



Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

---

# Problem chleba

---

Adam Cofała  
Izabela Bargieł  
Dawid Osipczuk  
Maja Muchowicz

Raport końcowy z PZSP1 25Z

# Streszczenie

Projekt „Problem Chleba” narodził się z zainteresowania zespołu zagadnieniami związanymi z fermentacją żywności oraz obserwacji trudności z jakimi spotykają się osoby podejmujące próby domowego wypieku chleba na zakwasie. Stanowi on innowacyjne podejście do optymalizacji domowej fermentacji zakwasu chlebowego, która jako złożony proces biochemiczny wymaga rygorystycznej kontroli parametrów środowiskowych. Opracowane rozwiązanie to kompaktowy inkubator w formie drewnianej obudowy, wyposażonej w dedykowaną, wydrukowaną w technologii 3D pokrywkę słoika z zintegrowanym systemem sensorycznym. Wykorzystując mikrokontroler ESP32, czujnik temperatury i wilgotności DHT11 oraz ultradźwiękowy sensor HC-SR04, system monitoruje w czasie rzeczywistym kluczowe zmienne: ciepło, wilgotność oraz fizyczny poziom wyrośnięcia zakwasu. Urządzenie posiada wbudowany wyświetlacz LCD oraz układ aktywnej termoregulacji oparty na ogniwie Peltiera, co pozwala na uniezależnienie procesu od warunków zewnętrznych. Urządzenie zostało wzbogacone o system spersonalizowanych powiadomień o stanie biologicznym zakwasu.

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Określenie i analiza problemu</b>	<b>1</b>
1.1	Temat wyjściowy projektu . . . . .	1
1.2	Zdefiniowanie problemu . . . . .	1
1.3	Rozważane pomysły . . . . .	1
1.4	Pogłębiona analiza . . . . .	2
1.5	Sformułowanie docelowego kierunku projektu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Nasze rozwiązanie</b>	<b>3</b>
2.1	Założenia projektowe . . . . .	3
2.2	Prototyp . . . . .	3
2.3	Architektura techniczna i implementacja . . . . .	3
2.4	Warstwa sprzętowa i sensoryczna . . . . .	4
2.5	Interfejs użytkownika . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Testy i walidacja rozwiązania</b>	<b>6</b>
3.1	Metodologia testowania . . . . .	6
3.2	Scenariusze testowe . . . . .	6
3.3	Feedback użytkowników . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Informacje o zespole i współpracy</b>	<b>8</b>
4.1	Opis ról poszczególnych członków zespołu . . . . .	8
4.2	Organizacja pracy . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Wnioski i refleksje</b>	<b>9</b>
5.1	Ocena realizacji projektu . . . . .	9
5.2	Z czego jesteśmy zadowoleni? . . . . .	9
5.3	Co byśmy zrobili inaczej? . . . . .	9
5.4	Potencjalne kierunki rozwoju . . . . .	9
<b>A</b>	<b>Dodatki</b>	<b>10</b>
A.1	Materiały . . . . .	10
A.2	Notatki ze spotkań . . . . .	10
	<b>References</b>	<b>10</b>

# Określenie i analiza problemu

## 1.1 Temat wyjściowy projektu

Pieczenie chleba w warunkach domowych, choć historycznie postrzegane jako podstawowa umiejętność, jest skomplikowanym, wieloetapowym procesem biochemicznym. Zwiększająca się świadomość ludzi, dotycząca zdrowego odżywiania oraz zamknięcie w domu podczas pandemii COVID-19 doprowadziły do znaczącego wzrostu zainteresowania domowymi wypiekami, szczególnie wśród młodych ludzi poszukujących aktywności angażujących i zdrowszych alternatyw wobec produktów handlowych. Tematem wyjściowym projektu była obserwacja trudności, jakie napotykają osoby próbujące piec chleb na zakwasie w warunkach domowych.

