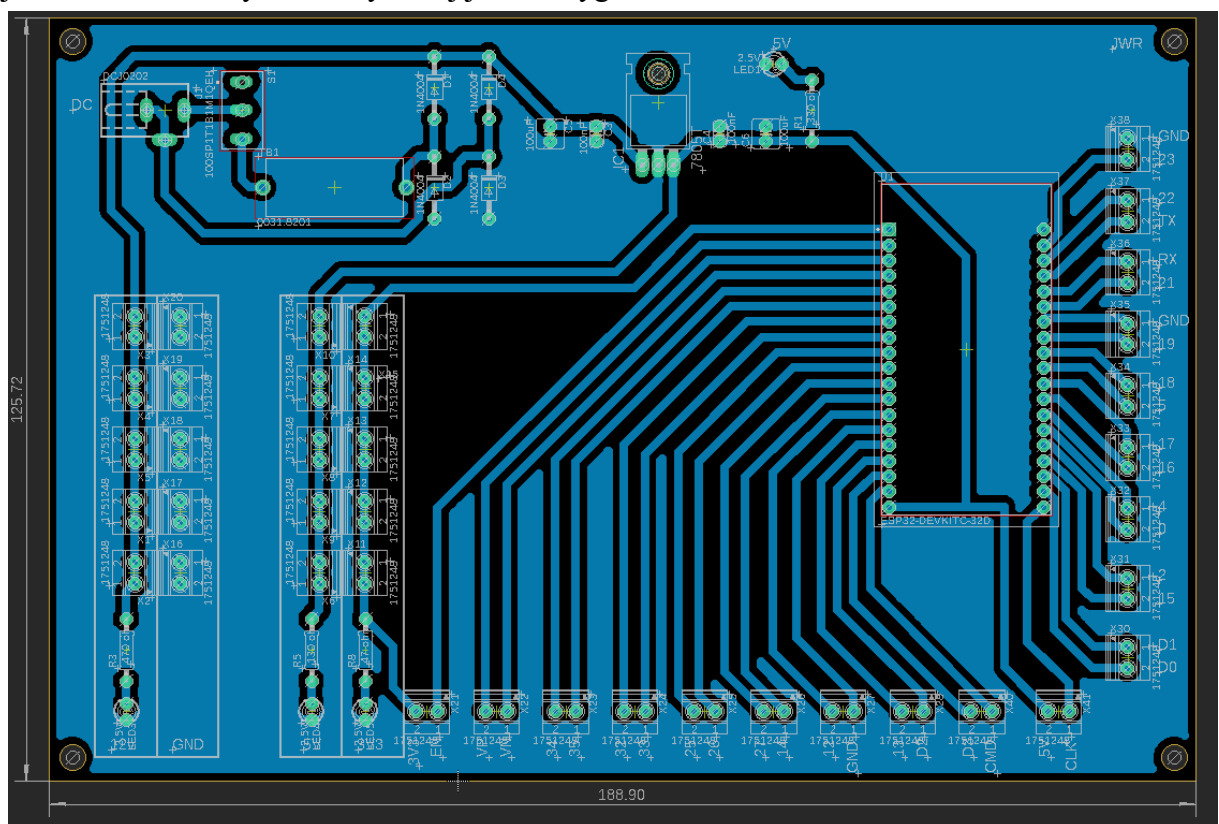


Ponadto konstrukcja obwodu została zaprojektowana z myślą o łatwej integracji z zewnętrznymi modułami i czujnikami. Stabilizator napięcia wykorzystuje kondensatory elektrolityczne i ceramiczne, aby zapewnić czyste i stabilne zasilanie, co jest niezbędne do ochrony przed zakłóceniami i wahaniami napięcia.



30

Ponadto schemat pokazuje ścieżkę zasilania o szerokim przekroju, zaprojektowaną dla dużych prądów, co jest ważne dla utrzymania bezpieczeństwa i niezawodności całego systemu. Ścieżki sygnałowe zostały zaprojektowane tak, aby zminimalizować zakłócenia i szумы, co jest ważne dla utrzymania wysokiej jakości sygnału.



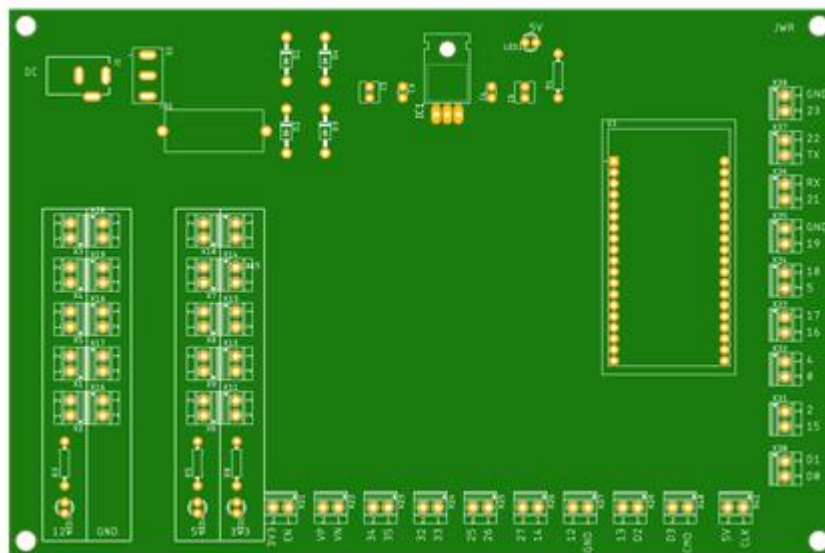
Rys. 8 Finalizacja projektu płytki PCB - faza po „wylewaniu”.

Powyższy rysunek przedstawia etap, w którym projekt PCB automatu do dozowania płynów jest kompletny, a wszystkie ścieżki przewodzące zostały utrwalone na płytce.

Jednostronna konstrukcja PCB ma kilka ważnych zalet, które upraszczają proces lutowania i serwisowania:

- Łatwość lutowania: jednostronne płytki PCB umożliwiają dostęp do wszystkich punktów lutowniczych z jednej strony, ułatwiając lutowanie, dostęp i serwisowanie komponentów z otworami przelotowymi,
- Koszt produkcji: jednostronne płytki PCB są zazwyczaj tańsze w produkcji niż wielowarstwowe płytki PCB,
- Łatwość serwisowania: uproszczona konstrukcja ułatwia diagnostykę i naprawę,
- Projekt: możliwość umieszczenia wszystkich komponentów po jednej stronie jest korzystna w przypadku projektów o wymaganiach strukturalnych lub estetycznych.

Cechy te sprawiają, że jednostronne płytki PCB nadają się do projektów, w których ważna jest prostota i łatwość montażu. W przypadku zastosowań związanych z dozowaniem płynów, w których ważna jest dokładność i niezawodność, wybór jednostronnych płytek PCB z elementami przewlekkanymi może znacznie uprościć proces montażu i konserwacji.

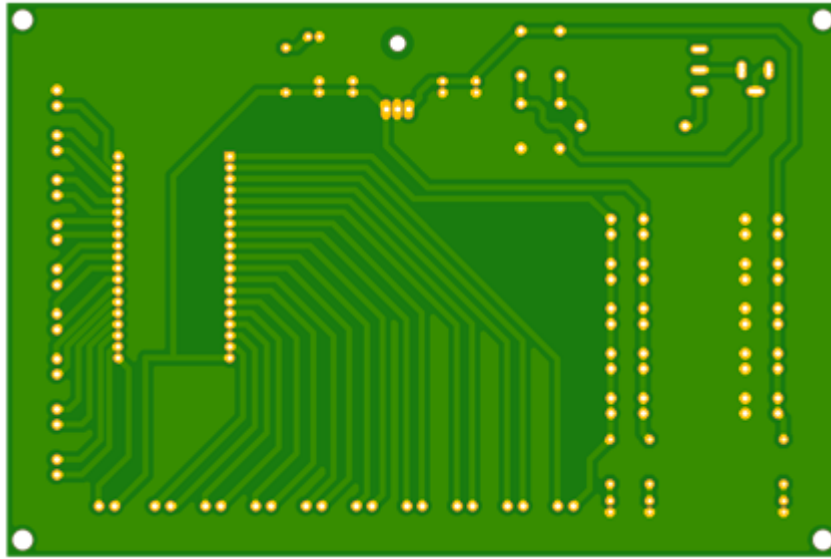


Rys. 9 Wizualizacja górnej strony płytki w programie Eagle.

Na przedstawionej wizualizacji górnej strony płytki drukowanej można zobaczyć rozmieszczenie komponentów odpowiedzialnych za różne funkcje automatu do dozowania cieczy: złącze zasilania DC, lokalizację komponentów pasywnych i złącze ARK do podłączania kabli zewnętrznych. Konstrukcja ułatwia montaż i ewentualne modyfikacje dzięki strategicznemu rozmieszczeniu komponentów na płytce. Uwagę zwraca



również mikrokontroler, który jest łatwo dostępny i umieszczony w sposób umożliwiający efektywne połączenie z innymi komponentami obwodu.



Rys. 10 Wizualizacja dolnej strony płytki w programie Eagle.

Spód płytki PCB przedstawia gotowe ścieżki przewodzące po procesie "wylewania", które są teraz gotowe do prowadzenia prądu i sygnałów między komponentami. Wizualizacja ta podkreśla precyzję projektu i krytyczne znaczenie zapewnienia, że wszystkie ścieżki są prawidłowo wyrównane i dobrane pod kątem prawidłowego działania gotowego urządzenia. Wizualizacja ścieżek pokazuje również, w jaki sposób realizowana jest idea minimalizacji zakłóceń, co jest ważne dla utrzymania wysokiej jakości sygnału w zautomatyzowanych systemach dozowania cieczy.

### 3.2. Pompki

Pompy perystaltyczne, takie jak model GS23401-02 firmy Grothen, są cenione w przemyśle za ich efektywność w precyzyjnym i higienicznym dozowaniu płynów. Wybór tego modelu został podyktowany jego wysoką dokładnością, niezawodnością oraz łatwością utrzymania czystości. Cechy te są niezbędne dla zaawansowanych urządzeń dozujących.



Rys. 11 Pompa perystaltyczna Grothen GS23401-02.

Model ten wyróżnia się energooszczędnością dzięki niskiemu zużyciu prądu oraz kompaktowymi wymiarami, co umożliwia łatwą integrację w różnych konfiguracjach urządzeń. Istotną funkcjonalnością pompy Grothen jest możliwość zmiany kierunku przepływu przez zmianę polaryzacji napięcia, co zapewnia większą elastyczność w projektowaniu systemów dozujących. Szeroki zakres regulacji natężenia przepływu i prędkości obracania umożliwia precyzyjne dostosowanie dozowania do specyficznych potrzeb procesowych.

Tab. 6 Dane techniczne pompy perystaltycznej Grothen GS23401-02

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	12 V
Zużycie prądu	250-300 mA
Średnica silnika	32 mm
Wysokość silnika	23 mm
Odległość między otworami montażowymi	48,5 mm
Zakres natężenia przepływu	0 do 65 ml/min
Zakres regulacji prędkości	0,1 do 60 obr/min

### 3.3. Waga

Cyfrowy czujnik nacisku Gravity 1kg z układem HX711 odgrywa kluczową rolę w procesie dozowania, zapewniając wysoką dokładność i spójność działania systemu. Jego zaawansowane cechy techniczne umożliwiają dokładne dozowanie i monitorowanie składników w szerokim zakresie pomiarowym, co jest niezbędne dla zachowania jakości produktu i zgodności z normami.

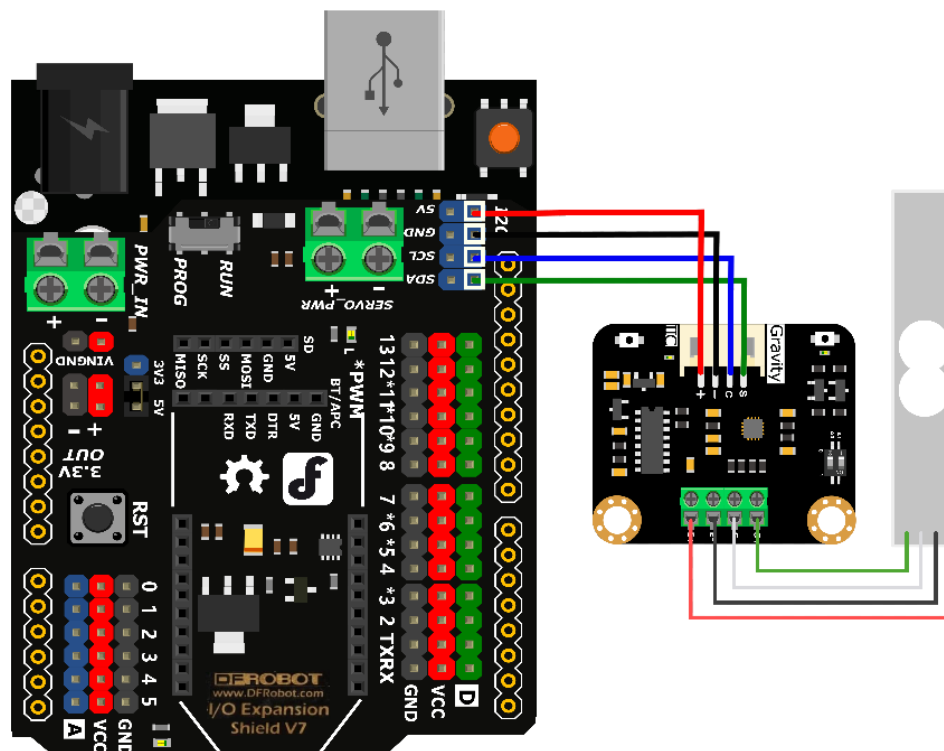


Rys. 12 Gravity - cyfrowy czujnik nacisku 1 kg z układem HX711.

