

An automatic system for irrigating plants in the concept of the Internet of Things

Mateusz Laszczak¹, Wojciech Kasolik², Łukasz Więclaw³, Tomasz Gancarczyk⁴

- ¹ mgr inż., Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, s55274@student.ubb.edu.pl
- ² inż., Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, s57168@stuent.ubb.edu.pl
- ³ dr, Department of Computer Science and Automatics, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, lwieclaw@ubb.edu.pl
- ⁴ dr inż., Department of Computer Science and Automatics, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Poland, tgan@ubb.edu.pl
- * Corresponding author, s57168@stuent.ubb.edu.pl

Abstract: The purpose of the study was to develop an automatic plant irrigation system within the context of the Internet of Things concept. It presented theoretical issues related to IoT technologies, networks and smart agriculture, as well as the application of the Internet of Things to irrigation systems. It also describes the technologies and components used in the irrigation system, and then discusses the process of implementing the system using the ESP32 microcontroller and the Home Assistant platform. The paper also includes an analysis of the system tests carried out and a summary of the results obtained.

Keywords: Internet of Things; irrigation system; Home Assistant; ESP32; soil moisture sensor;

Automatyczny system do nawadniania roślin w koncepcji Internetu Rzeczy

Mateusz Laszczak¹, Wojciech Kasolik², Łukasz Więclaw³, Tomasz Gancarczyk⁴

- ¹ mgr inż., Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Polska, s55274@student.ubb.edu.pl
- ² inż., Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Polska, s57168@stuent.ubb.edu.pl
- ³ dr, Katedra Informatyki i Automatyki, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Polska, lwieclaw@ubb.edu.pl
- ⁴ dr inż., Katedra Informatyki i Automatyki, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biala, Polska, tgan@ubb.edu.pl
- * Autor korespondencyjny, s57168@stuent.ubb.edu.pl

Streszczenie: Celem pracy było opracowanie automatycznego systemu nawadniania roślin w ramach koncepcji Internetu Rzeczy. W jej ramach przedstawiono zagadnienia teoretyczne związane z technologiami IoT, sieciami oraz inteligentnym rolnictwem, a także zastosowanie Internetu Rzeczy w systemach nawadniania. Opisano również technologie i komponenty wykorzystywane w systemie nawadniającym, a następnie omówiono proces realizacji systemu z użyciem mikrokontrolera ESP32 i platformy Home Assistant. W pracy zawarto również analizę przeprowadzonych testów systemu oraz podsumowanie uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: Internet Rzeczy; system nawadniania; Home Assistant; ESP32; czujnik wilgotności gleby;

1. Wstęp

Automatyzacja procesów, szczególnie w rolnictwie, odgrywa coraz większą rolę w optymalizacji produkcji i zarządzaniu zasobami naturalnymi. Dzięki postępowi technologicznemu, zwłaszcza w obszarze Internetu Rzeczy (IoT), możliwe jest wprowadzanie rozwiązań, które zwiększają efektywność i jednocześnie zmniejszają udział pracy ludzkiej. Jednym z najważniejszych zastosowań IoT w rolnictwie jest automatyczne nawadnianie roślin. Z wykorzystaniem inteligentnych czujników i systemów monitorujących, można precyzyjnie kontrolować zużycie wody, dostosowując je do aktualnych warunków środowiskowych.

Rozwiązania IoT związane z nawadnianiem zyskują na popularności, zwłaszcza w obliczu problemów z dostępem do wody i wzrastających kosztów jej użytkowania. Nowoczesne systemy, takie jak platforma Home Assistant i mikrokontrolery ESP32 w połączeniu z czujnikami, pozwalają monitorować parametry gleby, np. wilgotność, oraz automatycznie sterować przepływem wody przy użyciu elektrozaworów i przełączników. Dzięki integracji z chmurą użytkownicy mogą zdalnie zarządzać nawadnianiem i optymalizować procesy wykorzystywane w rolnictwie za pomocą urządzeń mobilnych.

W pracy przedstawione zostaną szczegóły technologii zastosowanej w systemie automatycznego nawadniania, w tym jego architektura, użyte komponenty oraz wyniki testów, które potwierdzają efektywność takiego rozwiązania.

1.1. Internet Rzeczy

Internet Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) to dynamicznie rozwijająca się koncepcja technologiczna, która odnosi się do globalnej sieci połączonych ze sobą urządzeń, czujników oraz systemów elektronicznych, które mają zdolność komunikowania się i wymiany danych. Urządzenia te mogą pracować w trybie autonomicznym, monitorując i regulując różne procesy w środowisku fizycznym. [1, 4]

IoT obejmuje szeroki zakres aplikacji, począwszy od codziennego użytku w gospodarstwach domowych, przez przemysł, aż po sektor rolnictwa i medycyny, zapewniając inteligentne zarządzanie zasobami oraz optymalizację procesów. W kontekście rolnictwa, IoT staje się narzędziem umożliwiającym bardziej precyzyjne monitorowanie środowiska upraw oraz automatyzację wielu czynności, w tym systemów nawadniania, nawożenia i ochrony roślin.

1.1.1. Definicja Internetu Rzeczy

Internet Rzeczy można zdefiniować jako sieć fizycznych obiektów, które dzięki wbudowanej elektronice, czujnikom, oprogramowaniu oraz łączności sieciowej mogą komunikować się z innymi urządzeniami i systemami poprzez sieć. Przedmioty te mogą obejmować zarówno proste czujniki, jak i bardziej złożone urządzenia, takie jak maszyny przemysłowe czy pojazdy. Kluczowym aspektem IoT jest możliwość gromadzenia i przesyłania danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na bardziej efektywne zarządzanie zasobami oraz zdalne sterowanie procesami. Definicja IoT ewoluuje wraz z rozwojem technologii, a obecnie obejmuje także elementy sztucznej inteligencji, które zwiększają autonomiczność i zdolność urządzeń do podejmowania decyzji na podstawie analizowanych danych. [2, 4]