## 1.2 Zdefiniowanie problemu

Zauważyliśmy, że proces fermentacji zakwasu, mimo że znany od setek lat, w praktyce okazuje się trudny do powtórzenia i silnie zależny od warunków środowiskowych, a także wymagający regularnego kontrolowania. Nawet niewielkie zmiany temperatury mogą prowadzić do zaburzenia aktywności drożdży oraz bakterii kwasu mlekowego, a co za tym idzie znacznych różnic w czasie dojrzewania zakwasu oraz w jego jakości.

W warunkach domowych użytkownicy zazwyczaj polegają na intuicji, doświadczeniu lub ogólnych poradach internetowych. Brakuje prostych narzędzi umożliwiających:

- ciągły monitoring parametrów,
- stabilne warunki fermentacji,
- jednoznaczną informację o gotowości zakwasu.

Pytanie, do którego doprowadziły nas te obserwacje brzmiało: „Jak ułatwić amatorom pieczenia chleba kontrolę nad fermentacją zakwasu w sposób przystępny cenowo i prosty w obsłudze?”

## 1.3 Rozważane pomysły

Na etapie wstępnym wzięliśmy pod uwagę kilka możliwych kierunków rozwiązania problemu:

- aplikację mobilną z przypomnieniami,
- inteligentną wagę do monitorowania wzrostu objętości,
- specjalną komorę fermentacyjną,
- inteligentną pokrywkę słoika.

## 1.4 Pogłębiona analiza

1. **Badanie popytu i identyfikacja bariery wejścia** – W początkowej fazie pracy nad problemem zapoznaliśmy się z literaturą naukową z zakresu mikrobiologii żywności, a także przeprowadziliśmy analizę rynku oraz trendów.
2. **Określenie interesariuszy**

Tabela 1.1: Bezpośredni interesariusze naszego rozwiązania

Grupa docelowa	Główne trudności	Potrzeby technologiczne
Studenci	Brak miejsca, nieregularny tryb życia	Kompaktość, powiadomienia mobilne
Osoby pracujące	Brak czasu na monitoring manualny	Pełna automatyzacja odczytów
Amatorzy wypieków	Brak wiedzy biochemicznej	Przystępna interpretacja danych
Wykluczeni technologicznie	Skomplikowane interfejsy rynkowe	Prostota obsługi, intuicyjność

3. **Przegląd istniejących rozwiązań** – analiza konkurencji wykazała, że dzielą się one na drogie urządzenia przemysłowe oraz klasyczne wypiekacze do chleba, które jednak nie pozwalają na precyzyjną kontrolę warunków. Patenty takie jak „Smart Sourdough Starter” czy „Automated sourdough starter appliance” często pozostają jedynie koncepcjami teoretycznymi, charakteryzującymi się skomplikowaną obsługą. W nowoczesnych badaniach proponuje się wykorzystanie spektrometrii mas do monitorowania lotnych związków organicznych, co jest jednak rozwiązaniem zbyt kosztownym dla użytkownika domowego. W ten sposób zdefiniowaliśmy lukę rynkową istniejącą pomiędzy sprzętem profesjonalnym a potrzebami użytkownika domowego.

## 1.5 Sformułowanie docelowego kierunku projektu

Ostatecznie zdecydowaliśmy się na stworzenie kompaktowego inkubatora zakwasu z elementami automatycznego pomiaru i regulacji, ponieważ rozwiązanie to najlepiej odpowiadało zidentyfikowanym potrzebom użytkowników oraz uzupełniało zidentyfikowaną przez nas lukę.