Tab. 7 Gravity - Specyfikacja techniczna

Parametr	Wartość
Typ	Cyfrowy czujnik nacisku
Zakres pomiarowy	1 g do 1000 g
Napięcie zasilania	3,3 V / 5 V
Pobór prądu	< 20 mA
Układ konwersji AD	HX711
Odchylenie syntezy	$\pm 0,2\%$ g
Interfejs komunikacyjny	Magistrala I2C
Adresy interfejsu	0x64 / 0x65 / 0x66 / 0x67
Funkcje dodatkowe	Wbudowany algorytm kalibracji
Kompatybilność	Arduino, micro:bit, ESP32, Raspberry Pi
Wymiary płytki	37 x 31 mm
Wymiary całkowite po złożeniu	120 x 100 x 30 mm

Czujnik zapewnia stabilną komunikację cyfrową dzięki wbudowanemu układowi HX711 i jest łatwy w integracji z różnymi platformami, co sprawia, że jest idealnym wyborem dla systemów dozujących płynów. Dzięki niskiemu poborowi prądu i kompatybilności z popularnymi platformami mikrokontrolerów, czujnik ten jest ekonomicznym i uniwersalnym rozwiązaniem dla projektów automatyki.



Rys. 13 Integracja czujnika nacisku z przykładowym mikrokontrolerem.

Integracja czujnika tensometrycznego, takich jak cyfrowe czujniki nacisku Gravity z układem HX711, z mikrokontrolerem w systemie automatu dozującego płyny ma kluczowe znaczenie dla dokładnego pomiaru i kontroli procesu dozowania. Na przedstawionej ilustracji znajduje się przykładowe połączenie belki tensometrycznej z modułem czujnika i przykładowym mikrokontrolerem, które posłuży jako wzór dla integracji z mikrokontrolerem ESP32 DevKit V4 wykorzystywanym w projekcie.

Mikrokontroler ESP32 DevKit V4 ma bogaty zestaw pinów kompatybilny z tymi używanymi w Arduino. Aby zapewnić spójność projektu i niezawodną komunikację, te same piny GPIO są używane do łączenia się z modułami czujników. Sygnały z czujnika są przesyłane do mikrokontrolera ESP32 za pośrednictwem magistrali I2C, która jest standardem komunikacyjnym dla wielu modułów i czujników.

W systemie mikrokontroler ESP32 DevKit V4 odczytuje dane z czujnika nacisku za pośrednictwem układu HX711, 24-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) zaprojektowanego specjalnie dla precyzyjnych wag elektronicznych.

Mikrokontroler ESP32 odczytuje i przetwarza dane z wagi oraz steruje pompowaniem i innymi elementami systemu zgodnie z otrzymanymi informacjami. Takie zintegrowane

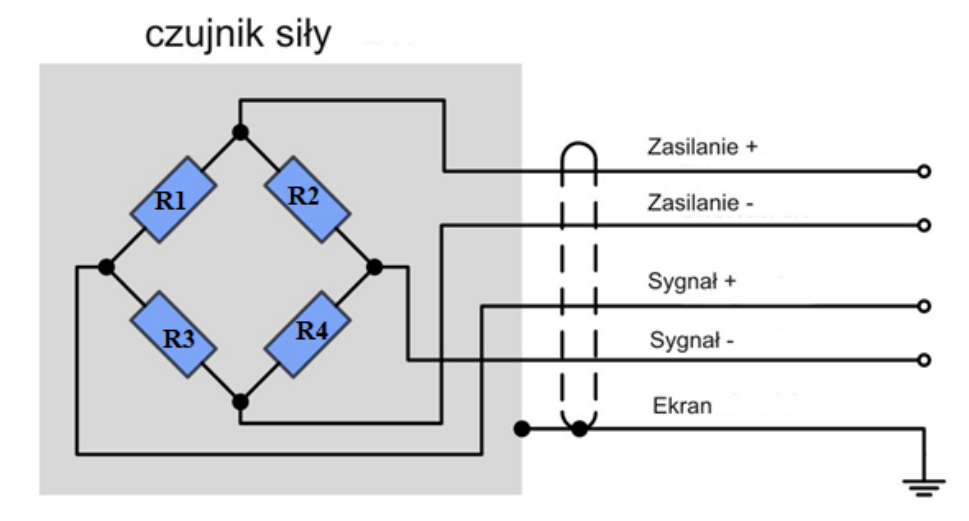
podejście zapewnia dokładne dozowanie, a odchylenia od ustawionych parametrów są natychmiast korygowane w celu zapewnienia jednorodności produktu końcowego.

Należy podkreślić, że przedstawione połączenie jest tylko przykładowym schematem, a rzeczywiste połączenie w projekcie będzie dostosowane do specyfikacji i wymagań mikrokontrolera ESP32 DevKit V4, który oferuje większą moc obliczeniową i możliwości komunikacyjne niezbędne dla zaawansowanego automatu dozującego płyny.

Moduł czujnika Gravity używany w projekcie wykorzystuje gotowe biblioteki, które zostały wstępnie przetestowane pod kątem wiarygodności odczytów z ważenia. Biblioteki te zapewniają zestaw funkcji umożliwiających komunikację z układem HX711 i odczyt danych z czujnika nacisku.

Algorytmy zawarte w bibliotekach konwertują sygnały analogowe na wartości cyfrowe, które mogą być interpretowane przez mikrokontroler. Biblioteki te zawierają również funkcje kalibracyjne, które umożliwiają ustawienie czujnika na określony zakres ważenia wymagany dla konkretnego zastosowania. Dzięki wykorzystaniu tych bibliotek, mikrokontroler ESP32 DevKit V4 może automatycznie dostosowywać proces dozowania w czasie rzeczywistym, zapewniając stałą objętość dozowanej cieczy w odpowiedzi na zmieniające się warunki.

Korzystanie ze sprawdzonych bibliotek skraca czas opracowywania systemu, zmniejsza ryzyko błędów oprogramowania i pozwala na szybsze uruchomienie systemu. Ponadto wykorzystanie gotowych rozwiązań zwiększa stabilność systemu, co jest ważne w branżach, w których dokładność i niezawodność mają kluczowe znaczenie.



Rys. 14 Schemat budowy belki tensometrycznej.

Belka tensometryczna, ilustrowana na rysunku, jest urządzeniem służącym do precyzyjnego pomiaru siły nacisku, opierającym się na zjawisku piezorezystywności. Schemat ukazuje układ tensometrów (R1, R2, R3, R4) zorganizowanych w konfigurację mostka Wheatstone'a, który jest integralną częścią sensora.

Zjawisko piezorezystywności opisuje zmianę rezystancji materiału w odpowiedzi na mechaniczne odkształcenie. Tensometry, będące paskami z materiału piezorezystywnego, są przytwierdzone do powierzchni, która ulega deformacji pod wpływem siły. Odkształcenie to powoduje rozciąganie lub ściskanie tensometrów, czego rezultatem jest zmiana ich rezystancji.

Zmiana rezystancji ( $\Delta R$ ) tensometrów w mostku Wheatstone'a jest proporcjonalna do odkształcenia, co wyraża się wzorem:

$$\Delta R = GF \cdot \Delta L \cdot R$$

gdzie:

GF jest czynnikiem tensometrycznym (gaugefactor),

$\Delta L$  jest odkształceniem jednostkowym (strain), czyli zmianą długości do pierwotnej długości tensometru,

R jest rezystancją tensometru przed odkształceniem.

Mostek Wheatstone'a pozwala na detekcję bardzo małych zmian rezystancji tensometrów. W jego klasycznej konfiguracji dwie przeciwległe gałęzie mostka zawierają tensometry (np. R1 i R3), a dwie inne gałęzie (R2 i R4) mogą zawierać rezystory o znanej i stałej rezystancji lub dodatkowe tensometry. Napięcie wyjściowe mostka ( $V_{out}$ ) jest funkcją zmian rezystancji tensometrycznych i jest dane wzorem:

$$V_{out} = \left( \frac{R1}{R1 + R2} - \frac{R3}{R3 + R4} \right) \cdot V_{in}$$

Napięcie to jest następnie przetwarzane przez moduł HX711, który jest przetwornikiem analogowo-cyfrowym (ADC) zaprojektowanym do współpracy z tensometrami. HX711 wzmacnia napięcie wyjściowe mostka Wheatstone'a i konwertuje je na wartość cyfrową, dostarczając mikrokontrolerowi dane gotowe do dalszej analizy. Przetwarzanie to odbywa się w następujących krokach:

- 1) Wzmocnienie niewielkich zmian napięcia wyjściowego z mostka,
- 2) Konwersja sygnału analogowego na format cyfrowy,
- 3) Kalibracja i kompensacja ewentualnych zakłóceń oraz drgań temperaturowych.

Zasilanie belki tensometrycznej (+ i -) dostarcza energię niezbędną do funkcjonowania tensometrów ( $V_{in}$ ). Linie sygnałowe (+ i -) przesyłają wzmocniony sygnał z HX711 do mikrokontrolera (przekonwertowane  $V_{out}$  przez moduł). Ekranowanie jest stosowane w celu zminimalizowania wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na sygnał.

Moduł HX711 zwraca wartość cyfrową, która jest proporcjonalna do przyłożonej siły, umożliwiając dokładne pomiary siły nacisku. Wynikowe wartości cyfrowe mogą być użyte do monitorowania i kontroli procesów produkcyjnych, w systemach ważących lub w aplikacjach wymagających precyzyjnego pomiaru siły.

### 3.4. Moduł przekaźników

Moduły przekaźnikowe są kluczowym elementem w systemach automatyki, pełniąc funkcję elektrycznych przełączników do bezpiecznego sterowania obciążeniami wysokoprądowymi. W kontekście automatu do dozowania cieczy, umożliwiają one precyzyjne sterowanie pompami.



Rys. 15 Moduł przekaźników 16-kanałowy.

Tab. 8 Wybrany moduł przekaźników - Specyfikacja techniczna

Parametr	Wartość
Liczba kanałów	16
Typ przekaźnika	SRD-05VDC-SL-C
Napięcie sterowania	5 V
Maksymalne obciążenie	250 VAC / 110 VDC
Maksymalny prąd	10A
Stan wskazywany przez	Diody LED
Wymiary płytki	180 x 90 mm
Średnica otworów montażowych	3 mm

Wybór modułu 16-kanałowego był podyktowany potrzebą obsługi 10 pomp, co przekracza możliwości modułów z mniejszą liczbą kanałów. Diody LED ułatwiają diagnostykę i monitoring stanu pracy przekaźników, a solidna konstrukcja oraz standardowe wymiary płytki zapewniają łatwość instalacji i integracji z systemami automatyki.

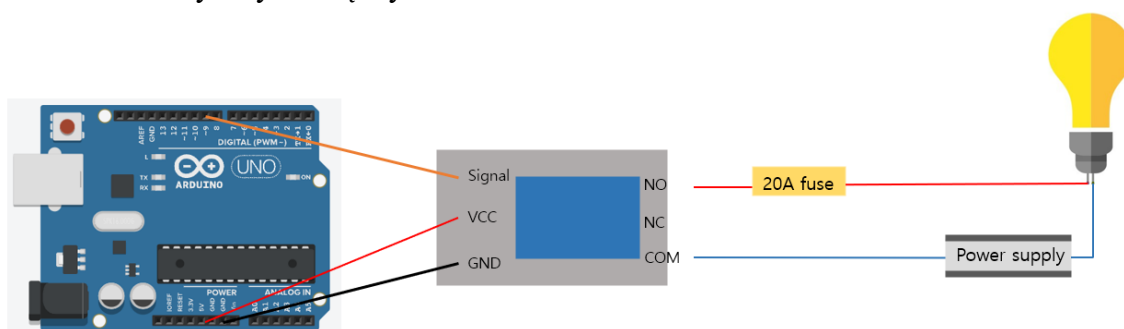
Moduł przekaźników składa się z szeregu komponentów, które współpracują, aby umożliwić kontrolę nad wysokoprądowymi obciążeniami przez niskoprądowe sygnały sterujące. Oto główne elementy modułu przekaźników:

- Cewki: Są to elementy obwodu elektrycznego w przekaźniku. Kiedy przez cewkę przepływa niskoprądowy sygnał sterujący, generuje pole magnetyczne,
- Styki NO i NC: styki przekaźnika mają dwie podstawowe konfiguracje:
  - a) NO (normalnie otwarty) - tworzą obwód, gdy przekaźnik jest aktywowany,



- b) NC (normalnie zamknięty) - przewodzą, dopóki przekaźnik nie zostanie aktywowany,
- Obwód sterujący : obwód elektroniczny, który przetwarza sygnał sterujący i dostarcza odpowiednie napięcie do cewki w celu aktywacji przekaźnika. Składa się z mikrokontrolera lub innego układu sterującego, który generuje sygnały wyjściowe, tranzystorów działających jako przełączniki dla cewki przekaźnika, diody zabezpieczającej chroniącej przed szpiczami napięcia, optoizolatorów izolujących obwód sterujący od obciążenia. Te elementy współpracują, aby zapewnić efektywną i bezpieczną kontrolę nad wysokoprądowymi obciążeniami przez niskoprądowe sygnały sterujące.,
  - Działanie przekaźników: po przyłożeniu niskiego napięcia sterującego do cewki przekaźnik zaczyna działać. Gdy prąd przepływa przez cewkę, wytwarzane jest pole magnetyczne, które przyciąga metalowy rdzeń wewnątrz przekaźnika. Ruch rdzenia powoduje mechaniczne zamknięcie styków NO lub otwarcie styków NC.