1.1.2. Znaczenie Internetu Rzeczy

Znaczenie Internetu Rzeczy jest nieocenione w kontekście globalnych wyzwań gospodarczych, środowiskowych oraz społecznych. Dzięki integracji z różnorodnymi technologiami, IoT umożliwia przedsiębiorstwom i gospodarstwom domowym optymalizację zużycia zasobów, takich jak energia, woda czy surowce, co przyczynia się do zrównoważonego rozwoju. W sektorze rolnictwa IoT pomaga w precyzyjnym monitorowaniu warunków środowiskowych, co pozwala na efektywniejsze zarządzanie uprawami, zmniejszenie ilości zużywanej wody i energii oraz minimalizację strat plonów. Dodatkowo, IoT znajduje zastosowanie w inteligentnych miastach, gdzie umożliwia zarządzanie infrastrukturą, transportem i zużyciem energii, poprawiając jakość życia mieszkańców i redukując wpływ na środowisko. [3]

1.2. Inteligentne Rolnictwo

Inteligentne rolnictwo, znane także jako rolnictwo precyzyjne, to zaawansowane podejście do zarządzania uprawami i hodowlą, które opiera się na nowoczesnych technologiach, takich jak Internet Rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja oraz systemy geolokalizacji. Dzięki zintegrowanym czujnikom i analizie danych w czasie rzeczywistym, rolnicy mogą precyzyjnie monitorować warunki środowiskowe, takie jak wilgotność gleby, temperatura i nasłonecznienie, co pozwala na optymalizację nawadniania, nawożenia i innych procesów uprawnych. Wykorzystanie dronów oraz automatyzacji maszyn rolniczych dodatkowo zwiększa efektywność pracy, minimalizując koszty i negatywny wpływ na środowisko. Inteligentne rolnictwo prowadzi do zwiększenia plonów, jednocześnie

zmniejszając zużycie zasobów, co ma istotne znaczenie w kontekście rosnących wyzwań związanych z globalnym zapotrzebowaniem na żywność. [5–8]

1.3. Internet Rzeczy w systemach nawadniania

Internet Rzeczy (IoT) w systemach nawadniania pozwala na automatyczne i precyzyjne zarządzanie procesem dostarczania wody do upraw, co znacząco poprawia efektywność wykorzystania zasobów wodnych. Dzięki zastosowaniu czujników wilgotności gleby, temperatury oraz innych parametrów środowiskowych, system może w czasie rzeczywistym dostosować harmonogram i ilość nawadniania do aktualnych potrzeb roślin. IoT umożliwia również zdalne monitorowanie i sterowanie nawadnianiem za pomocą urządzeń mobilnych, co daje rolnikom większą kontrolę nad uprawami, niezależnie od ich lokalizacji. W rezultacie, inteligentne systemy nawadniania oparte na IoT przyczyniają się do znacznych oszczędności wody, poprawy plonów i redukcji kosztów operacyjnych w gospodarstwach rolnych. [9–12]

2. Założenia

Celem pracy było zaprojektowanie i wdrożenie autonomicznego systemu nawadniania roślin opartego na technologii Internetu Rzeczy (IoT), umożliwiającego precyzyjne zarządzanie nawadnianiem i zdalne monitorowanie parametrów gleby. System miał działać w pełni automatycznie na podstawie danych z czujników wilgotności gleby, z możliwością nadzoru poprzez platformę Home Assistant.

W projekcie wykorzystano mikrokontroler ESP32, odpowiedzialny za przetwarzanie danych i sterowanie elektrozaworem. Czujniki wilgotności umieszczono w dwóch doniczkach o różnym nasłonecznieniu, aby umożliwić porównanie warunków. Dane o wilgotności gleby przesyłano co 15 minut, co miało kluczowe znaczenie przy podejmowaniu decyzji o włączeniu nawadniania.

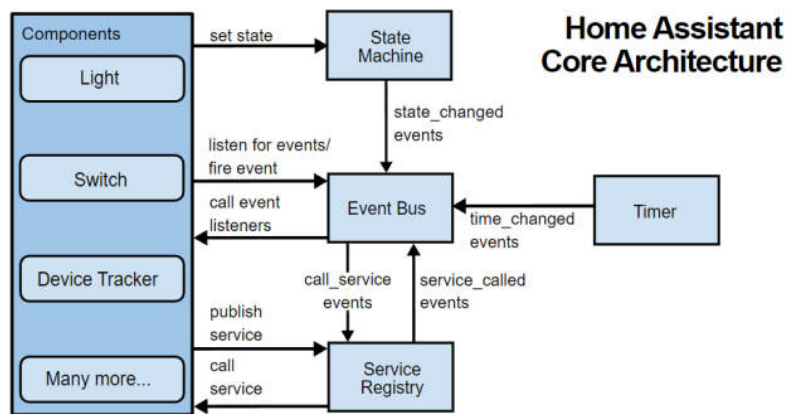
System dodatkowo korzystał z prognoz pogodowych, obejmujących temperaturę i nasłonecznienie, pobieranych przez platformę Home Assistant, co pozwalało na optymalizację zużycia wody w zależności od warunków atmosferycznych. Integracja z czujnikiem zalania i sygnalizatorami LED miała na celu zwiększenie kontroli nad poprawnym działaniem systemu. System umożliwiał zdalne zarządzanie za pomocą urządzeń mobilnych, minimalizując potrzebę ręcznej obsługi i optymalizując wykorzystanie zasobów wodnych.

3. Implementacja

W niniejszej pracy wykorzystano mikrokontroler ESP32 oraz platformę automatyki domowej Home Assistant do stworzenia systemu automatycznego nawadniania roślin w oparciu o koncepcję Internetu Rzeczy. W ramach projektu zastosowano czujniki wilgotności gleby, elektrozawór, czy dodatkowe elementy, takie jak czujnik zalania i sygnalizatory LED. Potrzebny również był komputer wykorzystany w roli serwera dla aplikacji Home Assistant. Wszystkie komponenty zostały skonfigurowane i zintegrowane w taki sposób, aby umożliwić pełną automatyzację systemu nawadniania, z minimalnym udziałem człowieka.

