

## SYSTEM ZDALNEGO MONITOROWANIA WILGOTNOŚCI GLEBY Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII LORA

Katarzyna Kazimierska-Drobny<sup>1</sup>, Piotr Kotlarz<sup>2</sup>, Artur Szela<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Mechatroniki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego

<sup>2</sup> Instytut Informatyki Kazimierza Wielkiego  
ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz

<sup>3</sup> Student Instytutu Informatyki Kazimierza Wielkiego  
ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz  
e-mail:kkd@ukw.edu.pl

**Streszczenie:** *Celem niniejszego artykułu jest projekt oraz budowa prototypu czujnika wilgotności gleby przeznaczonego do zastosowania w otwartym terenie. Wykonany czujnik pozwala na monitorowanie zmian wilgotności gleby na czterech głębokościach odpowiednio: 5, 10, 15 oraz 20 cm. Projektowany układ wykorzystuje technologie lora do uzyskania połączenia z siecią LoraWAN oraz dostępne integracje do stworzenia panelu służącego do podglądu danych. Poprawne działanie czujnika potwierdzają przeprowadzone testy pozwalające określić czas pracy urządzenia na jednym naładowaniu akumulatora oraz zdolność do przetwarzania energii za pośrednictwem ogniwa fotowoltaicznego.*

**Słowa kluczowe:** *IoT, LoraWAN, pomiary środowiskowe, programowanie*

### Remote soil moisture monitoring system using LORA technology

**Abstrakt:** *The aim of this article is to design and build a soil moisture sensor prototype for use in open fields. The made sensor allows to monitor changes in soil moisture at four depths, respectively: 5, 10, 15 and 20 cm. The sensor uses lora technologies to connect to the LoraWAN network and the available integrations to create a panel for data viewing. The correct operation of the sensor is confirmed by the tests that have been carried out to determine the operating time of the device on a single battery charge and the ability to convert energy via a photovoltaic cell*

**Keywords:** *IoT, LoraWAN, environmental measurements, programming*

### 1. WSTĘP

Jednym z istotnych zagadnień w rolnictwie, sadownictwie i ogrodnictwie jest monitorowanie parametrów środowiskowych upraw [1-2,3]. Proces ten pozwala na lepsze zarządzanie zasobami oraz prowadzi do optymalizacji wydajności oraz jakości plonów [4-5]. Jednym z bardziej znaczących parametrów wpływającym na rozwój roślin jest wilgotność podłoża. Istnieje wiele rozwiązań komercyjnych do badania wilgotności gleby,

jednak najczęściej są to rozwiązania wymagające dużego nakładu finansowego oraz przystosowane do stosowania w obiektach z dostępem do energii elektrycznej typu szklarnie. Jednym z przykładów urządzenia do monitorowania wilgotności gleby jest czujnik LB-797 przeznaczony do pomiaru wilgotności gleby oraz innych materiałów sypkich [6]. Rozwiązanie to nie dysponuje możliwością odczytywania zdalnych danych. Możliwe jest rejestrowanie pomiarów w urządzeniu a następnie odczyt ich za pomocą dedykowanego oprogramowania producenta. Kolejnym urządzeniem dostępnym na rynku jest Urządzenie Drill&Drop Bluetooth firmy Sentek pozwalające na

przewodzenie bezprzewodowych pomiarów z wykorzystaniem technologii Bluetooth [7]. Urządzenie umożliwia przesyłanie pomiarów do zewnętrznego serwera aplikacji, z którym wymagane jest połączenie sieciowe. W aplikacji zapisywane są również lokalnie wyniki pomiarów, dzięki czemu możliwe jest korzystanie z aplikacji bez połączenia z siecią. Przesłanie danych następuje po zalogowaniu do sieci wifi. PM-IO-5-SM LoRaWAN IO Module jest to moduł działający w oparciu o sieć LoRaWAN oraz w oparciu o zestaw dobranych czujników [8]. Producent pozwala na podłączenie do urządzenia czujnika wilgotności gleby jak i temperatury zarówno w wersji hermetycznej jak i pozbawionej obudowy. Pozwala to na dopasowanie osprzętu modułu do jego zastosowania. Moduł komunikuje się z wykorzystaniem sieci Lora, dzięki czemu pozwala na komunikację z bramą na dużej odległości. Producent umożliwia również zastosowanie modułu komunikacyjnego z interfejsem szeregowy w standardzie RS-232c. Urządzenie umożliwia pomiar z wykorzystaniem jednej sondy. Moduł działa wyłącznie w oparciu o zasilanie akumulatora umieszczonego wewnątrz hermetycznej obudowy. Z przeglądu dostępnych rozwiązań na rynku wynika, iż urządzenia te spełniają różnego rodzaju funkcje, jednak żadne z przedstawionych rozwiązań nie oferuje pełnego rozwiązania stawianego problemu. Jeśli istnieje możliwość komunikacji na dużą odległość jest ona ograniczona do jednego punktu pomiarowego jak w przypadku rozwiązania ręcznego. Rozwiązanie wykorzystujące technologię Bluetooth jest znacząco ograniczone, jeśli chodzi o zasięg jakim dysponuje.