Izolacja elektryczna pomiędzy niskonapięciowym obwodem sterującym a wysokonapięciowym obwodem obciążenia zapewnia bezpieczną pracę przekaźnika. Izolacja ta jest dodatkowo wzmocniona przez zastosowanie optoizolacji, która eliminuje ryzyko zakłóceń elektrycznych między obwodami.



Rys. 16 Integracja modułu przekaźników z przykładowym mikrokontrolerem.

Powyższy rysunek przedstawia przykład integracji modułu przekaźników z przykładowym mikrokontrolerem, który w tym projekcie automatu dozującego płyny zostanie zastąpiony przez ESP32 DevKit V4. Schemat ten służy jako ilustracja ogólnego sposobu połączenia, który zostanie zaadaptowany do specyfikacji i wymagań naszego systemu.

Urządzenie wykorzystuje 10 pinów GPIO mikrokontrolera ESP32 DevKit V4 do sterowania przekaźnikami. Przekaźnik modułu jest aktywowany przez sygnał LOW, tj. kontrolowany przez GND mikrokontrolera. Masa pompy jest podłączona bezpośrednio do zaprojektowanej płytki drukowanej, a zasilanie pompy jest podłączone do styku NO (normalnie otwartego)

każdego przełącznika. Wspólny zacisk (COM) wszystkich przełączników jest podłączony do zasilania 12V, które jest również dostarczane z płytki drukowanej. Dlatego, gdy mikrokontroler ESP32 wysyła sygnał LOW do odpowiedniego pinu GPIO, przełącznik jest załączany, a zasilanie 12V jest połączone z pompą, umożliwiając jej działanie.

### 3.5. Interfejs użytkownika

#### 3.5.1 Wyświetlacz LCD

Wyświetlacz LCD 2x16 znaków jest nieodzownym elementem interfejsu użytkownika służący jako prosty i skuteczny interfejs użytkownika, dostarczając operatorowi podstawowych informacji o stanie i działaniu urządzenia. Wybrany model posiada wbudowany konwerter HD44780, który komunikuje się z mikrokontrolerem za pomocą magistrali I2C. Na wyświetlaczu pojawiają się proste komunikaty tekstowe informujące użytkownika o bieżącym etapie pracy urządzenia, takie jak stan dozowania lub konieczność wybrania pozycji menu. Informacje te można wybierać i zmieniać za pośrednictwem połączenia Bluetooth lub USB. Ponadto wyświetlacz pokazuje ilość dozowanego płynu, umożliwiając użytkownikowi monitorowanie postępu procesu dozowania w czasie rzeczywistym.



Rys. 17 Wyświetlacza LCD 2x16 z konwerterem HD44780.

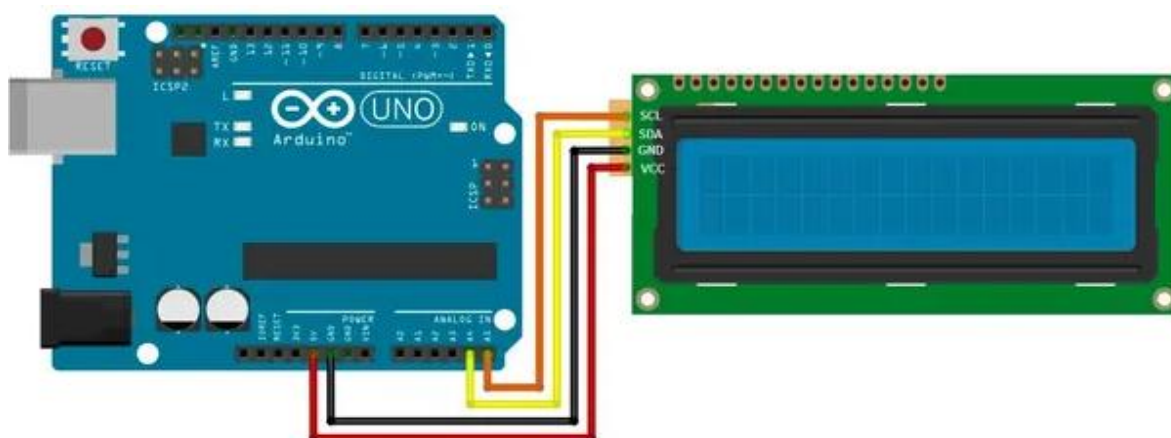
Tab. 9 Specyfikacja techniczna wyświetlacza LCD

Parametr	Wartość
Rozmiar wyświetlacza	2x16 znaków
Kolor znaków	Biały
Podświetlenie	Niebieskie
Rozmiar modułu	80 x 36 mm
Wymiary znaku	2,45 x 5,00 mm
Konwerter magistrali	I2C
Konwerter oparty na układzie	PCF8574
Dodatkowe funkcje	Regulacja kontrastu, możliwość sterowania podświetleniem poprzez magistralę I2C

Wspólna komunikacja I2C z modułem wagowym zapewnia ujednolicony i uproszczony system połączeń, ułatwiając integrację i umożliwiając rozszerzenie interfejsu o dodatkowe elementy sterujące, takie jak przyciski lub czujniki dotykowe.

Głównymi czynnikami, które zdecydowały o wyborze konkretnego modelu LCD były :

- Wszechstronność HD44780: HD44780 jest standardowym konwerterem komunikacyjnym i jest obsługiwany przez szeroką gamę bibliotek,
- Rozmiar i czytelność: rozmiar wyświetlacza i rozmiar znaków są idealne do zastosowań, w których czytelność i dostępność informacji są priorytetem,
- Magistrala I2C: magistrala I2C upraszcza łączność i zmniejsza ilość okablowania wymaganego do podłączenia wyświetlacza,
- Inne funkcje: Regulacja kontrastu i niebieskie podświetlenie znacznie zwiększają komfort użytkownika, zwłaszcza w zmiennych warunkach oświetleniowych.



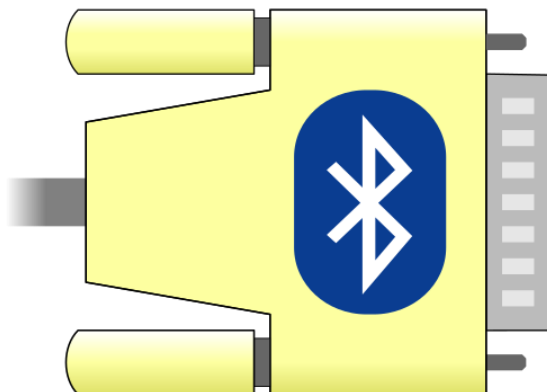
Rys. 18 Integracja wyświetlacza LCD z przykładowym mikrokontrolerem.

Powyższy rysunek przedstawia przykład zintegrowanego wyświetlacza LCD i mikrokontrolera Arduino Uno, który posłuży jako przykład do podłączenia wyświetlacza w projekcie automatu dozującego płyny. Wyświetlacz LCD jest podłączony do mikrokontrolera Arduino Uno za pomocą magistrali I2C, standardu komunikacyjnego. I2C minimalizuje liczbę kabli wymaganych do połączenia i wykorzystuje tylko dwie linie: SCL (zegar szeregowy) i SDA (dane szeregowy), upraszcza to projekt i zmniejsza ryzyko błędów połączenia.

Ten projekt wykorzystuje bibliotekę LiquidCrystal dostępną w środowisku Arduino IDE. Korzystając z tej biblioteki, wyświetlacze LCD oparte na kontrolerze HD44780 mogą być łatwo kontrolowane przez I2C.

### 3.5.2 Aplikacja mobilna

Systemy automatyki stale ewoluują i wykorzystują mobilność jako jeden z kluczowych elementów interakcji z urządzeniami. Aplikacja mobilna "Serial Bluetooth Terminal" została wykorzystana do usprawnienia komunikacji z automatem dozującym płyny, zapewniając zdalny dostęp do sterowania i monitorowania ich pracy. Pozwala to na zdalną kontrolę procesu produkcyjnego i znacznie zwiększa elastyczność operacyjną.



Rys. 19 Logo aplikacji "Serial Bluetooth Terminal".

"Serial Bluetooth Terminal" działa jako zaawansowany terminal komunikacyjny, który umożliwia użytkownikom interaktywne monitorowanie i sterowanie automatem dozującym płyn przez Bluetooth. Aplikacja wyświetla menu pozycji do dozowania, komunikaty o błędach, instrukcje kalibracji i polecenia wymagane do obsługi systemu.

Poszukiwania rozpoczęto od analizy dostępnych na rynku aplikacji zdolnych do komunikacji z mikrokontrolerem za pośrednictwem Bluetooth. Wymagania dotyczące aplikacji były oczywiste: stabilność, niezawodność, łatwość obsługi i konfigurowalny interfejs użytkownika. Przetestowano wiele aplikacji, ale niektóre z nich nie były w stanie komunikować się w sposób ciągły z mikrokontrolerem, co skutecznie uniemożliwiało ich wykorzystanie jako narzędzia do monitorowania i kontroli procesów w czasie rzeczywistym. Ponadto, niektóre interfejsy użytkownika były zbyt złożone, aby były intuicyjne i szybkie w użyciu, co skutkowało błędami w obsłudze. Istniały również aplikacje, które miały dobrze zaprojektowane interfejsy użytkownika, ale nie zapewniały wystarczającej funkcjonalności lub nie były kompatybilne z mikrokontrolerami ESP32.

"Serial Bluetooth Terminal" wyróżnił się prostotą, stabilnością i elastycznością konfiguracji. Aplikacja posiada wszystkie potrzebne funkcje, od prostego wyświetlania wiadomości tekstowych po zaawansowane polecenia sterujące. Możliwość dostosowania interfejsu

użytkownika do konkretnych potrzeb dozownika cieczy i niezawodność pracy z różnymi urządzeniami mobilnymi sprawiły, że był to idealny wybór dla tego projektu.

Komunikacja "Serial Bluetooth Terminal" z automatem do dozowania cieczy opiera się na wykorzystaniu wbudowanego modułu Bluetooth w mikrokontrolerze ESP32 DevKit V4. Aplikacja komunikuje się z mikrokontrolerem za pomocą prostego protokołu, który gwarantuje bezpieczny i szybki transfer danych. Ochronę danych zapewniają odpowiednie środki bezpieczeństwa, takie jak parowanie urządzeń i szyfrowane połączenia. Integracja ta pozwala użytkownikowi w łatwy sposób wpływać na działanie urządzenia poprzez wybór trybu dozowania, uruchamianie lub zatrzymywanie procesów oraz otrzymywanie powiadomień o aktualnym stanie pracy urządzenia.



```
08:22:18.963 Wybierz napoj z menu:
08:22:18.963 1. Orzeźwiający Mix
08:22:18.963 2. Jesienna Harmonia
08:22:18.963 3. Tropikalna Bryza
08:22:18.963 4. Malinowa Rozkosz
08:22:18.963 5. Cytrusowy Zing
08:22:19.005 6. Klasyczna Cola Mix
08:22:19.012 7. Lemoniadowe Orzeźwienie
08:22:19.012 8. Klasyczna Cola Mix
08:22:19.012 9. Pomarańczowa Fantazja
08:22:19.120 10. Ananasowa Fuzja
08:22:19.123 11. Lemon & Cola
08:22:19.123 12. Słoneczny Koktajl
08:22:19.123 12. Mleczny Twist
08:22:19.123 13. Lekka Cola
08:22:19.123 14. Cytrynowy Chłód
08:22:19.258 15. Malinowy Dream
08:22:19.259 16. Egzotyczny Mix
08:22:19.259 17. Orzeźwiający Cytrus
08:22:19.259 18. Lemoniada Plus
08:22:19.259 19. Tropikalna Cola
08:22:19.259 20. Malinowa Cola
```

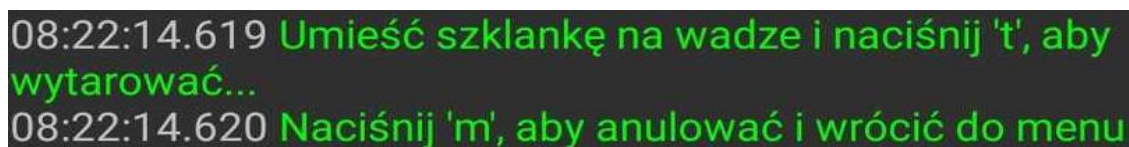
Rys. 20 Zrzut ekranu procesu wyboru z menu użytkownika.

Powyższe zdjęcie przedstawia menu opcji mieszanek płynów dostępnych w automacie. Użytkownik otrzymuje listę opcji, z których każda odpowiada konkretnej recepturze płynu. Wyboru dokonuje się za pośrednictwem interfejsu aplikacji "Serial Bluetooth Terminal",



który zapewnia prostą i bezpośrednią interakcję z dystrybutorem. Ciemny kolor tła i kontrastujący kolor tekstu poprawiają czytelność i ułatwiają nawigację po menu.

Seria intuicyjnych komunikatów pozwala użytkownikowi monitorować i aktywnie zarządzać procesem dozowania. Powyższy schemat ilustruje kluczowe aspekty tej interakcji. Różne etapy użytkowania urządzenia, od wyboru napoju, przez proces tarowania, po monitorowanie procesu nalewania. Każdy z tych etapów został zaprojektowany tak, aby proces korzystania z automatu był jak najprostszy, zapewniając jednocześnie pełną kontrolę i informacje zwrotne na temat stanu automatu. Dodano również komunikaty o błędach i instrukcje informujące o tym, jak szybko zareagować w przypadku wystąpienia anomalii lub gdy automat wymaga interwencji użytkownika lub kalibracji



08:22:14.619 Umieść szklankę na wadze i naciśnij 't', aby wytarować...  
08:22:14.620 Naciśnij 'm', aby anulować i wrócić do menu

Rys. 21 Zrzut ekranu procesu tarowania z menu użytkownika.