3.1. Home Assistant

Home Assistant to platforma automatyki domowej, która umożliwia zarządzanie różnymi urządzeniami zintegrowanymi w jednym systemie. Dzięki swojej elastyczności i wsparciu dla wielu protokołów komunikacyjnych, takich jak Wi-Fi, ZigBee czy Z-Wave, Home Assistant pozwala na automatyzację procesów w domu. Jest darmowa, open-source'owa i oferuje liczne integracje, w tym obsługę Apple HomeKit oraz możliwość tworzenia złożonych automatyzacji. System operacyjny Home Assistant oparty jest na architekturze, która umożliwia stabilne i efektywne działanie na różnych platformach sprzętowych, takich jak Raspberry Pi czy dedykowane serwery. Architektura Home Assistant, jak pokazano na rysunku 1, składa się z maszyny stanów, która monitoruje zmiany stanów urządzeń, oraz szyny zdarzeń, przez którą komunikują się wszystkie komponenty systemu. Rejestr usług obsługuje wywołania usług, a Timer odpowiada za zdarzenia oparte na czasie. Taka struktura zapewnia płynność i skuteczność działania automatyzacji domowej. [13, 14]



Rysunek 1. Architektura rdzenia Home Assistant [14]

3.2. Język YAML

Język YAML jest wykorzystywany w Home Assistant do konfigurowania automatyzacji oraz definiowania integracji, dzięki swojej prostej i czytelnej składni. Jest to format przyjazny dla człowieka, który umożliwia łatwe tworzenie struktur danych, takich jak listy czy mapowania w postaci klucz-wartość. [15, 16]

3.3. ESP 32

ESP32 to wydajny mikrokontroler wyposażony w moduły Wi-Fi i Bluetooth. Dzięki dwurdzeniowemu procesorowi oraz niskiej cenie, jest popularnym wyborem w automatyzacji domowej, oferując jednocześnie oszczędność energii i szerokie możliwości komunikacyjne. [17]

3.4. Czujniki wilgotności gleby

Czujnik wilgotności gleby, przedstawiony na rysunku 2, to pojemnościowy sensor, który mierzy poziom wilgotności na podstawie zmian przenikalności dielektrycznej gleby, bez bezpośredniego kontaktu metalowych elektrod z wodą. Dzięki temu jest bardziej odporny na korozję, co zapewnia jego długotrwałe i niezawodne działanie. [18]



Rysunek 2. Czujnik wilgotności gleby

3.5. Elektrozawór

Elektrozawór, przedstawiony na rysunku 3, to urządzenie sterujące przepływem cieczy, które otwiera lub zamyka przepływ wody pod wpływem pola magnetycznego wytwarzanego przez zasilaną cewkę.



Rysunek 3. Elektrozawór

3.6. Jednokanałowy moduł przekaźnikowy

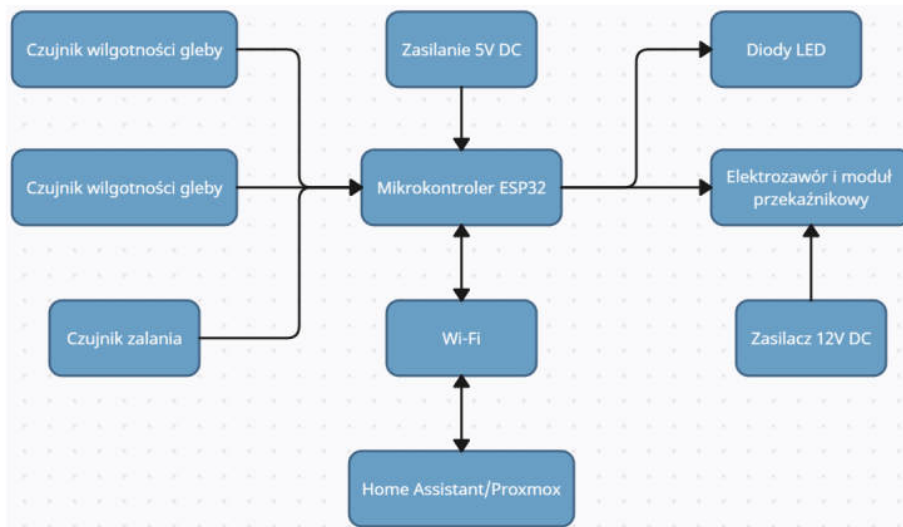
Jednokanałowy moduł przekaźnikowy, przedstawiony na rysunku 4, pozwala na sterowanie urządzeniami o dużej mocy, wykorzystując sygnał niskonapięciowy z mikrokontrolera do zamykania lub otwierania obwodu elektrycznego.



Rysunek 4. Jednokanałowy przekaźnik modułowy

4. Realizacja

W projekcie zrealizowano system automatycznego nawadniania roślin, oparty na mikrokontrolerze ESP32 i platformie Home Assistant, którego koncepcję można zobaczyć na rysunku 5. System monitoruje wilgotność gleby za pomocą dwóch czujników umieszczonych w doniczkach – jednej w słońcu, drugiej w cieniu – co pozwala na porównanie poziomów wilgotności w różnych warunkach. Elektrozawór, sterowany modułem przekaźnikowym, kontroluje przepływ wody, umożliwiając automatyczne podlewanie na podstawie zebranych danych. Całość systemu zamontowana została w obudowie z wyprowadzonymi diodami LED, które sygnalizują aktualny poziom wilgotności gleby oraz działanie czujnika zalania (Rysunek 6). Czujnik zalania umieszczony pod elektrozaworem zabezpiecza system, wysyłając powiadomienia o ewentualnym wycieku. Home Assistant gromadzi i przetwarza dane z czujników, a także umożliwia użytkownikowi monitorowanie i kontrolę systemu z poziomu aplikacji mobilnej. Zmontowany system działa w pełni automatycznie, przesyłając dane co 15 minut i znacząco ułatwiając pielęgnację roślin.