Głównym celem niniejszego artykułu jest budowa prototypu urządzenia przeznaczonego do pomiaru wilgotności gleby pozwalającego na zastosowanie w otwartej przestrzeni, gdzie jest utrudniony dostęp do elektryczności oraz połączenia sieciowego. Zaprojektowane urządzenie ma za zadanie badanie wilgotności gleby na różnych głębokościach, max do 20 cm w głąb oraz zapewnienie łączności z czujnikiem pomiarowym w celu akwizycji danych za pośrednictwem serwera. Urządzenie pomiarowe może pracować na zasilaniu akumulatorowym oraz ma zdolność pozyskiwania energii z ognia fotowoltaicznego, co pozwala na bezobsługową pracę zaprojektowanego czujnika. Tak zaprojektowany czujnik wilgotności gleby umożliwia określenie zmian zachodzących w czasie, podczas nawadniania gleby. Pozwala na pomiar zdalny bez dostępu do stałego źródła zasilania. Najważniejszą zaletą projektowanego czujnika jest zapewnienie komunikacji w celu przesyłania danych na duże odległości poprzez wykorzystanie technologii

bezprzewodowej Lora. Głównym miejscem przeznaczenia urządzenia jest naturalne środowisko glebowe. Czujnik będzie narażony na działanie warunków atmosferycznych takich jak wahania temperatury oraz opady atmosferyczne. Ponadto czujnik powinien zostać przystosowany do pracy ciągłej, pozwalającej na prowadzenie pomiarów przez możliwie najdłuższy czas bez konieczności obsługi serwisowej.

## 2. OMÓWIENIE WYKORZYSTANYCH TECHNOLOGII

LoRaWAN - jest to protokół (system komunikacji bezprzewodowej) sieci małej mocy i dalekiego zasięgu, wykorzystujący do komunikacji moduły radiowe pracujące w pasmach ISM (ang. Industrial, Scientific, Medical) [9]. Pierwotnie LoRaWAN miała być przeznaczona do zastosowań medycznych, naukowych a także przemysłowych. Pasma te nie wymagają uzyskania licencji na korzystanie z danej częstotliwości. W pasmach ISM możemy spotkać takie technologie jak Wi-Fi, Bluetooth wykorzystywane są również do sterowania radiowego bramami garażowymi. Nielicencjonowanie zakresów pasma niesie za sobą konieczność zmagania się z wszelkimi zakłóceniami które powstają poprzez inne urządzenia oraz ograniczeniem transmisji w danym paśmie do 1% zajętości pasma dziennie. Pasmem wykorzystywanym przez komunikację lora jest częstotliwość 868 MHz [10]. Lora pozwala przesyłać dane na duże odległości rzędu kilkunastu kilometrów, jednocześnie cechując się niskim poborem energii. Dzięki zastosowaniu modulacji rozproszonego widma CSS (chirpspread spectrum) możliwe jest utrzymanie wysokiej odporności na interferencje występujące przy transmisji na duże odległości oraz utrzymanie niskiego kosztu energetycznego. Jednak dzieje się to kosztem szybkości transmisji, im większa odległość tym możliwe jest przesłanie mniejszej ilości danych. Technologia Lora okazała się dużym postępem dla urządzeń IoT (Internetu rzeczy), również w implementacjach przemysłowych [15, 16]. Dzięki swoim właściwościom pozwala na budowę urządzeń zasilanych bateryjnie lub w skrajnych wypadkach działających z wykorzystaniem energii wygenerowanej przez wykorzystanie zjawiska piezoelektrycznego. Aby w pełni wykorzystać możliwości technologii firma Semtech wprowadziła LoRaWAN sieć, która pozwala na wykorzystanie technologii lora do komunikacji przy użyciu topologii gwiazdy. Sieć oparta jest o serwer The things of Network, do którego podłączone są urządzenia nazywane bramami. W celu zapewnienia komunikacji dla czujnika najbardziej optymalnym