W tej sekcji opisano proces tarowania wagi, czyli przygotowania systemu do dokładnego pomiaru ilości cieczy. Pojawi się komunikat zachęcający użytkownika do umieszczenia szklanki na wadze i naciśnięcia odpowiedniego przycisku w celu kalibracji. Wyświetlane są również instrukcje anulowania operacji i powrotu do menu głównego w celu zapewnienia większej elastyczności użytkowania.



14:59:51.416 Waga wytarowana.  
14:59:53.067 Nalano Sok jablkowy: 0 g  
14:59:53.892 Nalano Sok jablkowy: 2 g  
14:59:54.774 Nalano Sok jablkowy: 5 g  
14:59:55.592 Nalano Sok jablkowy: 8 g  
14:59:56.460 Nalano Sok jablkowy: 10 g  
14:59:58.920 Nalano Lemoniada gazowana: 0 g  
14:59:59.778 Nalano Lemoniada gazowana: 2 g  
15:00:00.728 Nalano Lemoniada gazowana: 6 g  
15:00:01.483 Nalano Lemoniada gazowana: 10 g  
15:00:03.946 Nalano Woda gazowana: 0 g  
15:00:04.826 Nalano Woda gazowana: 2 g  
15:00:05.653 Nalano Woda gazowana: 7 g  
15:00:06.501 Nalano Woda gazowana: 10 g  
15:00:07.385 Twój napój jest gotowy! Odbierz go!

Rys. 22 Zrzut ekranu procesu nalewania z menu użytkownika.

Powyższy zrzut ekranu przedstawia proces nalewania. Ilość nalewanego płynu jest wyświetlana w czasie rzeczywistym za pośrednictwem wiadomości tekstowej, umożliwiając użytkownikowi śledzenie postępu procesu nalewania. Pod koniec procesu pojawia się komunikat potwierdzający zakończenie nalewania i zapraszający użytkownika do odebrania gotowego napoju. Interfejs ten zapewnia wyraźną informację zwrotną, co jest ważne dla wydajnego i satysfakcjonującego korzystania z urządzenia.

### 3.5.3 Port szeregowy

Port szeregowy USB stał się standardem w nowoczesnych aplikacjach komunikacyjnych, łącząc łatwość użytkowania z uniwersalnością i szybkością interfejsów USB. W automacie dozującym płyny port USB (przez dedykowany konwerter) umożliwia zarówno przesyłanie danych, jak i programowanie mikrokontrolera. Zastosowanie portu szeregowego USB-UART w automacie dozowania cieczy otwiera nowe możliwości monitorowania i konfiguracji. Nie tylko można podłączyć komputer w celu uzyskania informacji o stanie pracy urządzenia i zmiany ustawień, ale także można bezpośrednio przeprogramować mikrokontroler, co jest ważne w przypadku aktualizacji oprogramowania i zmiany algorytmu dozowania.

Mikrokontroler ESP32 DevKit V4 jest wyposażony w złącze microUSB, które stanowi bramę do komunikacji z zewnętrznym systemem komputerowym. Korzystanie z tego złącza i odpowiedniego oprogramowania na komputerze umożliwia nie tylko bieżące sterowanie dozownikiem, ale także bezpośrednie programowanie i aktualizacje oprogramowania za pośrednictwem interfejsów USB-UART, co zwiększa wydajność i skraca czas konserwacji systemu.

Obsługa automatu dozującego płyny przez użytkownika, zarówno za pośrednictwem aplikacji "Serial Bluetooth Terminal", jak i połączenia USB-UART, została zaprojektowana tak, aby zapewnić spójną i intuicyjną obsługę. Niezależnie od wybranej metody komunikacji, użytkownik otrzymuje te same komunikaty i instrukcje. Ta jednolitość zapewnia niezmiennie wysoką jakość usług, niezależnie od tego, czy użytkownik wybierze komunikację bezprzewodową Bluetooth, czy bezpośrednie połączenie USB-UART.

Znaczenie portów szeregowych, w połączeniu z możliwościami komunikacyjnymi zapewnianymi przez Bluetooth, znacznie zwiększa wszechstronność systemów automatyki przemysłowej. Zapewniają one użytkownikom dwa niezawodne sposoby komunikacji z urządzeniami, pozwalając im wybrać metodę, która najlepiej odpowiada ich potrzebom i środowisku pracy.



## 4. Aplikacja

### 4.1. Kluczowe funkcje

Aplikacja sterująca automatem do dozowania płynów wykorzystuje złożoność i wszechstronność mikrokontrolera ESP32, zapewniając zaawansowaną funkcjonalność niezbędną dla precyzyjnego i elastycznego zarządzania procesem dozowania. Zaimplementowany kod jest efektem przemyślanych decyzji projektowych, mających na celu optymalizację działania systemu w różnorodnych warunkach eksploatacyjnych. Kluczowe funkcje, wyselekcjonowane do szczegółowej analizy, odgrywają centralną rolę w zapewnieniu niezawodności, dokładności oraz użytkowej wartości automatu, stanowiąc podstawę skutecznego i intuicyjnego interfejsu sterowania.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    SerialBT.begin("AutomatDoNapoji"); // Nazwa urządzenia Bluetooth
    lcd.init();                        // Inicjalizacja wyświetlacza
    lcd.backlight();                   // Włączenie podświetlenia
    delay(20000);
    inicjalizujAutomat();
}

void inicjalizujAutomat() {
    MojaWaga.begin();
    MojaWaga.setCalibration(2236.f);

    pinMode(15, OUTPUT); // Sok pomarańczowy
    digitalWrite(15, HIGH);
    pinMode(16, OUTPUT); // Sok jabłkowy
    digitalWrite(16, HIGH);
    pinMode(17, OUTPUT); // Sok ananasowy
    digitalWrite(17, HIGH);
    pinMode(18, OUTPUT); // Woda gazowana
    digitalWrite(18, HIGH);
    pinMode(19, OUTPUT); // Mleko
    digitalWrite(19, HIGH);

    pinMode(32, OUTPUT); // Syrop malinowy
    digitalWrite(32, HIGH);
    pinMode(33, OUTPUT); // Cytryna wyciskana
    digitalWrite(33, HIGH);
    pinMode(25, OUTPUT); // Tonik
    digitalWrite(25, HIGH);
    pinMode(26, OUTPUT); // Cola
    digitalWrite(26, HIGH);
    pinMode(27, OUTPUT); // Lemoniada gazowana
    digitalWrite(27, HIGH);
}
```

Rys. 23 Funkcje inicjalizujące automat.

Funkcja `setup()` w załączonym kodzie mikrokontrolera ESP32 inicjalizuje główne komponenty systemu automatu do dozowania płynów. Jej główne zadania to :

- Inicjalizacja komunikacji szeregowej: poprzez wywołanie `Serial.begin(9600)`, funkcja ta ustawią szybkość transmisji portu szeregowego na 9600 bitów, standard komunikacji z komputerami i innymi urządzeniami,
- Inicjalizacja komunikacji Bluetooth: wywołanie `SerialBT.begin("AutomatDoNapoji")` powoduje aktywację modułu Bluetooth mikrokontrolera i ustawienie nazwy urządzenia Bluetooth na "AutomatDoNapoji". Pozwoli to użytkownikowi łatwo zlokalizować i sparować automat,
- Inicjalizacja LCD: `lcd.init()` inicjalizuje wyświetlacz LCD podłączony do mikrokontrolera, a `lcd.backlight()` włącza podświetlenie, aby można było odczytać informacje w ciemnym miejscu,
- Opóźnienie uruchomienia: `delay(20000)` powoduje, że mikrokontroler czeka 20 sekund przed wykonaniem następnej instrukcji,
- Inicjalizacja i kalibracja wagi: `inicjalizujAutomat()` jest wywoływana w celu skonfigurowania i skalibrowania czujnika wagi (`MojaWaga`) do pomiaru ilości składników w napoju. `MojaWaga.begin()` aktywuje czujnik, a `MojaWaga.setCalibration(2236.f)` ustawia wartości kalibracji,
- Ustawienie pinów GPIO: Ustawia piny GPIO mikrokontrolera jako wyjścia (OUTPUT) i zainicjuje je do stanu wysokiego poziomu (HIGH) (w kontekście przekaźników oznacza to zwykle, że przekaźnik jest w stanie wyłączonym). Każde wyjście jest odpowiedzialne za sterowanie przekaźnikiem powiązanym z określonym składnikiem napoju, na przykład sokiem pomarańczowym, sokiem jabłkowym, wodą gazowaną, mlekiem lub syropem smakowym. Pozwala to na kontrolowanie przepływu składników podczas nalewania ich do szklanki użytkownika.

```
void wyslij(String wiadomosc) {
    Serial.println(wiadomosc);
    SerialBT.println(wiadomosc);
}

void wyslijNaLCD(String wiadomosc) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(wiadomosc);
}

void wyslijNaLCD2(String wiadomosc) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("                "); // Czyszczenie drugiej linii
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(wiadomosc);
}
```

Rys. 24 Funkcje komunikacji użytkownika z automatem.

Załączony fragment kodu pokazuje funkcje obsługi wyświetlacza LCD i komunikacji dla mikrokontrolera ESP32, które odgrywają ważną rolę w interfejsie użytkownika automatu do dozowania płynów.

Funkcja `wyslij(String wiadomość)` wysyła komunikat do użytkownika - przez port szeregowy za pomocą `Serial.println(wiadomosc)` i przez Bluetooth za pomocą `SerialBT.println(wiadomość)`. Umożliwia to wydajne debugowanie i komunikację z użytkownikiem lokalnie i zdalnie za pośrednictwem aplikacji mobilnych. Jest to przykład dwukierunkowego przepływu informacji, który zwiększa elastyczność i dostępność systemu.

Funkcja `wyslijNaLCD(String wiadomosc)` służy do komunikacji z ekranem LCD. Przed wyświetleniem nowej wiadomości ekran jest czyszczony za pomocą funkcji `LCD.clear()`, aby inne dane nie zakłócały wyświetlania informacji. Ustawiając kursor na początku pierwszej linii (`lcd.setCursor(0, 0)`) i wysyłając komunikat (`lcd.print(wiadomosc)`), użytkownik może odczytać aktualny stan procesu lub instrukcji.

Dodatkowo, funkcja `wyslijNaLCD2(String wiadomosc)` pozwala na aktualizację tylko drugiego wiersza wyświetlacza. Podobnie jak w przypadku pierwszego wiersza, drugi wiersz jest najpierw wypełniany spacjami i czyszczony, a następnie kursor jest umieszczany na początku drugiego wiersza, gdzie drukowany jest nowy komunikat. Ta selektywna aktualizacja drugiego wiersza jest szczególnie przydatna, gdy konieczne jest dostarczenie użytkownikowi dodatkowych danych przy jednoczesnym zachowaniu informacji wyświetlanych w pierwszym wierszu.

Wyświetlacz LCD i funkcja komunikacji są integralną częścią systemu i zapewniają jasny i łatwy do zrozumienia sposób otrzymywania przez użytkownika informacji zwrotnych z urządzenia. Skutecznie zaprogramowane elementy sterujące poprawiają interakcję z urządzeniem i przyczyniają się do zadowolenia użytkownika.

```

void wyswietlMenu() {
    wyslij("1. Orzeźwiający Mix");
    wyslij("2. Jesienna Harmonia");
    wyslij("3. Tropikalna Bryza");
    wyslij("4. Malinowa Rozkosz");
    wyslij("5. Cytrusowy Zing");
    wyslij("6. Klasyczna Cola Mix");
    wyslij("7. Lemoniadowe Orzeźwienie");
    wyslij("8. Klasyczna Cola Mix");
    wyslij("9. Pomarańczowa Fantazja");
    wyslij("10. Ananasowa Fuzja");
    wyslij("11. Lemon & Cola");
    wyslij("12. Słoneczny Koktajl");
    wyslij("12. Mleczny Twist");
    wyslij("13. Lekka Cola");
    wyslij("14. Cytrynowy Chłód");
    wyslij("15. Malinowy Dream");
    wyslij("16. Egzotyczny Mix");
    wyslij("17. Orzeźwiający Cytrus");
    wyslij("18. Lemoniada Plus");
    wyslij("19. Tropikalna Cola");
    wyslij("20. Malinowa Cola");
}

int pobierzWyborMenu() {
    while (!(SerialBT.available() || Serial.available())) {
        delay(10);
    }

    if (SerialBT.available()) {
        return SerialBT.parseInt();
    } else if (Serial.available()) {
        return Serial.parseInt();
    }

    return -1;
}

```

Rys. 25 Obsługa menu i wyboru płynów.

Przedstawiony fragment kodu do obsługi mikrokontrolera ESP32 dla automatu do dozowania płynów zawiera dwie funkcje, które tworzą interfejs użytkownika do wyboru mieszanek cieczy:

- Funkcja wyswietlMenu() - ma na celu przedstawienie użytkownikowi listy dostępnych mieszanin. Funkcja ta działa poprzez sekwencyjne wysyłanie nazw pozycji w menu, takich jak "Orzeźwiający Mix", "Jesienna Harmonia", czy "Tropikalna Bryza" za pomocą funkcji wyslij(), która przesyła dane zarówno przez Bluetooth, jak i port szeregowy,
- Funkcja pobierzWyborMenu() - odpowiedzialna za pobieranie wyborów dokonanych przez użytkownika. W tym celu funkcja nasłuchuje obecności danych wejściowych przez Bluetooth lub port szeregowy. Gdy użytkownik dokona wyboru, dane te są interpretowane przez funkcję jako liczba całkowita odpowiadająca numerowi pozycji wybranej z menu. Jeśli w określonym czasie nie zostanie odebrany żaden sygnał,

funkcja zwraca wartość -1, sygnalizując potrzebę anulowania wyboru lub ponownego wybrania napoju.

Te dwie funkcje są bardzo ważne dla procesu zamawiania napojów, ponieważ zapewniają płynną i intuicyjną obsługę systemu.