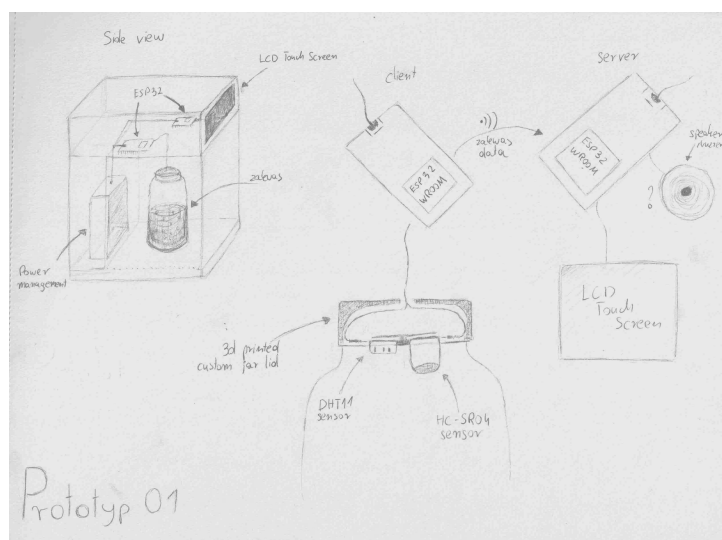
# Nasze rozwiązanie

## 2.1 Założenia projektowe

Do głównych celów projektu należały:

- automatyczny pomiar parametrów,
- stabilizacja temperatury fermentacji,
- wizualizacja danych w czasie rzeczywistym,
- informowanie użytkownika o stanie zakwasu,
- możliwość długotrwałej, bezobsługowej pracy urządzenia,
- zapewnienie powtarzalności procesu fermentacji, niezależnie od warunków panujących w pomieszczeniu.

## 2.2 Prototyp



Rysunek 2.1: Prototyp

## 2.3 Architektura techniczna i implementacja

Architektura systemu została zaprojektowana przez nas w sposób modułowy, co ułatwiało integrację poszczególnych komponentów oraz późniejsze testowanie. Centralnym elementem systemu

jest mikrokontroler ESP32, który odpowiada za komunikację z czujnikami, przetwarzanie danych oraz sterowanie elementami wykonawczymi.

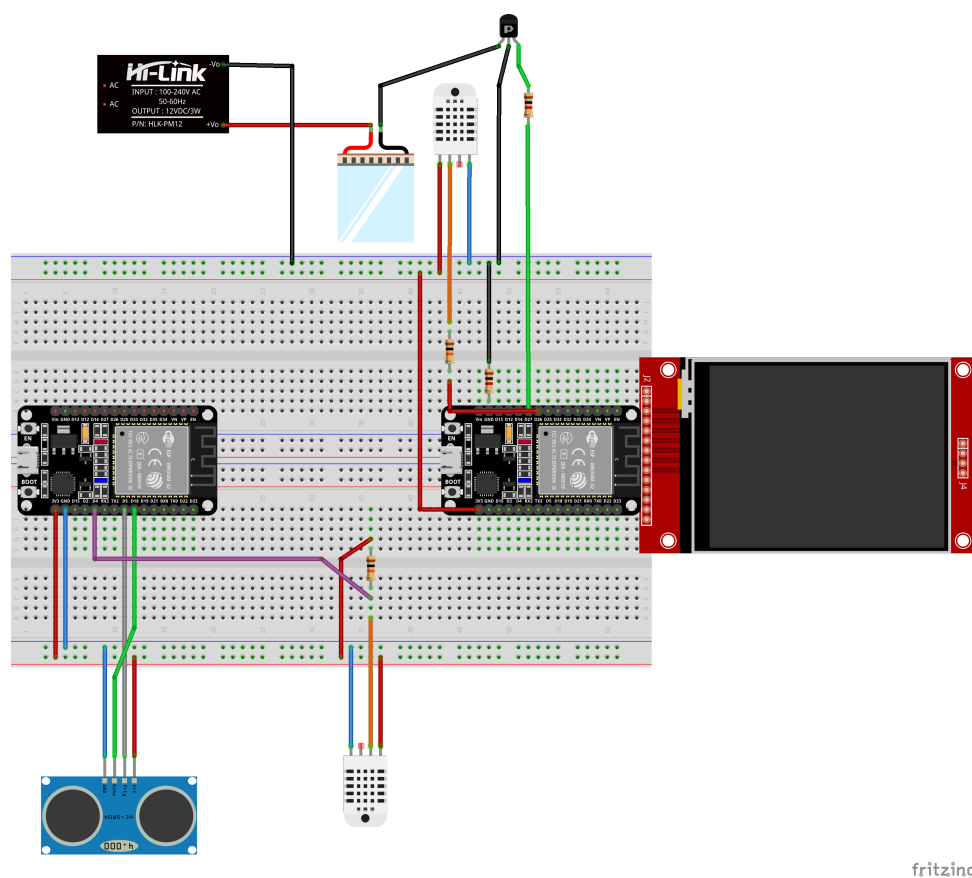
Dane pomiarowe z czujników temperatury, wilgotności oraz poziomu zakwasu są odczytywane cyklicznie i analizowane w oprogramowaniu mikrokontrolera. Komunikacja pomiędzy modułami realizowana jest bezprzewodowo z wykorzystaniem protokołu ESP-NOW, co pozwala na energooszczędną i niskolatencyjną transmisję danych pomiarowych bez konieczności stałego połączenia z siecią WiFi. Na podstawie aktualnych wartości system podejmuje decyzje dotyczące uruchomienia lub wyłączenia modułu termoregulacji.