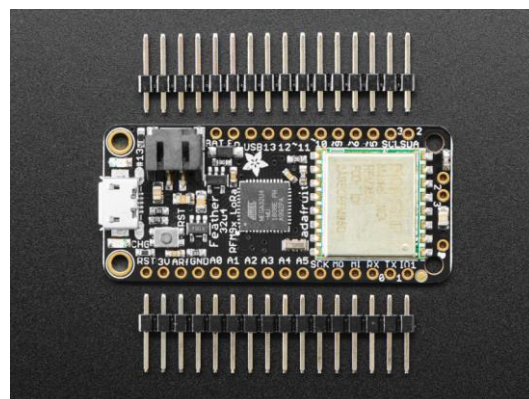
rozwiązaniem będzie skorzystanie z transmisji Lora. Pozwoli to na zachowanie dużych odległości przesyłu danych przy zachowaniu niskiego kosztu energetycznego. Ponadto, w tego typu rozwiązaniu nie ma konieczności raportowania zmiany wilgotności w czasie rzeczywistym ze względu na rozłożenie w czasie procesów wnikania czy parowania wody. Jedną z większych wad wyboru jest konieczność skorzystania z bramy dostępowej, aby przesyłać dane. Jednak przy założeniu wykorzystania większej ilości czujników koszt bramy jest również niewielki w porównaniu do możliwości lokalizacji czujników w promieniu do 12 kilometrów. Dodatkowym atutem jest możliwość korzystania z publicznych bram instalowanych przez organizacje bądź użytkowników wspierających działanie sieci.

The Things Network (TTN) jest to witryna zrzeszająca społeczność budującą sieć LoraWAN dzięki której powstały rozwiązania open-source tworzące serwer, który pozwala na zarządzanie urządzeniami nadawczymi i odbierającymi, pozwalając tym samym na standaryzację komunikacji. Platforma czuwa również nad zabezpieczeniem komunikacji, która odbywa się między urządzeniami. Możliwość korzystania z platformy umożliwia założenie darmowego konta, które następnie pozwala na łatwe utworzenie kluczy szyfrujących, które są wykorzystywane do komunikacji. Dodatkową zaletą jest panel integracji, dzięki któremu można w łatwy sposób przekierować dane odbierane od naszego urządzenia na zewnętrzny serwer z wykorzystaniem integracji konta z dostawcami różnego rodzaju zewnętrznych rozwiązań lub rozwiązań tworzonych samodzielnie poprzez wykorzystanie mechanizmu MQTT lub zapytań języka php.

### 3. DOBÓR ELEMENTÓW SKŁADOWYCH URZĄDZENIE DO POMIARÓW WILGOTNOŚCI GLEBY

Do budowy prototypu urządzenia wykorzystano:

- *Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio- 868Mhz*: Feather 32u4 jest to jedna z nowszych konstrukcji stworzonych przez Adafruit w odpowiedzi na zapotrzebowanie na moduły wyposażone w moduł radiowy lora RFM95 przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Adafruit Feather 32u4

Moduł poza wyposażeniem w moduł radiowy Lora został również wyposażony w złącze do baterii LiPo wraz z układem jej ładowania oraz 8 bitowy mikroprocesor ATmega32u4, którego taktowanie wynosi 8 Mhz. Moduł dodatkowo wyposażony jest w 32 KB pamięci Flash, 2.5 KB pamięci operacyjnej. Układ wyposażony jest również w kontroler hosta USB 2.0, co umożliwi pominięcie stosowania zewnętrznego programatora. Dodatkowo w procesie produkcji zadbano o wgranie bootloadera zgodnego z Arduino IDE. Mikroprocesor działa wykorzystując logikę 3.3V, jednak możliwe jest zasilanie płytki również 5V dzięki wbudowanym stabilizatorom. Płyta dysponuje 20 GPIO w tym 10 wejść analogowych oraz 7 pinów PWM. Dodatkowo płytka została wyposażona w interfejsy sprzętowe, takie jak port szeregowy, magistrała I2C oraz SPI. Feather 32u4 został wybrany do stworzenia urządzenia ze względu na integrację mikrokontrolera wraz z modułem lora oraz stabilizatorem napięcia wejściowego umożliwiającym pracę na akumulatorze.