```
bool tarujWage() {
    wyslijNaLCD("Tarowanie...");
    wyslijNaLCD2("Ostrożnie!");
    wyslij("Umieść szklankę na wadze i naciśnij 't', aby wytarować...");
    wyslij("Naciśnij 'm', aby anulować i wrócić do menu.");
    char result = czekajNaDaneZTimeoutem(15000, 't', 'm');
    if (result == 't') {
        MojaWaga.peel();
        wyslij("Waga wytarowana.");
        return true;
    } else if (result == 'm') {
        wyslij("Wybór anulowany, powrót do menu.");
        return false;
    } else {
        wyslij("Czas na tarowanie upłynął, powrót do menu.");
        return false;
    }
}
```

Rys. 26 Tarowanie wagi.

Załączony zrzut ekranu przedstawia funkcję tarujWage(), która odgrywa ważną rolę w procesie dozowania płynów z automatu. Funkcja ta instruuje użytkownika o procesie tarujWage, czyli ustawienia wagi na zero przed pompowaniem składników. Proces ten jest niezbędny do zapewnienia dokładnej ilości dodawanego materiału.

Na wyświetlaczu LCD pojawi się komunikat "Tarowanie...", a w drugim wierszu komunikat "Uwaga!". Następnie należy umieścić pustą szklankę na wadze i nacisnąć przycisk "t", aby rozpocząć proces tarowania; naciśnięcie przycisku "m" powoduje anulowanie procesu tarowania i powrót do menu głównego.

Funkcja wykorzystuje metodę pomocniczą czekajNaDataZTimeoutem(15000, 't', 'm'), aby czekać, aż użytkownik naciśnie odpowiedni przycisk przez określony czas (aktualnie 15 sekund). Jeśli użytkownik naciśnie "t", waga zostanie wytarowana przy użyciu metody MojaWaga.peel(), a użytkownik otrzyma potwierdzenie "Waga wytarowania". Funkcja zwraca wartość true, wskazując, że pomiar wagi się powiódł. W przypadku wpisania "m" lub

jeśli czynność nie zostanie wykonana w określonym czasie, funkcja zwróci wartość false, wskazując użytkownikowi, że wybór został anulowany lub że upłynął czas tarowania.

Funkcja tarujWage() jest zatem ważnym elementem zapewniającym dokładność procesu wydawania napoju, umożliwiając automatyczne dostosowanie ilości składników do aktualnej wagi pojemnika. Zapewnia to, że końcowy produkt ma prawidłowy stosunek składników zgodnie z wybraną recepturą.

```
bool przygotujNapojNaPodstawieWyboru(int wybor) {
    switch (wybor) {
        case 1: // Orzeźwiający Mix
            if (!nalejSkładnik("Sok pomarańczowy", 30, 15) || !nalejSkładnik("Woda gazowana", 20, 18) || !nalejSkładnik("Lemoniada gazowana", 10, 27)
                || !nalejSkładnik("Sok jabłkowy", 40, 16)) {
                return false;
            }
            break;
        case 2: // Jesienna Harmonia
            if (!nalejSkładnik("Sok jabłkowy", 40, 16) || !nalejSkładnik("Lemoniada gazowana", 30, 27) || !nalejSkładnik("Woda gazowana", 30, 18)) {
                return false;
            }
            break;
        case 3: // Tropikalna Bryza
            if (!nalejSkładnik("Sok ananasowy", 25, 17) || !nalejSkładnik("Sok pomarańczowy", 25, 15) || !nalejSkładnik("Tonik", 50, 25)) {
                return false;
            }
            break;
        case 20: // Malinowa Cola
            if (!nalejSkładnik("Syrup malinowy", 40, 32) || !nalejSkładnik("Cola", 60, 26)) {
                return false;
            }
            break;
        default:
            wyslij("Nieprawidłowy wybór. Spróbuj ponownie.");
            return false;
    }
    wyslij("Twój napój jest gotowy! Odbierz go!");
    wyslijNaLCD("Napój gotowy!");
    wyslijNaLCD2("Odbierz go!");
    return true;
}
```

Rys. 27 Sekwencja sterowania dozowaniem składników napoju.

Załączony obraz przedstawia część funkcji przygotujNapojNaPodstawieWyboru(intwybor), która jest kluczową częścią oprogramowania mikrokontrolera dozownika napojów ESP32. Funkcja ta jest odpowiedzialna za sterowanie procesem wydawania mieszanki płynów na podstawie wyboru dokonanego przez użytkownika.

Używając wybranego numeru pozycji z menu jako argumentu, funkcja wykorzystuje instrukcje switch do obsługi różnych scenariuszy.

Na przykład:

case1 odpowiada przygotowaniu "Orzeźwiającego Mixu", gdzie funkcja nalejSkładnik() jest wywoływana z parametrami odpowiadającymi każdemu składnikowi napoju: sokowi pomarańczowemu, wodzie gazowanej, gazowanej lemoniadzie i sokowi jabłkowemu. Jeśli

którykolwiek z tych składników zostanie dozowany nieprawidłowo (funkcja `nalejSkładnik()` zwróci wartość `false`), cała funkcja zwróci wartość `false`, wskazując na problem w procesie wydawania napoju.

Pozostałe case działają w podobny sposób, przygotowując różne kombinacje napojów przy użyciu różnych składników i ilości, takich jak "Jesienna Harmonia" w case 2 czy "Tropikalna Bryza" w case 3,

Wreszcie, jeśli wybór użytkownika odbiega od określonego, wyświetlany jest komunikat o nieprawidłowym wyborze, a funkcja zwraca wartość `false`.

Po pomyślnym dozowaniu wszystkich składników na wyświetlaczu LCD pojawi się komunikat "Napój gotowy!". Jest to sygnał dla użytkownika, że proces przygotowania napoju został pomyślnie zakończony, a funkcja zwraca wartość `true`.

Funkcja jest zatem odpowiedzialna za kontrolowanie całego procesu dozowania, sterowanie przekaźnikami i sprawdzanie dozowanej ilości, aby upewnić się, że jest ona zgodna z wybraną recepturą napoju.

```
bool nalejSkładnik(String składnik, int waga, int pin) {
    int startowaWaga = MojaWaga.readWeight();
    int aktualnaWaga;
    digitalWrite(pin, LOW); // Rozpoczęcie nalewania

    wyslijNaLCD(składnik);
    delay(1000); // Czekaj sekundę, aby wyświetlić nazwę składnika

    do {
        aktualnaWaga = MojaWaga.readWeight();
        if (aktualnaWaga - startowaWaga >= waga) {
            break;
        }

        String komunikatLCD = String(aktualnaWaga - startowaWaga) + " g";
        String komunikatSerial = "Nalano " + składnik + ": " + komunikatLCD;
        wyslij(komunikatSerial);
        wyslijNaLCD2("Nalano: "+komunikatLCD);

        if (Serial.available() || SerialBT.available()) {
            char znak = Serial.available() ? Serial.read() : SerialBT.read();
            if (znak == 'm') {
                digitalWrite(pin, HIGH); // Zakończenie nalewania
                wyslij("Przerwano, powrót do menu.");
                return false;
            }
        }
    } while (true);