Dodatkowo ESP32 obsługuje interfejs użytkownika w postaci ekranu LCD oraz system powiadomień, który informuje użytkownika o konieczności dokarmienia zakwasu oraz o kluczowych momentach procesu fermentacji, takich jak osiągnięcie optymalnego wzrostu.

## 2.4 Warstwa sprzętowa i sensoryczna

W projekcie zastosowano następujące komponenty sprzętowe:

- mikrokontroler ESP32 – jednostka sterująca,
- czujnik DHT11 – pomiar temperatury i wilgotności,
- czujnik ultradźwiękowy HC-SR04 – pomiar poziomu wyrośnięcia zakwasu,
- ogniwo Peltiera – regulacja temperatury,
- wyświetlacz LCD – interfejs użytkownika.

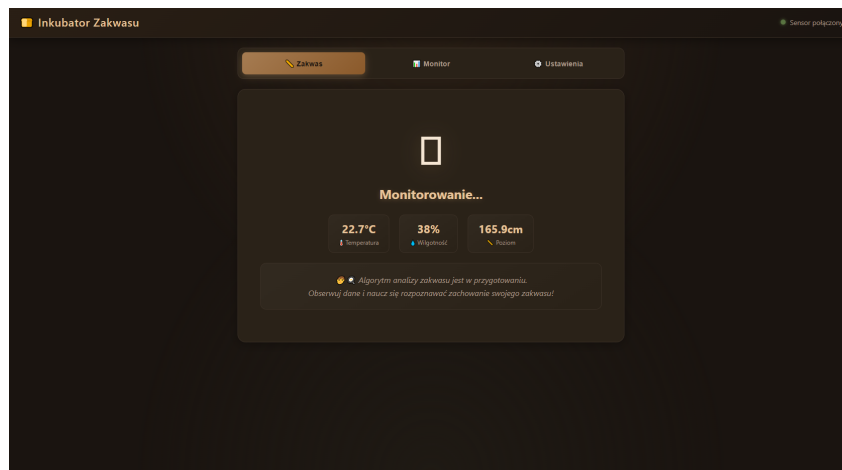


fritzing

Rysunek 2.2: Schemat elektryczny

## 2.5 Interfejs użytkownika

Interfejs użytkownika obejmuje zarówno lokalne wyświetlacze, jak i interfejs webowy dostępny z poziomu przeglądarki internetowej. Wyświetlacz LCD prezentuje aktualne wartości parametrów fermentacji, natomiast wyświetlacz OLED pełni funkcję wizualizacyjną, przedstawiając uproszczoną animację procesu fermentacji.



Rysunek 2.3: Strona internetowa

Dodatkowo użytkownik ma możliwość podglądu danych oraz konfiguracji ustawień za pośrednictwem strony internetowej.