- *Sonda do pomiaru wilgotności gleby - Iduino ME110*: Sonda umożliwia analogowy pomiar wilgotności gleby. Przystosowana jest do pracy z napięciem od 3.3 V do 5 V. Pomiar dokonywany jest poprzez odczyt napięcia powracającego na złącze analogowe. Im jest ono większe tym większa jest wilgotność mierzonej próbki.  
- *czujnik temperatury, ciśnienia oraz wilgotności BME280 firmy BOSCH*: Czujnik jest zasilany napięciem 3.3 V a do komunikacji wykorzystuje magistralę I2C. Jego dokładność oscyluje w okolicy 1 stopnia Celsjusza przy zakresie pomiarowym od -40 do 85°C. Zakres tolerancji dla pomiaru ciśnienia to 1 hPa dysponując zakresem od 300 hPa do 1100 hPa. Wilgotność względna natomiast jest określana z 3% RH. Dodatkowo czujnik posiada dedykowaną bibliotekę przeznaczoną dla Arduino IDE, co zdecydowanie ułatwia

jego implementacje. Dokładność czujnika, jego szerokie zastosowanie w projektach zarówno amatorskich jak i komercyjnych były podstawą do wykorzystania przy projekcie urządzenia pomiarowego.

- *Ogniwo fotowoltaiczne*: Do zasilenia układu w prąd wykorzystano ogniwo słoneczne z polikrystalicznego krzemu o średnicy 80 mm, które według deklaracji producenta wytwarza do 6 V 150 mA .

- *Akumulator litowo-jonowy 18650*: Zastosowanie akumulatora pojemności 2600 mAh pozwala na zapewnienie pracy układu w przypadku braku dostępu do słońca i stanowi swego rodzaju bufor energetyczny. Napięcie pracy akumulatora wynosi 3.63 V. Prąd ładowania akumulatora wynosi 4.2 V, natomiast minimalne napięcie pracy wynosi 2.75V. Temperatura, w której może pracować akumulator mieścić się w przedziale -20 do 60°C. Warto również zwrócić uwagę na powszechną dostępność zarówno nowych ogniw jak i możliwość łatwego pozyskania używanych ogniw. Są one stosowane do produkcji baterii laptopowych czy pojazdów elektrycznych typu hulajnogi lub rowery. Łatwość dostępu do ogniw oraz możliwość łatwego skalowania zarówno pojemność jak i napięcia wyjściowego pozwalają na dostosowanie go do wymagań stawianych przez urządzenie odbiorcze.

- *Zasilacz buforowy TP4056*: Zasilacz buforowy TP4056 pozwala na ładowanie akumulatora poprzez ogniwa Solarne oraz port USB, który jest wbudowany na płytce samego układu ładowania. Wyjściowe napięcie ładowania to 4.2 V. Układ pozwala na budowanie jednego ogniwa litowo-jonowego. Posiada również zabezpieczenie termiczne, pozwalające na przerwanie ładowania w przypadku nagłego wzrostu temperatury. Operacyjna temperatura układu to -40 do 80°C. Zasilacz posiada również możliwość zmiany prądu ładowania poprzez wymianę rezystora w zależności od oczekiwanego prądu ładowania. Fabrycznie ustawiony jest maksymalna jego wartość, która wynosi 1000 mA. Zastosowanie zewnętrznego ładowania nie było konieczne, ponieważ zastąpiono go przetwornicą step-down umieszczoną między ogniwem solarnym a płytką mikrokontrolera Feather 32u4. Umożliwia to wykorzystanie wbudowanego w układzie ładowania, jednak ogranicza to możliwość wymiany części urządzenia w której znajduje się akumulator. Dzięki dodaniu modułu możliwe jest ładowanie akumulatora dowolną ładowarką wyposażoną w gniazdo micro USB.