    digitalWrite(pin, HIGH); // Zakończenie nalewania
    return true;
}
```

Rys. 28 Funkcja dozująca.

Na przedstawionym powyżej zrzucie przedstawiono ostatnią z kluczowych funkcji w kodzie mikrokontrolera automatu do dozowania płynów z zaimplementowanych na mikrokontroler ESP32. Funkcja ta jest odpowiedzialna za dozowanie składników dokładnie według określonej wagi.

Zadania tej funkcji są następujące:

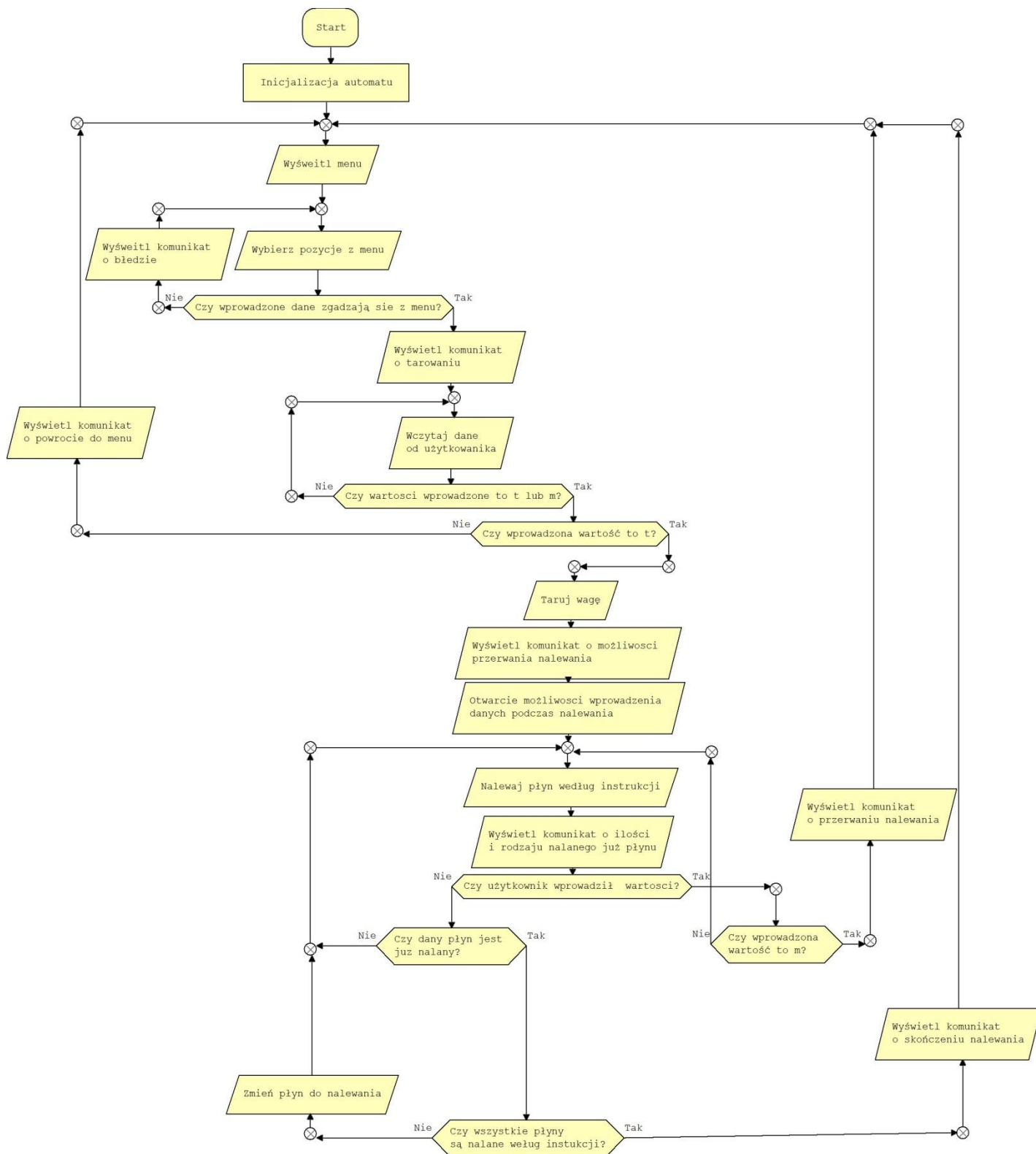
- Pobranie aktualnej wagi z czujnika (`MojaWaga.readWeight()`) i przypisanie jej do zmiennej `startowaWaga`,
- Aktywowanie przełącznika odpowiedzialnego za produkty (`digitalWrite(pin, LOW)`) i rozpoczęcie nalewania,
- Wyświetlenie nazwy składnika na ekranie LCD i oczekiwanie chwilę (`delay(1000)`), aby użytkownik mógł zobaczyć, co jest aktualnie nalewane,
- Możliwość przerwania procesu nalewania przez użytkownika, jeśli ten wprowadzi odpowiedni znak ('m'), co skutkuje zakończeniem nalewania (`digitalWrite(pin, HIGH)`) i wyświetleniem komunikatu o przerwaniu,
- Zakończenie funkcji poprzez zwrócenie `true` po pomyślnym dozowaniu lub `false`, jeśli proces nalewania zostanie przerwany.

Reszta kodu zawiera funkcje pomocnicze, takie jak czyszczenie buforów szeregowych. Funkcje te służą do utrzymania wejścia i wyjścia w czystości i zapobiegają mieszaniu się wiadomości, ale są mniej ważne dla głównego procesu nalewania. Tak więc funkcja `nalejSkładnik()` jest krytycznym elementem zapewniającym, że automat dozowania płynów działa z oczekiwaną dokładnością i wydajnością, która jest niezbędna dla zadowolenia użytkownika.



## **4.2. Cykl pracy programu**

Cykl pracy programu to złożona sekwencja zdarzeń, która rozpoczyna się w momencie inicjalizacji automatu, a kończy w momencie podania użytkownikowi gotowej wybranej pozycji z menu. Proces ten łączy w sobie zarówno interfejs użytkownika, jak i precyzyjną kontrolę fizycznego mechanizmu automatu, aby zapewnić płynne i wydajne działanie systemu. W tym podrozdziale opisano podstawowe kroki automatu dozującego, od wyświetlania dostępnych opcji menu po wybór użytkownika, tarowanie i dozowanie składników. Załączony schemat blokowy jest używany, aby pomóc w wizualizacji przepływu pracy i zrozumieniu logiki stojącej za automatem do dozowania płynów.



Rys. 29 Schemat blokowy działania automatu.

Proces rozpoczyna się od uruchomienia systemu, podczas którego inicjalizowane są kluczowe komponenty, takie jak wyświetlacz LCD, czujnik wagi i moduł Bluetooth.. Jest to ważny etap, który jest podstawą pod kolejne kroki i zapewnia, że wszystkie komponenty są gotowe do interakcji z użytkownikiem. Na tym etapie urządzenie przechodzi przez szereg wstępnych

kroków, takich jak wdrożenie najważniejszych zmiennych, ustawienie zerowego punktu odniesienia dla czujnika wagi i nawiązanie połączenia Bluetooth w celu umożliwienia bezprzewodowej komunikacji z aplikacją mobilną użytkownika.

Następnie na ekranie LCD wyświetlane jest powiadomienie z prośbą o wybranie napoju, a pełna lista dostępnych opcji wyświetlana jest zarówno w aplikacji mobilnej, jak i przez port szeregowy. To inteligentne rozwiązanie umożliwia użytkownikom dostęp do różnych opcji, niezależnie od preferowanego interfejsu.

Gdy użytkownik dokona wyboru, system sprawdza, czy numer wybranej pozycji znajduje się w dostępnym menu. Jeśli numer został wprowadzony poprawnie, urządzenie przechodzi do następnego kroku - tarowania wagi i przygotowania składnika do dozowania. Jeśli wybór nie pasuje do menu, użytkownik otrzymuje jasne i jednoznaczne instrukcje, aby spróbować ponownie. Krok ten ma na celu zapewnienie, że każdy płyn jest przygotowywany dokładnie zgodnie z preferencjami użytkownika i jest kluczem do zapewnienia spersonalizowanej usługi i utrzymania wysokiego poziomu satysfakcji użytkownika.

Etap tarowania wagi jest niezbędny do dokładnego pomiaru ilości składników zawartych w pojemniku. Użytkownik jest proszony o umieszczenie pustego naczynia na wadze i podanie odpowiedniej komendy w celu wyzerowania wagi. Jest to bardzo ważny krok, ponieważ zapewnia dokładne ważenie każdego kolejnego składnika, zapewniając spójność i jakość produktu końcowego. W przypadku popełnienia błędu wyboru pozycji lub zmiany zdania można powrócić do menu głównego, zapewnia to elastyczność i pełną kontrolę nad procesem.

Po zakończeniu ważenia urządzenie przechodzi do głównej części procesu - nalewania składników. Dla każdej wybranej cieczy program aktywuje odpowiedni przełącznik w celu pompowania danego składnika, a wyświetlacz LCD i komunikacja szeregowy/Bluetooth pozwalają użytkownikowi poznać nazwę konkretnego płynu i ilość już nalaną. Co ważne, użytkownik może zatrzymać proces w dowolnym momencie, co jest istotne z punktu bezpieczeństwa i personalizacji.

Gdy wszystkie płynne składniki zostaną wlane w odpowiednich proporcjach, użytkownik otrzymuje sygnał, że zmieszany płyn jest gotowy do odbioru. Na ekranie terminala pojawia się komunikat "Napój gotowy!". Sygnał ten kończy interakcję z dystrybutorem. Po nalaniu napoju system automatycznie uruchamia się ponownie i przechodzi w tryb gotowości, oczekując na kolejne polecenie.

## **5. Budowa prototypowego urządzenia i testy**

### **5.1 Proces montażu**

Tworzenie każdego prototypu zaczyna się od podstaw, od pomysłu do planowania i realizacji. Pierwszym krokiem w tworzeniu prototypu automatu do dozowania płynów było staranne przygotowanie spisu wszystkich niezbędnych komponentów. Wybór każdego komponentu został starannie przemyślany, aby zapewnić optymalną funkcjonalność i wydajność produktu końcowego.

Przed rozpoczęciem fizycznego montażu narzędzi i materiałów opracowano wstępny program dla mikrokontrolera. Celem tego programu było zapewnienie płynnej komunikacji między modułami i koordynacja ich działania. Dokonano tego jeszcze przed zbudowaniem pierwszego fizycznego modelu.

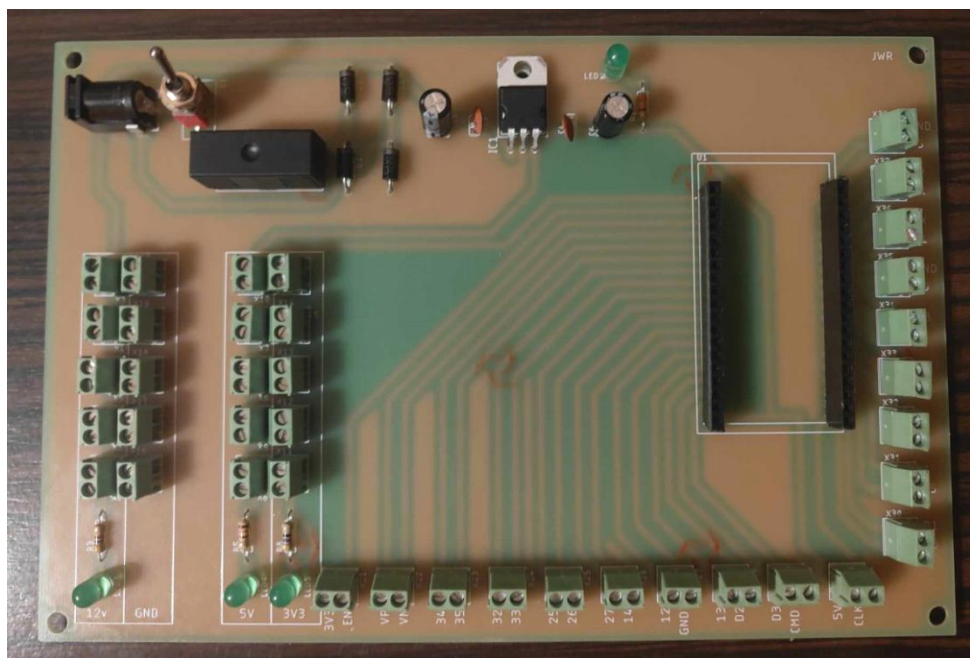
Następnie zdecydowano użyciu płytki stykowej do przetestowania pierwszej komunikacji i interakcji między modułami. Umożliwiło to szybkie prototypowanie obwodów elektronicznych bez konieczności lutowania, a także eksperymentowanie i udoskonalanie projektu.

Gdy wczesna wersja obwodu została pomyślnie zmontowana i przetestowana na płycie stykowej, kolejnym krokiem było zaprojektowanie specjalistycznej płytki PCB.

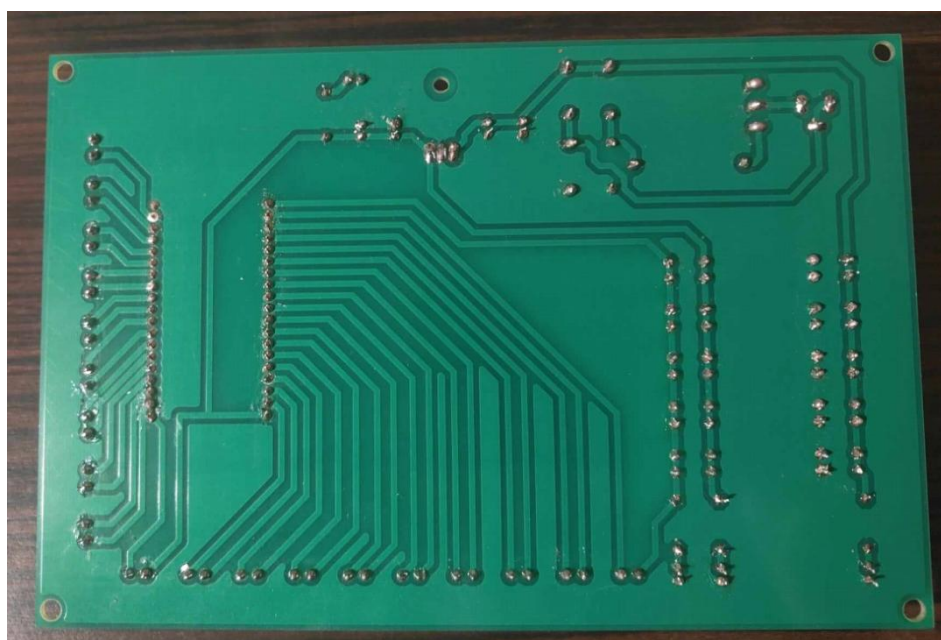
Zaprojektowanie płytki PCB wymagało starannego rozmieszczenia komponentów i ścieżek, aby zmaksymalizować wydajność i zminimalizować ryzyko zakłóceń i zwarc. Specjalistyczne oprogramowanie do projektowania obwodów, takie jak EAGLE, zostało wykorzystane do dokładnego rozmieszczenia każdego elementu obwodu i optymalizacji przepływu prądu i sygnału.

Ze względu na skalę i złożoność projektu, zdecydowano się zlecić produkcję PCB firmie zewnętrznej specjalizującej się w tej dziedzinie. Decyzja ta była podyktowana nie tylko wymaganiami technicznymi, ale także chęcią uzyskania wysokiej jakości i precyzji produktu, co jest trudne do osiągnięcia przy użyciu własnych metod produkcji.

Po otrzymaniu gotowej płytki PCB, skompletowano wszystkie komponenty i rozpoczęto montaż końcowy. Etap ten wymaga szczególnej precyzji i dokładności, gdyż nawet najmniejszy błąd może wpłynąć na działanie całego urządzenia.



Rys. 30 Płytki PCB po lutowaniu rzut z góry.



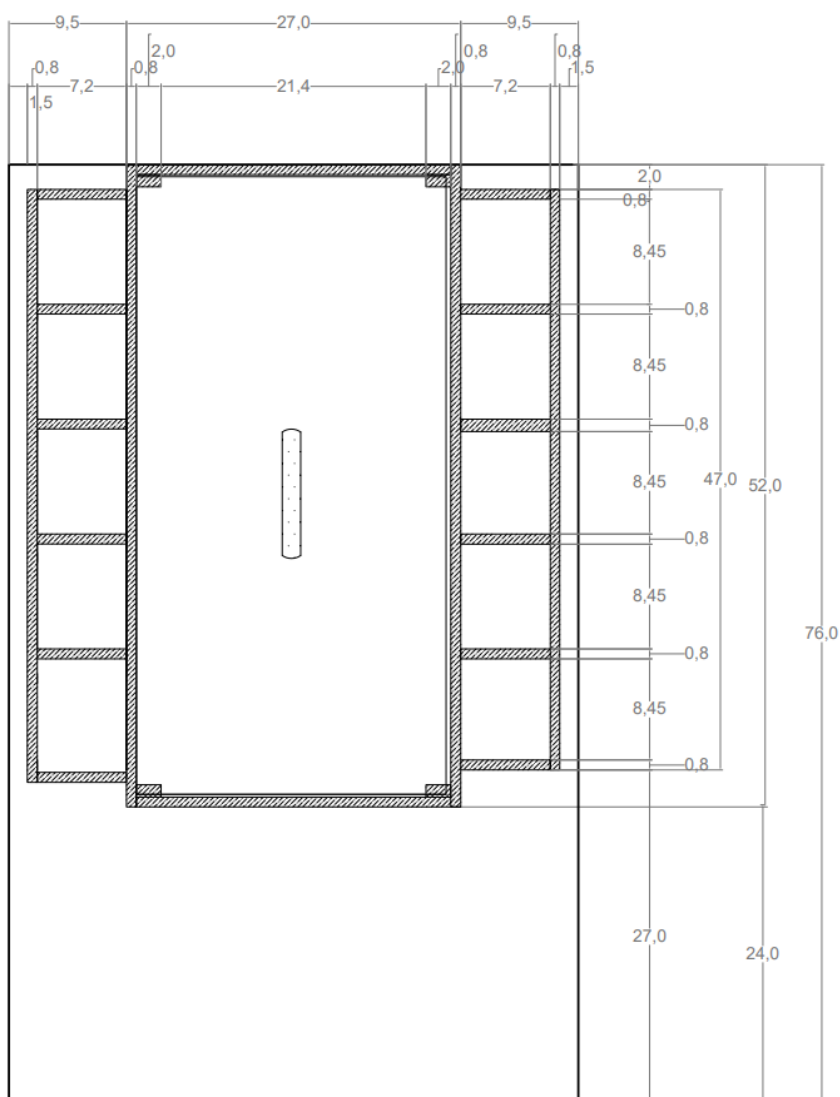
Rys. 31 Płytki PCB po lutowaniu rzut z dołu.

Rysunek 28 przedstawia górną powierzchnię płytki drukowanej, na której wyraźnie widoczne są ścieżki przewodzące i zainstalowane komponenty elektroniczne. Każdy komponent jest starannie przylutowany na miejscu, ścieżki są wyraźne i nie ma niepożądanych zwężeń ani szczelin.

Rysunek 29 pokazuje dolną część płytki, gdzie można zobaczyć lutowanie połączeń elektronicznych. Dobrze wykonane połączenie zapewnia brak zakłóceń w przesyłanych sygnałach. Całość jest zabezpieczona soldermaską, która utrzuca płytkę i konserwuje ją na długie lata.

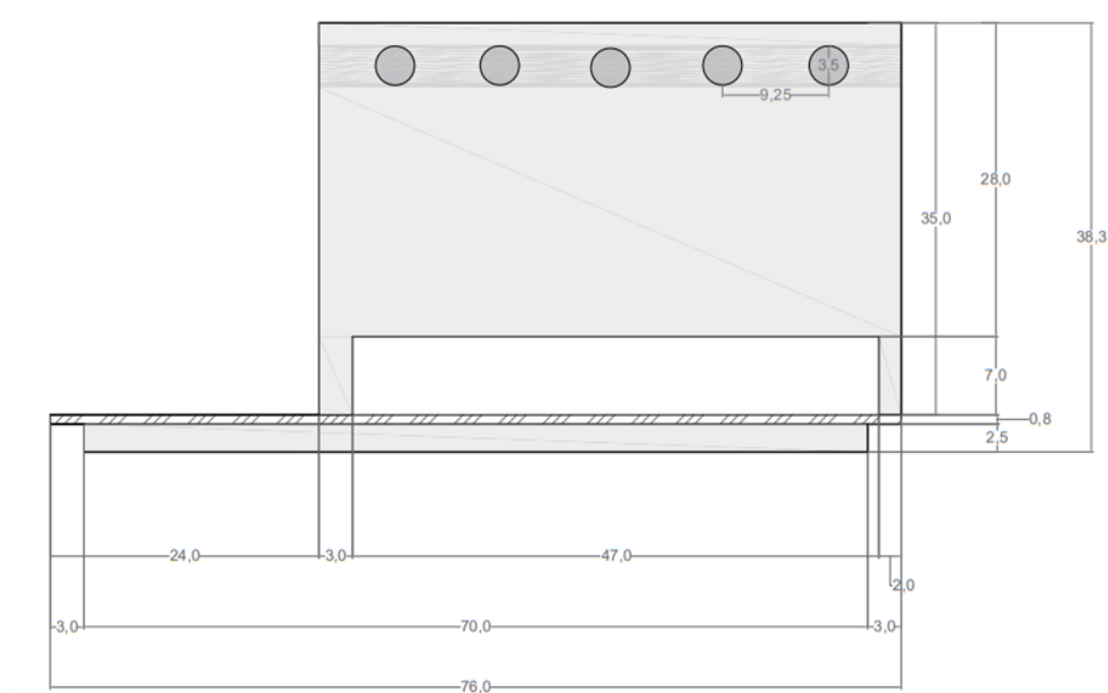