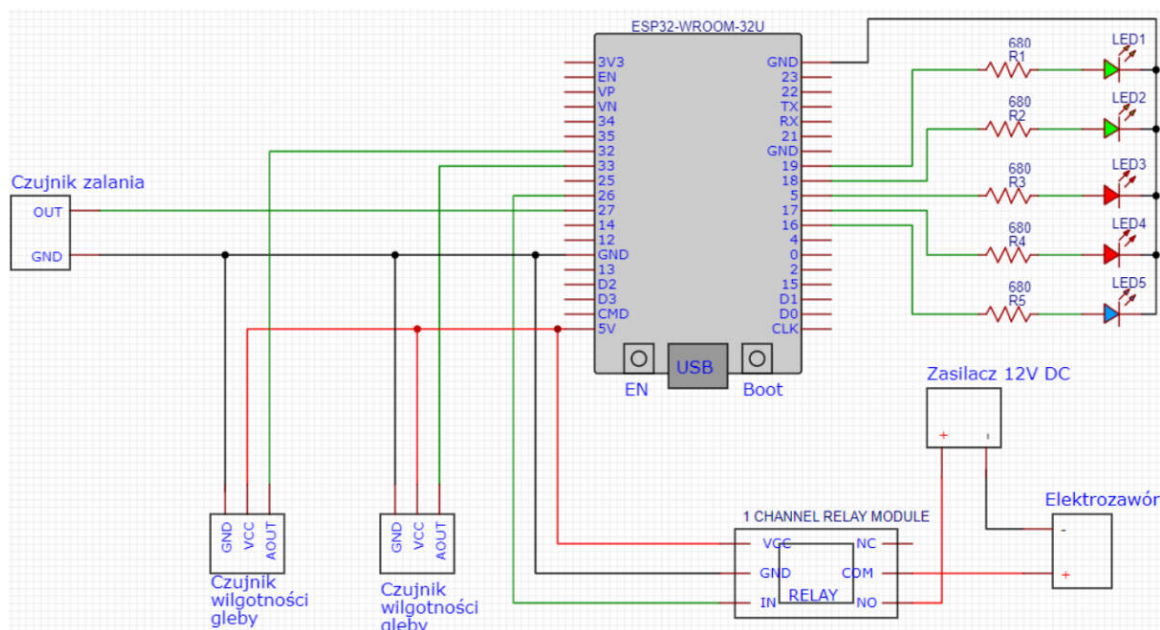
Rysunek 5. Schemat blokowy przedstawiający koncepcję systemu



Rysunek 6. Obudowa: z lewej bez założonej pokrywy, z prawej z założoną pokrywą

4.1. Schemat połączeń

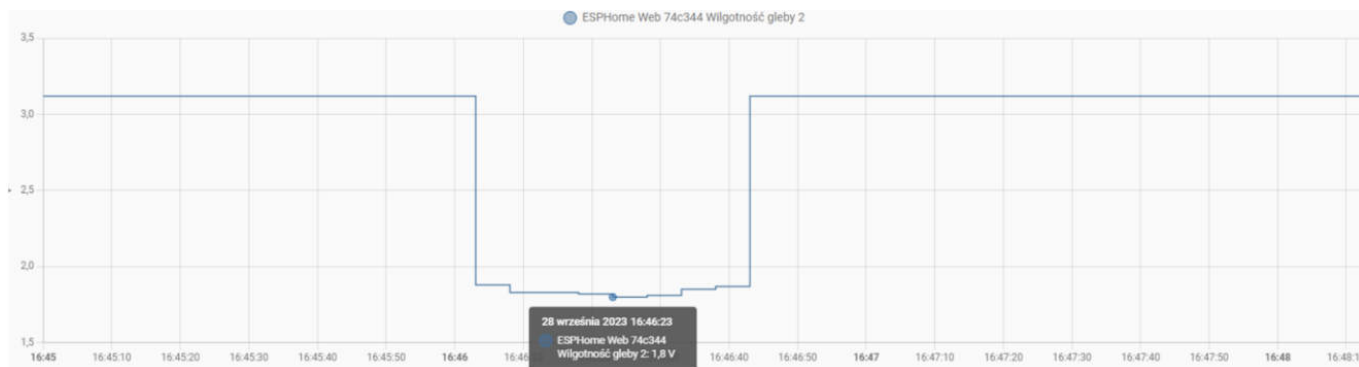
Przedstawiony poniżej schemat połączeń systemu (rysunek 7), pokazuje w jaki sposób komponenty zostały ze sobą połączone. Można zauważyć, że mikrokontroler ESP32 jest zasilany napięciem 5V przez złącze USB, a czujniki wilgotności gleby podłączone są do pinów GPIO 32 i 33, które przetwarzają sygnały analogowe na cyfrowe. Diody LED, zabezpieczone rezystorami, są połączone z odpowiednimi pinami GPIO i sygnalizują poziom wilgotności gleby, natomiast elektrozawór, zasilany napięciem 12V, jest sterowany przez jednokanałowy moduł przekaźnikowy. Czujnik zalania jest podłączony do pinu 27 ESP32, a cały system działa automatycznie dzięki integracji z platformą Home Assistant.



Rysunek 7. Schemat połączeń systemu

4.2. Kalibracja czujników wilgotności gleby

Kalibracja czujników wilgotności gleby w systemie opiera się na odczytach napięcia, które następnie przekształcane są na procenty wilgotności gleby. Pierwszy etap kalibracji polega na umieszczeniu czujnika w powietrzu, gdzie uzyskano napięcie 3,12 V, oraz w wodzie, gdzie odczytano napięcie 1,96 V. Te wartości zostały wykorzystane do ustawienia funkcji liniowej kalibracji czujnika, co pozwoliło na określenie wilgotności od 0% (w powietrzu) do 100% (w wodzie). Po włożeniu czujnika do wilgotnej gleby, początkowe odczyty sięgały nawet 120% (rysunek 8), co było spowodowane obecnością minerałów w glebie. Dopiero po przeprowadzeniu ponownej kalibracji z wykorzystaniem gleby, uzyskano prawidłowe wartości wilgotności w przedziale od 0 do 100% (rysunek 9).