- *Elementy obudowy*: Do wykonania budowy wykorzystano rurę PCV ze względu na łatwą dostępność oraz niski koszt. Jednocześnie takie rozwiązanie spełnia wymogi dotyczące hermetyczności układu. Dodatkowo niektóre części zostały wykonane przy użyciu technologii druku 3D korzystając

z materiału PLA. Wydrukowane zostały osłony sąd oraz kosze pozwalający na montaż ogniwa akumulatora.

Do zbudowania w pełni działającego urządzenia wykorzystano dodatkowo elementy jak np. płytka prototypowa pozwalająca na montaż płytki z mikrokontrolerem za pośrednictwem goldpinów. W celu zapewnienia ochrony przed wilgocią płytki czujnika zostały pokryte dodatkową warstwą solder - maski utwardzanej za pomocą światła UV. W celu zapewnienia możliwości wymiany elementu zawierającego czujniki, zastosowano połączenie z wykorzystaniem gniazda RS 232.

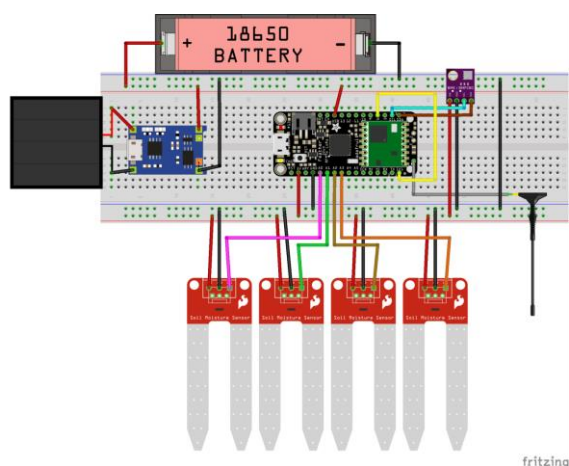
Po przygotowaniu wszystkich czujników, zostały one zamontowane w rurze co 10 cm.-Do zakończeń czujników został zamontowany wtyk rs232 pozwalający na połączenie części zawierającej czujniki z centralną częścią, w której znajduje się mikrokontroler. Pozwoli to na łatwą wymianę czujników w przypadku ich degradacji. Po drugiej stronie umieszczona została płytka z mikrokontrolerem na płycie prototypowej, połączonej z gniazdem do podłączenia modułu zasilania. Ostatnim etapem było wykonanie górnej części, w której znalazło się ogniwo fotowoltaiczne wraz z modułem ładowania oraz akumulatorem. Prototyp czujnika w obudowie przedstawia rysunek 2



Rys. 2. Prototyp czujnika wilgotności gleby

#### 4. DZIAŁANIE PROTOTYPU

Do utworzenia schematu podłączenia urządzenia wykorzystano program Frizing, który pozwala na graficzne rozmieszczenie elementów a następnie wykonanie połączeń. Schemat połączeń przedstawiony został na rysunku 3.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie połączeń

Na schemacie przedstawiono połączenie ogniwa solarnego do wejścia układu ładowania. Takie rozwiązanie daje możliwość zasilania układu wykorzystując ogniwo solarne oraz gniazdo w standardzie MicroUSB. Wszystkie czujniki z jakich korzysta urządzenie zasilane są z linii 3,3V. Sądy pomiarowe podłączone są również do złącza analogowego dzięki czemu możliwe jest prowadzenie pomiaru.

Czujnik BME280 korzysta z magistrali sprzętowej I2C. Ważnym elementem, na który trzeba zwrócić uwagę jest połączenie pinu IO1 oraz pinu 6. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwa jest prawidłowa komunikacja z użyciem modułu lora. Do zapewnienia prawidłowej komunikacji konieczne jest również wyposażenie modułu w antenę, za którą może posłużyć dowolny 10 cm odcinek nie ekranowanego przewodu.

#### Biblioteki i oprogramowanie

Do przygotowania kodu oraz zaprogramowania mikrokontrolera zostało wykorzystane środowisko darmowe Arduino IDE, wyposażone w dodatkowe biblioteki do obsługi poszczególnych elementów, takich jak moduł lora czy czujnik BME280. Jest to bardzo uniwersalne środowisko pracy, służące wielu interdyscyplinarnym realizacją projektów sprzętowo-programistycznych czego przykładem są np. implementacje platform mobilnych [11,12]. Implementacja na bazie modułu z rodziny Arduino umożliwia łatwe przejście do implementacji na mikrokontroler 8-bitowy z rodziny AVR - ATmega8, który również jest wykorzystywany powszechnie w różnego rodzaju projektach studenckich i nie tylko, czego przykładem jest [13]. Do menadżera płytek konieczne było

dodanie zasobu zawierającego informacje dotyczące płytek adafruit. Pozwala to na poprawną adresację pinów na płytce mikrokontrolera. Dodatkowo dodano repozytorium w ustawieniach Arduino IDE.