Rysunek 2.4: Finalna wersja inkubatora

# Testy i walidacja rozwiązania

## 3.1 Metodologia testowania

1. Testy jednostkowe: weryfikacja każdego sensora osobno, testy LCD oraz strony internetowej
2. Testy integracyjne: współpraca modułów, stabilność
3. Testy funkcjonalne: rzeczywista fermentacja w naszym inkubatorze, porównanie z próbą kontrolną
4. Test użyteczności: 1 użytkownik testowy, ankieta satysfakcji, feedback

## 3.2 Scenariusze testowe

**Scenariusz 1** : Reakcja poszczególnych czujników na zmianę warunków

**Scenariusz 2** : Integracja odczytów ze stroną internetową - zaobserwowano te same wartości co na LCD oraz aktualizacje przeprowadzane na bieżąco

**Scenariusz 3** : Reakcja inkubatora na otwarcie drzwiczek - zaobserwowano zmiany w odczytach z czujników oraz uruchomienie Peltiera

**Scenariusz 4** : Pomiar wyrośnięcia zakwasu - inkubator poprawnie wykrył zmiany wysokości i przeliczył je na % gotowości

**Scenariusz 5** : Praca ciągła 72h - zero awarii

**Scenariusz 6** : Test użyteczności - użytkownik stwierdził poprawę komfortu przeprowadzenia fermentacji zakwasu

**Scenariusz 7** : Test systemu powiadomień – poprawne wysłanie wiadomości e-mail po osiągnięciu określonego etapu fermentacji.

**Scenariusz 8** : Test rekonfiguracji sieci – zapis ustawień sieciowych i ich zachowanie po restarcie urządzenia.

Wszystkie funkcjonalności krytyczne działają poprawnie.

## 3.3 Feedback użytkowników

- Łatwość konfiguracji: 10
- Intuicyjność: 9.8
- Użyteczność powiadomień: 9.2

- Ogólna satysfakcja: 9.6

\*Ze względu na ograniczenia czasowe przeprowadzono szczegółowy test użyteczności z 1 osobą oraz krótkie ankiety obejmujące działanie interfejsu z 3 dodatkowymi użytkownikami. Odpowiedzi zostały przedstawione w skali 1-10.

# Informacje o zespole i współpracy

## 4.1 Opis ról poszczególnych członków zespołu

### **Adam Cofała - Specjalista ds. oprogramowania i elektroniki**

Odpowiedzialny za opracowanie warstwy systemowej urządzenia, w tym stworzenie oprogramowania układowego dla modułu ESP32. Zarządzał infrastrukturą techniczną projektu, w tym repozytorium na platformach GitHub oraz GitLab, a także opracował stronę internetową umożliwiającą zdalne śledzenie parametrów fermentacji.

### **Izabela Bargieł - Koordynatorka badań i dokumentacji**

Przewodziła pracom nad analizą literatury przedmiotu (desk research) oraz syntezą wyników. Była współautorką raportu końcowego oraz opracowała strukturę merytoryczną prezentacji półrocznej i końcowej.

### **Dawid Osipczuk - Główny inżynier**

Zaprojektował i wykonał nakrętkę słoika w technologii druku 3D. Odpowiadał za modelowanie mechaniczne oraz finalny montaż i okablowanie komponentów elektronicznych.

### **Maja Muchowicz - Użytkowniczka testowa**

Czuwała nad spójnością projektu i harmonogramem prac. Odpowiadała za planowanie komunikacji w zespole, opracowanie scenariuszy testowych oraz weryfikację użyteczności interfejsu, dbając o to, by system był intuicyjny dla amatorów piekarstwa.

## 4.2 Organizacja pracy

W początkowej fazie pracowaliśmy w trybie spotkań cotygodniowych - podczas czwartkowych zajęć. Po podziale ról i rozdysponowaniu zadań każdy realizował własne w swoim zakresie. Naszym głównym kanałem komunikacyjnym był messenger, a road map projektu stworzyliśmy w Notion. Notatki ze spotkań umieszczamy w dodatkach do raportu.

# Wnioski i refleksje

## 5.1 Ocena realizacji projektu

Projekt został zrealizowany zgodnie z pierwotnymi założeniami funkcjonalnymi. Wszystkie funkcjonalności krytyczne, takie jak pomiar temperatury, wilgotności, wzrostu zakwasu oraz stabilizacja warunków fermentacji, zostały poprawnie zaimplementowane i przetestowane.