Rysunek 8. Wartości wilgotności przed skalibrowaniem



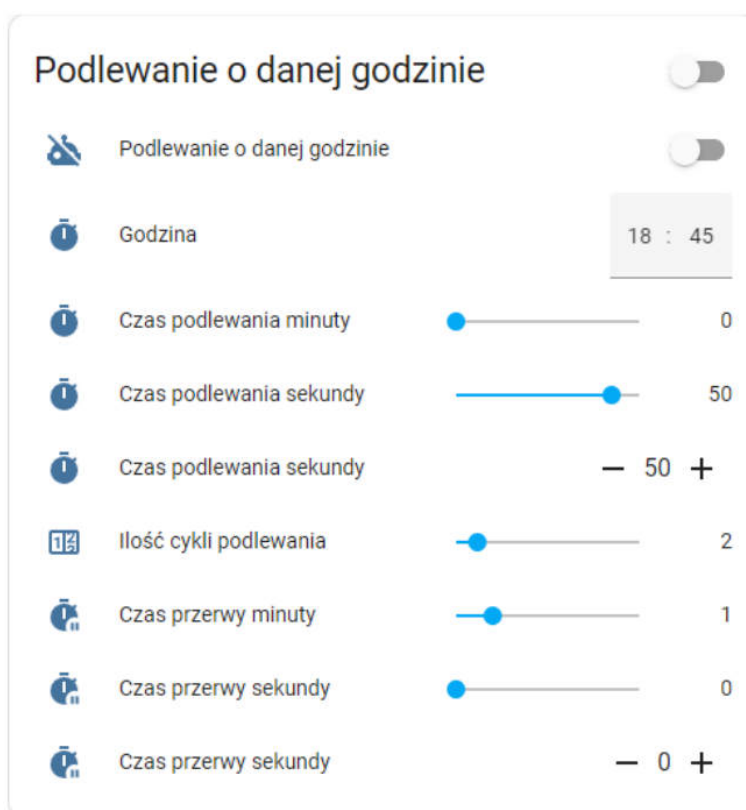
Rysunek 9. Wartość wilgotności po skalibrowaniu

4.3. Automatyizacje

Automatyizacja w Home Assistant steruje nawadnianiem na podstawie danych z czujników wilgotności gleby oraz określonych progów wilgotności. Elektrozwór otwiera się automatycznie, gdy wilgotność spadnie poniżej ustalonego poziomu, a proces ten może być przerwany w przypadku wykrycia wycieku przez czujnik zalania. System działa zgodnie z harmonogramem i jest monitorowany z poziomu aplikacji mobilnej.

4.3.1. Automatyizacja - Podlewanie o danej godzinie

W tej automatyizacji użytkownik ustawia godzinę, czas trwania nawadniania oraz liczbę cykli i przerw między nimi. Na rysunku 10 przedstawiono panel automatyizacji.



Rysunek 10. Panel automatyizacji „Podlewanie o danej godzinie”

4.3.2. Automatyizacja - Podlewanie z podaniem wilgotności

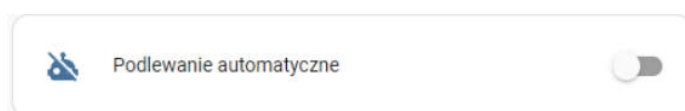
Automatyizacja uruchamia się, gdy wilgotność gleby spadnie poniżej ustawionego progu, dodatkowo uwzględniając czas nawadniania i liczbę cykli. Rysunek 11 przedstawia panel automatyizacji.



Rysunek 11. Panel automatyzacji „Podlewanie z podaniem wilgotności”

4.3.3. Automatykacja - Podlewanie automatyczne

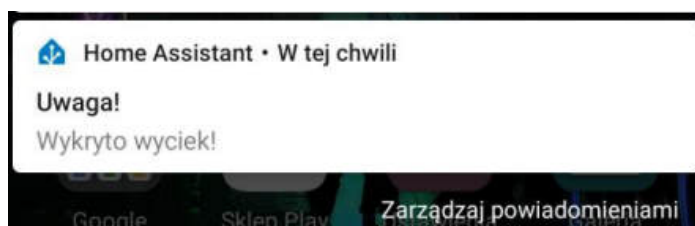
Pełna automatyzacja, w której system samodzielnie zarządza podlewaniem na podstawie wilgotności gleby, z różnymi cyklami podlewania w zależności od jej poziomu. Im niższy poziom, tym dłuższe nawadnianie. Na przykład, dla wilgotności gleby wynoszącej 75% - 70%, cykl obejmuje 50 sekund podlewania, minutową przerwę, a następnie kolejne 50 sekund podlewania. Dla wilgotności poniżej 60%, podlewanie trwa dłużej, z większą liczbą cykli, aby zapewnić odpowiednie nawodnienie. Automatyzacja nie posiada panelu zarządzania, można ją jedynie włączyć lub wyłączyć (rysunek 12).



Rysunek 12. Wartości wilgotności przed skalibrowaniem

4.3.4. Automatykacja - Powiadomienie o wycieku

Automatykacja polegająca na wysłaniu powiadomienia przez system na urządzenie mobilne użytkownika, gdy czujnik zalania wykryje obecność wody. Powiadomienie przedstawiono na rysunku 13.