Wstępnej oceny jakości montażu można dokonać poprzez oględziny płytki po lutowaniu. Należy zwrócić uwagę na równomierne rozłożenie cyny, brak zimnych lutów i zwarć pomiędzy ścieżkami.

Zakończenie etapu lutowania płytki PCB było punktem zwrotnym w procesie prototypowania urządzenia dozującego płyny i pozwoliło przejść do kolejnego etapu projektu -opracowania układu. Za pomocą programu AutoCAD wszystkie aspekty projektu makiety, od ogólnego układu do dokładnych wymiarów poszczególnych komponentów, zostały szczegółowo zaplanowane. Wybór 8-milimetrowej wodoodpornej sklejki jako materiału do budowy makiety miał na celu zapewnienie stabilności i trwałości projektu.



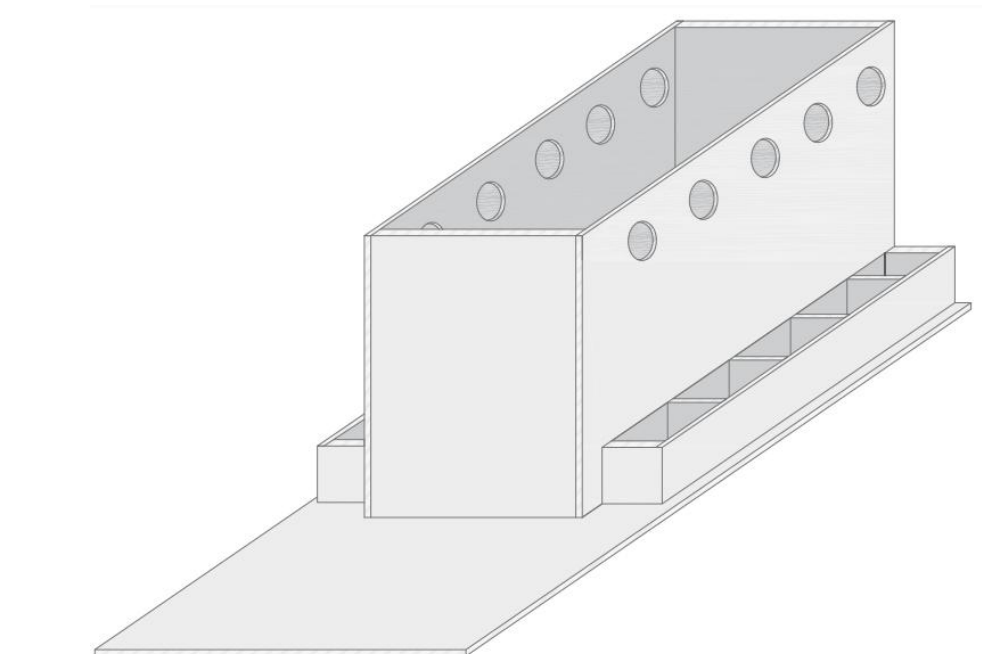
Rys. 30 Rzut projektu makiety z góry.

Powyższy rysunek przedstawia widok z góry projektu makiety ilustrujący dokładny układ przestrzenny konstrukcji. Każdy wymiar zaznaczony na schemacie jest wyrażony w centymetrach, aby zapewnić jasne zrozumienie i ułatwić montaż.



Rys. 32 Rzut projektu makiety z boku.

Powyższy rysunek przedstawia rzut boczny projektu makiety, umożliwiający oszacowanie wysokości szerokości i głębokości każdej z jej części. Ponownie, wszystkie wymiary są podane w centymetrach, co pozwala na realistyczne i dokładne przedstawienie planowanej konstrukcji.



Rys. 33 Rzut projektu makiety w 3D.



Rysunek 32 przedstawia wizualizację 3D projektu makiety, która przekształca rysunek 2D w kompletny model przestrzenny. Daje to pełny obraz projektu i dokładnie ilustruje wszystkie komponenty, od największego elementu do najmniejszego szczegółu.

Dokładne rysunki techniczne są integralną częścią procesu prototypowania, zapewniając, że wszystkie komponenty są ze sobą kompatybilne i pasują do siebie zgodnie z projektem. Takie podejście minimalizuje ryzyko wystąpienia błędów montażowych i zapewnia sprawną realizację projektu. Bazując na dokładnych rysunkach technicznych, proces prototypowania przebiegał precyzyjnie, w wyniku czego powstała fizyczna makieta.



Rys. 34 Stworzona makieta widok z boku.

Rysunek 33 przedstawia gotową już obudowę z boku. Do budowy korpusu i podstawy użyto sklejki o grubości 8 milimetrów. Sprytnie umieszczenie otworu na butelkę demonstruje funkcjonalność makiety i przewiduje sposób przechowywania płynów w gotowych korytach.



Rys. 35 Stworzona makieta widok pod kątem.



Rysunek 34 przedstawia widok makiety pod kątem, który daje wyobrażenie o układzie przestrzennym i interakcji różnych elementów. Widoczne na zdjęciu butelki coli pokazują skalę układu, pozwalając ocenić jego pojemność i ergonomię.

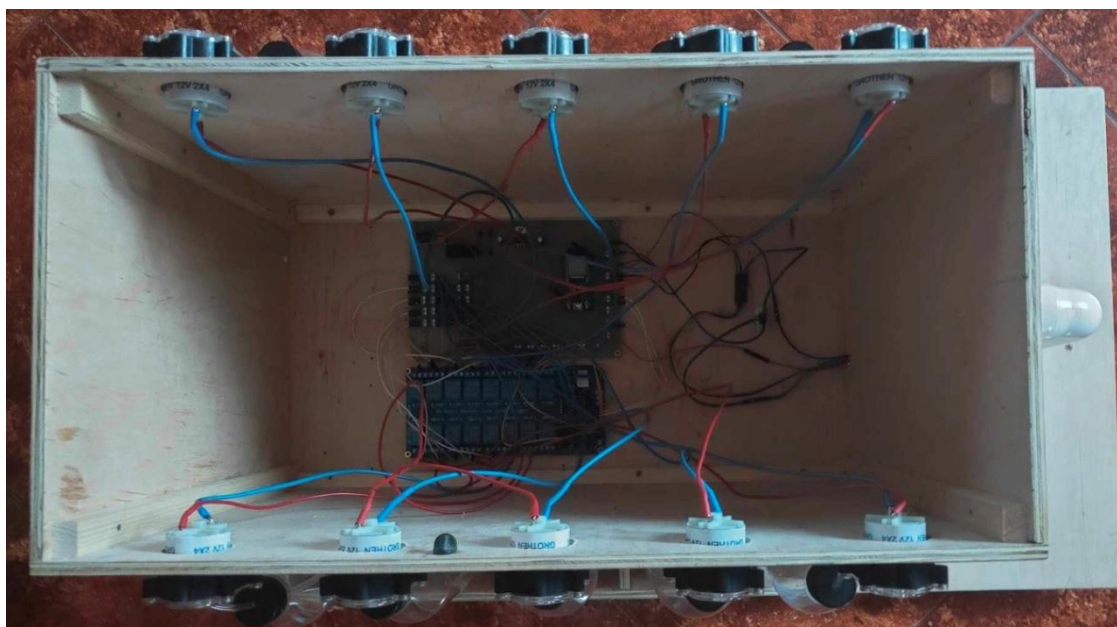
Stworzona makieta jest fizyczną reprezentacją projektu z programu AutoCAD, umożliwiając bezpośrednie sprawdzenie założeń projektu i przetestowanie funkcjonalności prototypu w rzeczywistym środowisku. To, co niegdyś było koncepcją cyfrową, jest teraz realizowane jako działający model, który może stanowić podstawę do dalszych testów, oceny wydajności automatów i rozwoju produktu.

Po zakończeniu projektowania i montażu makiety w oparciu o dokładne rysunki techniczne w programie AutoCAD, przyszła kolej na połączenie wszystkich komponentów elektronicznych z fizyczną strukturą prototypu w pełnoprawny prototyp. Po lutowaniu, gotowa płytki PCB została umieszczona na makiecie.



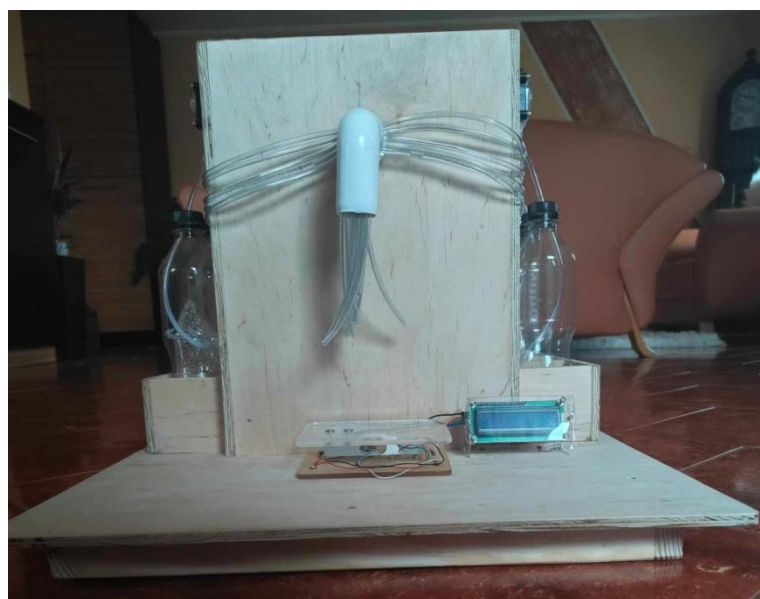
Rys. 36 Końcowy wygląd prototypu widok z boku.

Powyższe zdjęcie przedstawia ostateczny widok prototypu z boku, gdzie pompy perystaltyczne są zamontowane nad zbiornikami i są gotowe do dostarczania cieczy. Dzięki starannie przemyślanej konstrukcji, cały system pompy jest dobrze zorganizowany i dostosowany do powierzchni makiety.



Rys. 37 Końcowy wygląd prototypu widok z góry.

Rysunek 36 przedstawia wnętrze prototypu z góry. Tutaj można zobaczyć, jak płytką drukowaną jest zintegrowana z resztą projektu i jak poszczególne elementy, takie jak przewody i złącza, są ułożone i zabezpieczone, demonstrując przejrzystość i funkcjonalność całego obwodu.



Rys. 38 Końcowy wygląd prototypu widok z przodu.

Rysunek 37 przedstawia widok prototypu z przodu, gdzie znajduje się wyświetlacz LCD i inne elementy interfejsu użytkownika. Wszystkie komponenty, w tym wyświetlacz i czujnik tensometryczny, są umieszczone tak, aby były łatwo dostępne dla użytkownika.

Przewody rurowe od pomp prowadzące ze zbiorników cieczy do czujnika tensometrycznego są dobrze poprowadzone i zabezpieczone, aby zapewnić wydajny przepływ i dokładne dozowanie. Ogólny projekt odzwierciedla pierwotny zamysł i pokazuje, jak cyfrowa koncepcja ewoluowała w działający model.

## 5.2 Testowanie urządzenia

W procesie weryfikacji wydajności automatu do dozowania płynów przeprowadzono szereg testów mających na celu ocenę dokładności dozowania, czas reakcji na polecenia zdalnego sterowania, produktywności oraz bezpieczeństwa operacyjnego. Testy obejmowały zarówno standardowe procedury, jak i scenariusze symulujące warunki rzeczywiste użytkowania.

Wstępne testy skoncentrowano na podstawowych funkcjach, takich jak uruchamianie, zatrzymywanie, selekcja programów dozowania i bezpośrednie sterowanie procesem. Kolejnym etapem było przetestowanie zdalnego sterowania poprzez aplikację mobilną, gdzie sprawdzano reakcję urządzenia na wysyłane polecenia.

Szczegółowa analiza dokładności dozowania przeprowadzona z użyciem różnorodnych płynów i zakresów dozowania wykazała, że waga odmierza z dokładnością  $\pm 0,2\%$  g, z zastrzeżeniem, że w niektórych przypadkach odnotowano odchylenia do 1-2 g więcej, co wynikało z skraplania się resztek płynu pozostających w rurkach po zakończeniu pompowania.

Czas potrzebny na realizację procedur dozowania wahał się od 1,5 minuty do 2,10 minuty, zależnie od numeru procedury, liczby składników, gramatury przepisu oraz tego, czy rurki były puste przed rozpoczęciem dozowania.

Testy bezpieczeństwa skupiły się na reakcji urządzenia na nieprawidłowe polecenia, awarie sterowania oraz inne potencjalne sytuacje awaryjne. W szczególności, zweryfikowano, że w przypadku przerwania połączenia Bluetooth urządzenie nie ulega zakłóceniom i po ponownym połączeniu kontynuuje pracę na tym samym etapie. Zauważono brak zabezpieczenia przed przypadkowym usunięciem naczynia z wagi podczas testów. W sytuacji, gdy naczynie jest przypadkowo usunięte, dozowanie kontynuowane jest do momentu ręcznego przerwania procesu za pomocą odpowiedniej komendy. Należy jednak zaznaczyć, że taka funkcjonalność zabezpieczająca nie była wymagana od automatu do dozowania płynów, jako że większość urządzeń tego typu nie posiada mechanizmów automatycznego wykrywania i reagowania na brak naczynia. Brak takiego zabezpieczenia jest zgodny ze standardowymi praktykami projektowymi w tej kategorii automatów.

Analiza danych z testów wykazała, że urządzenie w pełni jest funkcjonalne. Dokładność dozowania i czas reakcji na polecenia zdalnego sterowania mieszczą się w dopuszczalnych. Testy operacyjne potwierdziły, że urządzenie jest zdolne do stabilnej pracy.

W trakcie testowania urządzenia napotkano na problem z komunikacją szeregową UART, który miał kluczowe znaczenie dla realizacji zdalnego sterowania i monitorowania pracy automatu. Początkowy plan zakładał wykorzystanie portu szeregowego mikrokontrolera ESP32 poprzez interfejs mikro USB, przy czym rozważano odcięcie przewodu zasilającego w celu uniknięcia podwójnego zasilania z shielta oraz portu USB. Jednakże, okazało się, że UART w mikrokontrolerze ESP32 bez bezpośredniego zasilania z portu USB nie funkcjonuje prawidłowo, co wymagało podejścia do rozwiązania tego problemu.

Rozwiązaniem tego problemu było zastosowanie zewnętrznego modułu UART USB, który został podłączony do pinów TX i RX mikrokontrolera ESP32. Pierwsze próby wykorzystały moduł oparty o układ PL2303, który pozwalał na odbiór danych od ESP32, lecz nie umożliwiał wysyłania danych do mikrokontrolera. Taki jednokierunkowy przepływ informacji był niewystarczający dla potrzeb projektu, co skłoniło do dalszej analizy dostępnych na rynku rozwiązań.