Otrzymany prototyp spełnia swoją rolę jako narzędzie wspierające domowy proces fermentacji i potwierdza zasadność przyjętej koncepcji projektowej. Pomimo ograniczeń czasowych udało się stworzyć działające urządzenie, które pozwala na realne wykorzystanie w praktyce.

## 5.2 Z czego jesteśmy zadowoleni?

1. Podział ról
2. Dokumentacja na bieżąco - ułatwiło nam to później opracowanie raportu
3. Jasno zdefiniowany problem
4. Działający prototyp
5. Upieczony chleb

## 5.3 Co byśmy zrobili inaczej?

Gdyby projekt był realizowany ponownie, większy nacisk położylibyśmy na komunikację mobilną z użytkownikiem, na przykład poprzez dedykowaną aplikację. Ułatwiłoby to zdalny podgląd parametrów fermentacji oraz natychmiastowy odbiór powiadomień.

## 5.4 Potencjalne kierunki rozwoju

W przyszłości projekt mógłby zostać rozwinięty o:

- aplikację mobilną z historią fermentacji,
- zapis danych do pamięci lub chmury,
- możliwość wyboru różnych profili fermentacji,
- automatyczne uczenie się preferencji użytkownika.

# Dodatki

## A.1 Materiały

**Repozytorium z kodem projektu:** [github.com/AdamCofala/Problem-Chleba](https://github.com/AdamCofala/Problem-Chleba)

**Tablica projektu:** PZSP1 Grupa A

**Desk research:** Notion

## A.2 Notatki ze spotkań

**Spotkanie 1** - 9 października 2025

Agenda

1. burza mózgów - wybór problemu projektowego
2. analiza zainteresowań zespołu
3. wstępny podział ról

Decyzje

- wybrano problem: monitoring fermentacji zakwasu chlebowego
- przyjęto kierunek projektu: inteligentny inkubator
- ustalono główny kanał komunikacji: Messenger
- utworzono tablicę projektową w Notion

**Spotkanie 2** - 16 października 2025

Agenda

1. zapoznanie z zestawami prototypowymi

**Spotkanie 3** - 20 października 2025

Agenda

1. analiza procesu fermentacji
2. przegląd istniejących rozwiązań
3. opisanie persony

**Spotkanie 4 - 23 października 2025**

## Agenda

1. analiza problemu użytkownika
2. określenie grupy docelowej
3. wstępna koncepcja rozwiązania

## Decyzje

- rozwiązanie powinno być kompaktowe
- urządzenie musi działać autonomicznie
- kluczowe będą pomiary temperatury i wzrostu zakwasu

**Spotkanie 5 - 27 października 2025**

## Agenda

1. omówienie desk researchu
2. projekt prototypu
3. podział zadań technicznych

## Decyzje

- wybór ESP32 jako jednostki centralnej
- zaakceptowanie koncepcji pomiaru wzrostu zakwasu czujnikiem ultradźwiękowym
- rozpoczęcie przygotowywania zakwasu

**Spotkanie 6 - 30 października 2025**

## Agenda

1. zapoznanie z mentorem
2. omówienie dotychczasowych działań

## Decyzje

- to będzie dobra współpraca
- trzeba rozpisać "must have" oraz "nice to have"

**Spotkanie 7 - 20 listopada 2025**

## Agenda

1. opracowanie prezentacji połówkowej
2. rozpoczęcie prac nad obudową

## Decyzje

- znaleźć drewniane pudełko po winie
- upiec chleb na połówkową

- przygotować nowy projekt nakrętki

**Spotkanie 8** - 11 grudnia 2025

Agenda

1. prezentacja połówkowa

**Spotkanie 9** - 17 grudnia 2025

Agenda

1. strona internetowa
2. podział zadań na przerwę świąteczną

Decyzje

- rozważyć inne sposoby komunikacji z użytkownikiem

**Spotkanie 10** - 22 stycznia 2026

Agenda

1. raport końcowy

**Spotkanie 11** - 29 stycznia 2026

Agenda

1. finalne ustalenia dotyczące prezentacji końcowej
2. skompletowanie inkubatora