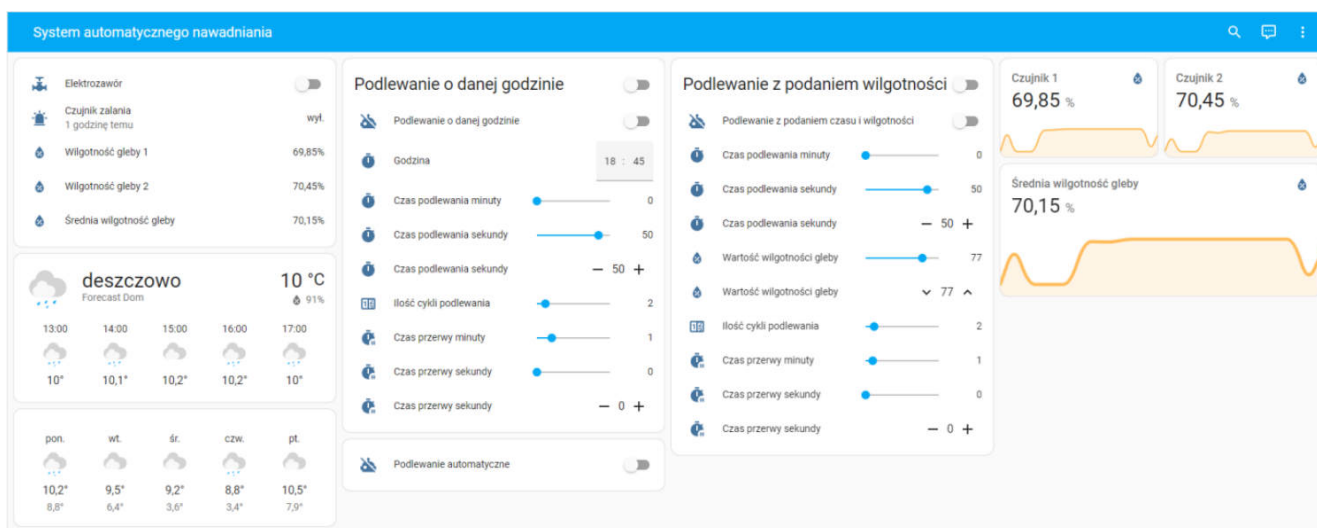
Rysunek 13. Wartości wilgotności przed skalibrowaniem

4.3.5. Automatykacja – Zabezpieczenie (Awaryjne wyłączenie nawadniania)

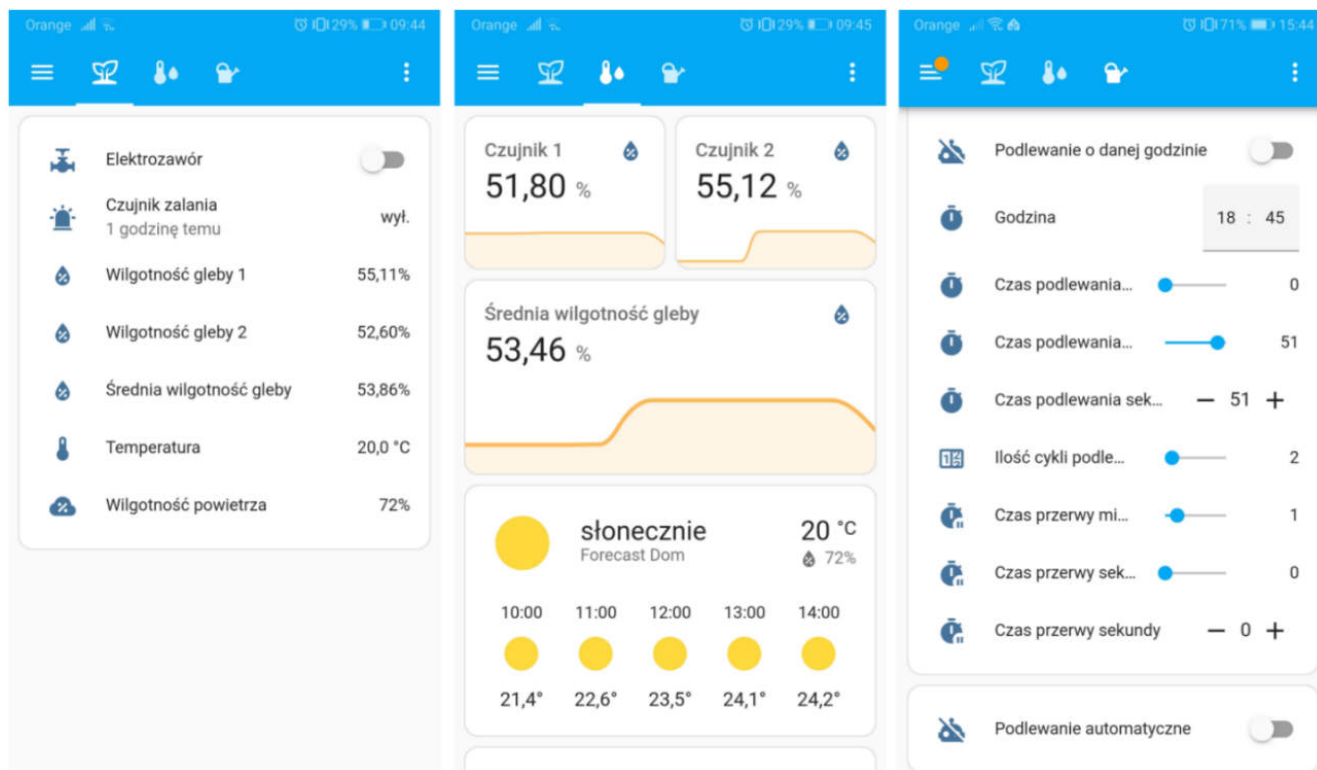
Automatykacja, której celem jest wyłączenie elektrozaworu, jeśli wilgotność gleby spadnie poniżej 10%, co może sugerować awarię czujnika lub jego uszkodzenie. Automatykacja jest domyślnie włączona, jednak użytkownik ma możliwość zrezygnowania z jej działania poprzez wyłączenie jej w panelu automatyzacji Home Assistant.