Po dogłębnym przeglądzie dostępnych modułów UART USB, podjęto decyzję o zastosowaniu modułu opartego na układzie FT232RL. Moduł ten oferuje dwukierunkową komunikację, umożliwiając zarówno odbiór danych od mikrokontrolera ESP32, jak i wysyłanie poleceń do urządzenia. Dzięki wykorzystaniu układu FT232RL, komunikacja szeregową UART z mikrokontrolerem stała się stabilna i niezawodna, co było kluczowe dla efektywnego zdalnego sterowania i monitorowania pracy automatu do dozowania płynów.

Implementacja modułu FT232RL jako rozwiązania do komunikacji szeregową UART rozwiązała problem związany z komunikacją, zapewniając pełną funkcjonalność wymaganą dla projektu. Wybór tego modułu był podyktowany jego sprawdzoną wydajnością, kompatybilnością z mikrokontrolerem ESP32. Takie podejście umożliwiło również łatwą integrację z istniejącą architekturą systemu bez potrzeby wprowadzania zmian w konstrukcji płytki PCB czy oprogramowaniu mikrokontrolera.

## 6. Podsumowanie

Celem pracy inżynierskiej było zaprojektowanie, zbudowanie i przetestowanie prototypu urządzenia do dozowania płynów, które można byłoby sterować zdalnie. Projekt ten obejmował szeroki zakres działań, od początkowej koncepcji, przez dobór odpowiednich komponentów, aż po finalizację, testowanie gotowego prototypu i realizację kosztorysu. Kluczowym aspektem pracy było stworzenie intuicyjnego interfejsu użytkownika, co osiągnięto poprzez opracowanie aplikacji mobilnej, implementację wyświetlacza LCD oraz integrację komunikacji szeregowej. Taki interfejs umożliwił nie tylko łatwą obsługę urządzenia, ale także umożliwił użytkownikom monitorowanie procesu dozowania w czasie rzeczywistym, co stanowi istotny krok naprzód w kierunku zwiększenia ergonomii i efektywności procesów produkcyjnych i usługowych. Praca ta wskazuje na możliwości wykorzystania nowych technologii w automatyzacji i podkreśla znaczenie inżyniera w tworzeniu innowacyjnych rozwiązań, które są zarówno technicznie zaawansowane, jak i przyjazne dla użytkownika. Ponadto, realizacja projektu pozwoliła na głębsze zrozumienie złożoności procesów inżynierskich oraz znaczenia testowania i dostosowywania prototypów w odpowiedzi na rzeczywiste potrzeby użytkowników.

W ramach projektu zaprojektowano również specjalistyczny shield do automatu, który stanowił kluczowy element w integracji różnorodnych komponentów elektronicznych i modułów komunikacyjnych. Ten dedykowany shield umożliwił efektywne połączenie i zarządzanie sygnałami pomiędzy urządzeniem dozującym, wyświetlaczem LCD, systemem komunikacji szeregowej oraz innymi elementami systemu. Projektowanie shielda wymagało głębokiej wiedzy technicznej oraz zrozumienia specyficznych wymagań operacyjnych automatu dozującego płyny. Dzięki temu rozwiązaniu, udało się osiągnąć wysoki poziom modułowości oraz elastyczności konstrukcji, co z kolei przyczyniło się do zwiększenia niezawodności i efektywności całego systemu. Implementacja tego elementu była zatem kluczowym etapem w procesie budowy prototypu, pozwalającym na spełnienie założonych celów projektowych oraz zapewnienie wysokiej jakości i funkcjonalności gotowego produktu.

Tab. 10 Całkowity kosztorys projektu

Lp.	Komponent	Ilość	Cena jednostkowa (PLN)	Koszt całkowity (PLN)
1	Mikrokontroler	1	70	70
2	Moduł UART USB	1	30	30
3	Pompa perystaltyczna	10	40	400
4	Moduł wagi	1	145	160
5	Wyświetlacz LCD z obudową	1	30	40
6	Moduł przekaźników	1	70	70
7	Płytki PCB	1	78	78
8	Komponenty elektroniczne płytki PCB	x	x	144
9	Zasilacz	1	35	35
10	Materiały obudowy	x	x	350
11	Przewody, rurki i złącza	x	x	120
12	Koszty dodatkowe (transport, niewymienione drobne elementy)	x	x	350
Suma:				1847

Koszty dodatkowe (transport, niewymienione drobne elementy)

W tabeli przedstawiono szczegółowy kosztorys projektu, uwzględniający kluczowe komponenty i materiały niezbędne do zbudowania i przetestowania prototypu. Kosztorys obejmuje wszystkie elementy od mikrokontrolera, poprzez moduły komunikacyjne, po koszty produkcji płytki PCB i wykonanie obudowy. Analiza kosztów ma na celu zapewnienie pełnej transparentności wydatków związanych z realizacją projektu.

Planowany jest dalszy rozwój projektu w późniejszym czasie, co ma na celu nie tylko udoskonalenie funkcjonalności urządzenia, ale także poszerzenie zakresu jego zastosowań. Wizja przyszłego rozwoju zakłada wdrażanie nowych technologii i rozwiązań, które mogą jeszcze bardziej zwiększyć efektywność i dokładność dozowania płynów w różnych warunkach operacyjnych. Mam nadzieję, że moja praca przyczyni się do rozwoju i udoskonalenia metod aplikacji płynów zarówno w zastosowaniu przemysłowym, jak i codziennym, otwierając nowe perspektywy dla automatyzacji procesów oraz podnosząc standardy efektywności i precyzji.

## **Bibliografia**

1. Jerzy Grębosz - Symfonia C++ (Tom 1, Tom 2)
2. ShawnWallace - Płytki drukowane (PCB). Nauka i projekty od podstaw
3. Udo Brandes - Mikrocontroller ESP32 (niemiecki)
4. Stanisław Bolkowski - Teoria obwodów elektrycznych
5. Patrick Marchhart - ESP32 Light Controller (angielski)
6. Henryk Wieczorek - Eagle, pierwsze kroki
7. Krzysztof Makowski, Mieczysław Suseł - Grafika inżynierska z zastosowaniem programu AutoCAD
8. <https://docs.espressif.com/>
9. <https://www.dfrobot.com/>
10. <https://www.sunrom.com/>
11. <https://www.snapeda.com/>
12. <https://botland.com.pl/blog/>

## Spis rysunków

Rys. 1 BarMix – automat do koktajli .....	8
Rys. 2 FillMaster – automatyczny system napełniania butelek .....	9
Rys. 3 Schemat struktury komunikacji modułów automatu.....	12
Rys. 4 Pinout mikrokontrolera ESP32 DevKitV4. ....	21
Rys. 5 Schemat mostka Graetza. ....	26
Rys. 6 Schemat obwodu zaprojektowanej płytki PCB. ....	29
Rys. 7 Projekt ścieżek przewodzących na płycie PCB automatu dozującego płyny przed wylewaniem.....	30
Rys. 8 Finalizacja projektu płytki PCB - faza po „wylewaniu”. ....	31
Rys. 9 Wizualizacja górnej strony płytki w programie Eagle. ....	32
Rys. 10 Wizualizacja dolnej strony płytki w programie Eagle. ....	33
Rys. 11 Pompa perystaltyczna Grothen GS23401-02. ....	34
Rys. 12 Gravity - cyfrowy czujnik nacisku 1 kg z układem HX711.....	35
Rys. 13 Integracja czujnika nacisku z przykładowym mikrokontrolerem. ....	36
Rys. 14 Schemat budowy belki tensometrycznej. ....	37
Rys. 15 Moduł przekaźników 16-kanalowy. ....	40
Rys. 16 Integracja modułu przekaźników z przykładowym mikrokontrolerem. ....	41
Rys. 17 Wyświetlacza LCD 2x16 z konwerterem HD44780.....	43
Rys. 18 Integracja wyświetlacza LCD z przykładowym mikrokontrolerem. ....	44
Rys. 19 Logo aplikacji "Serial Bluetooth Terminal". ....	45
Rys. 20 Zrzut ekranu procesu wyboru z menu użytkownika. ....	46
Rys. 21 Zrzut ekranu procesu tarowania z menu użytkownika.....	47
Rys. 22 Zrzut ekranu procesu nalewania z menu użytkownika. ....	47
Rys. 23 Funkcje inicjalizujące automat. ....	49
Rys. 24 Funkcje komunikacji użytkownika z automatem.....	50
Rys. 25 Obsługa menu i wyboru płynów. ....	52
Rys. 26 Tarowanie wagi. ....	53
Rys. 27 Sekwencja sterowania dozowaniem składników napoju.....	54
Rys. 28 Funkcja dozująca.....	55
Rys. 29 Schemat blokowy działania automatu.....	58
Rys. 30 Płytki PCB po lutowaniu rzut z góry.....	61
Rys. 31 Płytki PCB po lutowaniu rzut z dołu.....	61
Rys. 32 Rzut projektu makiety z boku. ....	63
Rys. 33 Rzut projektu makiety w 3D. ....	63
Rys. 34 Stworzona makietka widok z boku. ....	64
Rys. 35 Stworzona makietka widok pod kątem. ....	64
Rys. 36 Końcowy wygląd prototypu widok z boku. ....	65
Rys. 37 Końcowy wygląd prototypu widok z góry.....	66
Rys. 38 Końcowy wygląd prototypu widok z przodu. ....	66



## Spis tabel

Tab. 1 Porównanie metod odmierzenia płynów. ....	15
Tab. 2 Analiza technologii komunikacyjnych dla aplikacji. ....	16
Tab. 3 Analiza elementów sterujących. ....	17
Tab. 4 Wybór mikrokontrolera. ....	18
Tab. 5 Spis elementów płytki PCB. ....	27
Tab. 6 Dane techniczne pompy perystaltycznej Grothen GS23401-02. ....	34
Tab. 7 Gravity - Specyfikacja techniczna. ....	35
Tab. 8 Wybrany moduł przekaźników - Specyfikacja techniczna ....	40
Tab. 9 Specyfikacja techniczna wyświetlacza LCD. ....	43
Tab. 10 Całkowity kosztorys projektu. ....	70