4.4. Dashboard

Zostały utworzone dwa panele kontrolne: na ekrany monitorów (rysunek 14) oraz na urządzenia mobilne (rysunek 15). Dashboard na ekrany monitorów prezentuje dane dotyczące stanu elektrozaworu, czujnika zalania oraz odczyty z czujników wilgotności gleby, a także umożliwia sterowanie nawadnianiem i przeglądanie historii odczytów. Wersja mobilna podzielona jest na trzy zakładki: status systemu, wykresy wilgotności gleby oraz panel automatyzacji.



Rysunek 14. Wartości wilgotności przed skalibrowaniem

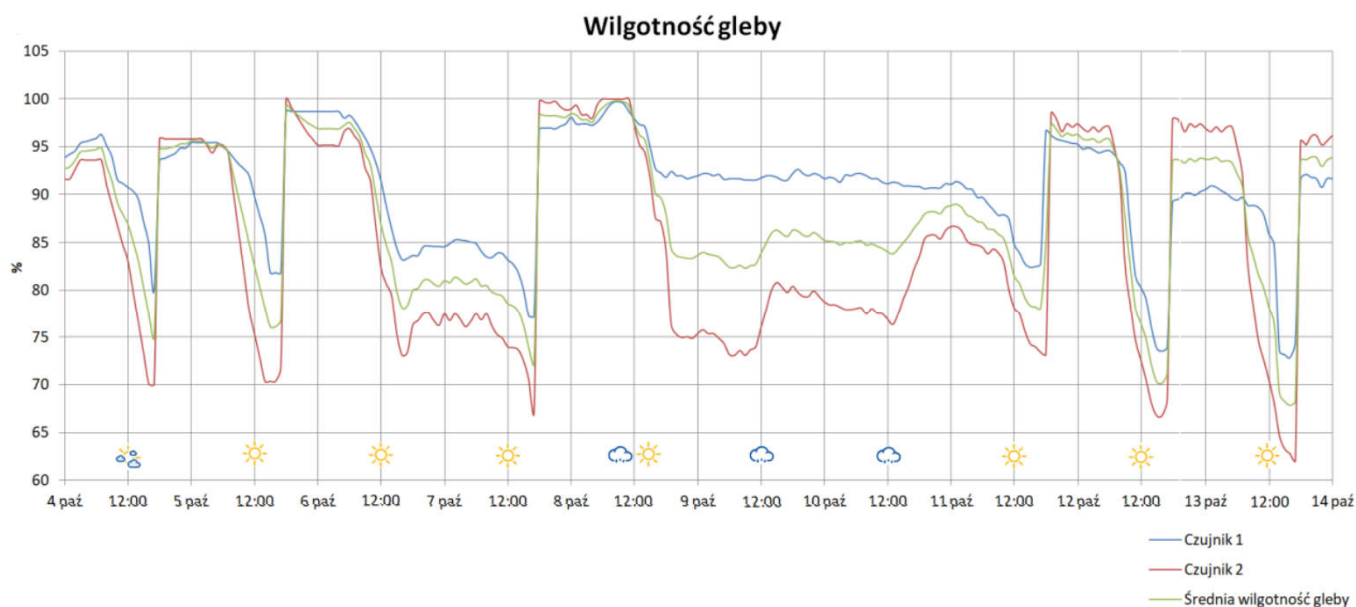


Rysunek 15. Dashboard na urządzeniu mobilne

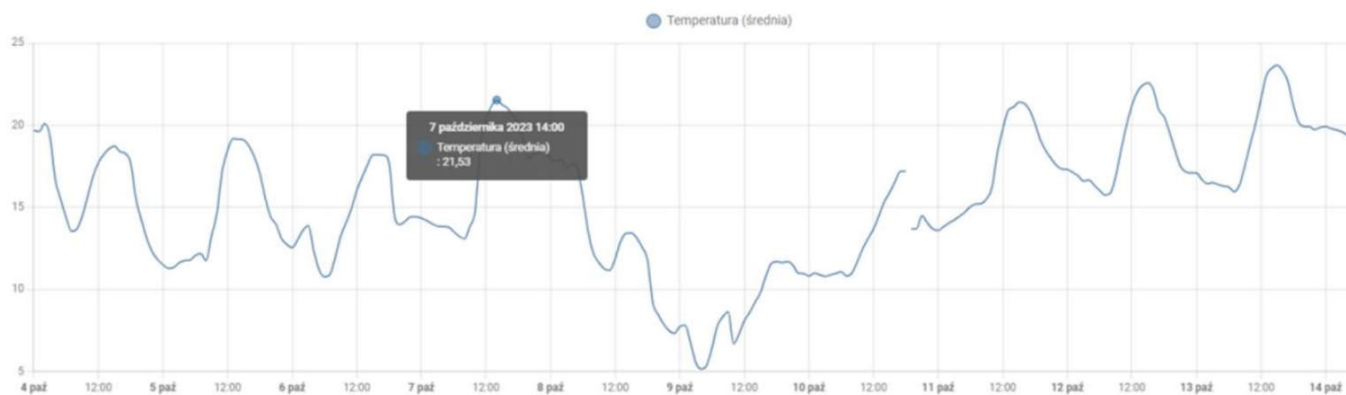
5. Wyniki

Podczas testowania systemu przez okres 11 dni monitorowano jego wydajność w warunkach zewnętrznych. Z powodu niskich temperatur, które mogłyby zaszkodzić roślinom, system nawadniania został czasowo wyłączony, ale wszystkie inne komponenty pozostały aktywne. System działał bezawaryjnie, co oznacza, że nie odnotowano problemów związanych z połączeniem internetowym ani przerw w zasilaniu, które mogłyby zakłócić funkcjonowanie Home Assistant lub ESP32. W trakcie testów jedyną trudnością była chwilowa utrata dostępu do danych meteorologicznych z usługi Meteorologisk Institut, co wymagało aktualizacji platformy Home Assistant i ponownego uruchomienia usługi.

Pomimo tego incydentu, system regularnie zbierał i analizował dane dotyczące wilgotności gleby oraz temperatury otoczenia. Odczyty wilgotności były rejestrowane co 15 minut, natomiast dane o temperaturze co godzinę, co pozwoliło na dokładne śledzenie warunków środowiskowych. Wyniki te zostały zaprezentowane w postaci wykresów (rysunek 16 oraz Rysunek 17), które obrazują zmienność wilgotności gleby w zależności od miejsca umieszczenia czujników – zarówno w doniczce znajdującej się w cieniu, jak i na słońcu. Dane wykazały wyraźne różnice w poziomach wilgotności w tych dwóch lokalizacjach, co potwierdziło skuteczność systemu w monitorowaniu różnych warunków mikroklimatycznych.



Rysunek 16. Wykres przedstawiający poziomy wilgotności gleby



Rysunek 17. Wykres przedstawiający wartości temperatury

Dzięki przeprowadzonym testom można było również zweryfikować efektywność automatyzacji nawadniania. System był w stanie odpowiednio reagować na zmiany wilgotności gleby, uruchamiając proces nawadniania, gdy poziom wilgotności spadał poniżej ustalonych progów. Dzięki tym automatyzacjom oraz ciągłemu monitorowaniu danych

system zapewnia optymalny poziom wilgotności gleby, co minimalizuje potrzebę ręcznej interwencji użytkownika, a zarazem przyczynia się do oszczędności wody.

6. Podsumowanie i wnioski

W niniejszej pracy przedstawiono projekt i realizację automatycznego systemu nawadniania roślin w oparciu o koncepcję Internetu Rzeczy (IoT), wykorzystując mikrokontroler ESP32 oraz platformę Home Assistant. Celem było stworzenie rozwiązania, które umożliwi precyzyjne zarządzanie nawadnianiem na podstawie danych środowiskowych, minimalizując tym samym potrzebę interwencji człowieka oraz optymalizując zużycie wody. Zastosowanie czujników wilgotności gleby w różnych warunkach nasłonecznienia pozwoliło na efektywną kontrolę nawadniania w czasie rzeczywistym, co w praktyce przekładało się na znaczną oszczędność wody.

Wyniki przeprowadzonych testów wskazują na wysoką efektywność systemu, który dzięki integracji z czujnikami oraz automatycznemu sterowaniu elektrozaworem, pozwala na precyzyjne dostarczanie wody roślinom. Ponadto, możliwość zdalnego monitorowania i sterowania systemem za pomocą aplikacji mobilnej zwiększa komfort użytkownika i ułatwia zarządzanie uprawami, nawet podczas nieobecności w domu.

Najważniejszymi wnioskami płynącymi z tego projektu są korzyści wynikające z zastosowania IoT w kontekście automatyzacji procesów nawadniania. System ten może znacząco wpłynąć na redukcję zużycia wody, co jest istotne z punktu widzenia rosnących wyzwań związanych z zasobami wodnymi, czy na sam samo nawadnianie, który teraz może odbywać się bez ingerencji człowieka. Dodatkowym aspektem jest fakt iż samo wdrożenie takiego rozwiązania nie jest zbyt kosztowne. W przyszłości możliwe jest dalsze udoskonalanie systemu, na przykład poprzez integrację dodatkowych czujników umożliwiających np. pomiary parametrów atmosferycznych, co pozwoliłoby na jeszcze bardziej precyzyjne zarządzanie nawadnianiem i poprawę wydajności upraw.

Reference

1. J. Antoniou. „Game theory, the Internet of things and 5G networks”. Springer International Publishing, 2020, pp. 4-6.
2. R. Romaniuk. „Internet Przedmiotów – od nauki do przemysłu”. Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 2017, nr 58(6).
3. M. Malucha. „Internet rzeczy – kontekst technologiczny i obszary zastosowań”. Studia i Prace WNEiZ US, 2018, nr (54/2), pp. 51-69.
4. K. Rose, S. Eldridge, L. Chapin, „The Internet of things. An overview.”, The Internet society, nr 80, pp. 1-50, 2015.
5. L. Klerkx, E. Jakku, P. Labarthe, „A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda”, NJAS-Wageningen journal of life sciences, nr 90, 100315, pp. 1-3, 2019.
6. S. Samborski, „Rolnictwo precyzyjne” Warszawa: PWN, 2018.
7. A. Lisowski, „Technologie rolnictwa precyzyjnego”, Postępy Nauk Rolniczych, nr 52(6).
8. J. Boguski, „Zastosowanie robotów w gospodarstwach rolnych”, Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, nr 2, 2019.
9. W. Kuczyński, W. Żuchowicki, „Ocena aktualnej sytuacji w zaopatrzeniu w wodę w Polsce na tle sytuacji w świecie”, Rocznik Ochrona Środowiska, nr 12, pp. 419-465, 2010.
10. N. K. Nawandar, V. R. Satpute, „IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. Computers and electronics in agriculture”, nr 162, pp. 979-990, 2019.
11. K. D. Irianto, „Performance evaluation of LoRa in farm irrigation system with internet of things”, Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control., nr 4(1), pp. 81-90, 2022.
12. J. Gutierrez, J. F. Villa-Medina i M. A. Porta-Gandara, „Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module”, IEEE transactions on instrumentation and measurement, nr 63(1), pp. 166-176, 2013.
13. „Home Assistant”. Available online: <https://www.home-assistant.io/> (accessed on 20.10.2024).
14. „Core Architecture”. Available online: <https://developers.home-assistant.io/docs/architecture/core/> (accessed on 20.10.2024).
15. „YAML syntax”. Available online: <https://www.home-assistant.io/docs/configuration/yaml/> (accessed on 20.10.2024).
16. „Integration configuration via YAML”. Available online: https://developers.home-assistant.io/docs/configuration_yaml_index (accessed on 20.10.2024).

17. „ESP32”. Available online: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (accessed on 20.10.2024).
18. „Capacitive Soil Moisture Sensor”. Available online: <https://www.biomaker.org/block-catalogue/2021/12/17/soil-moisture-sensor-aideepen-v12> (accessed on 20.10.2024).