#### The Things Network

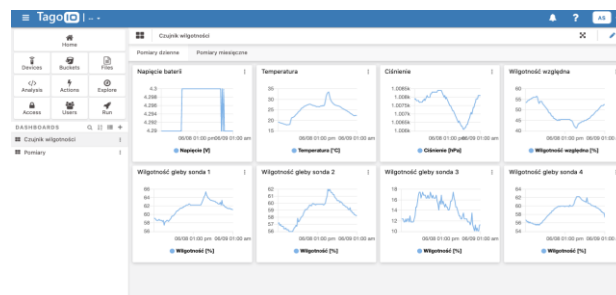
Aby połączyć się z serwerem LoraWAN należy skorzystać z serwera TTN. Niezbędne do tego będzie utworzenie darmowego konta na platformie TTN. Po utworzeniu konta ukazuje się możliwość wyboru dodania aplikacji lub bramy.

#### Integracja bibliotek

W celu uzyskania wcześniej zakładanych funkcjonalności wymagane jest włączenie pozostałych bibliotek do kodu aplikacji. Aby tego dokonać konieczne będzie dodanie kolejnych dwóch bibliotek takich jak Adafruit\_BME280 oraz CayenneLPP. Pierwsza z nich odpowiada za obsługę czujnika temperatury oraz ciśnienia i wilgotności względnej, natomiast druga odpowiada za zachowanie standardu przesyłania danych do sieci TTN, gdzie dostępny jest również mechanizm dekodowania danych.

#### Integracja z tago.io

Do przechowywania pomiarów oraz ich podglądu posłuży platforma tago.io. Jest to serwis, który posiada integrację z siecią TTN oraz pozwala na bezpośrednie odbieranie danych z serwera TTN i ich przechowywanie. Jako jeden z minusów jest fakt, iż w wersji darmowej pomiary przechowywane mogą być przez miesiąc a następnie są nadpisywane. Strona posiada pełne zaplecze do tworzenia interfejsu ukazującego dane pobierane z czujnika. Mogą one być wyświetlane zarówno jako wartość w oknie tekstowym oraz za pomocą wykresów. Po dodaniu wszystkich czujników, możliwe jest wizualizacja wyników pomiarowych (rys. 4).



Rys. 4. Poglądowy panel pozwalający na odczyt wartości przesyłanych przez czujnik

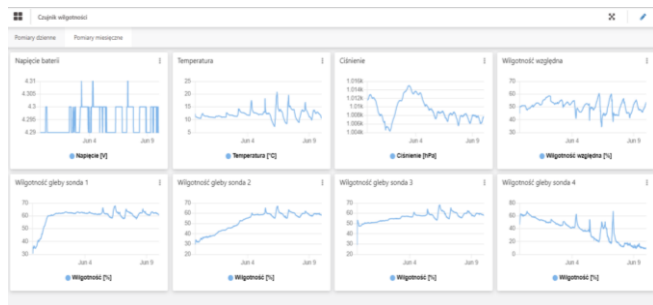
## 5. PROCEDURY TESTOWE

### Weryfikowanie długości czasu działania urządzenia

W celu zweryfikowania długości czasu działania urządzenia konieczne jest określenie poboru prądu urządzenia. Aby tego dokonać został wykonany pomiar natężenia prądu pobieranego przez urządzenie pomiarowe. Średnia z pomiarów wynosi 15.77 mA. Biorąc pod uwagę akumulator o pojemności 2600 mAh, urządzenie jest w stanie pracować korzystając wyłącznie z jego zasilania przez około 164 godzin, co przekłada się na prawie 7 dni ciągłej pracy. Warto zwrócić uwagę, iż urządzenie pobiera najwięcej prądu w chwili, kiedy następuje transmisja danych, poza tymi momentami pobór prądu oscyluje na poziomie średniej.

### Badanie poziomów wilgotności

Do przeprowadzenia badania czujnik został umieszczony wewnątrz donicy 10 l, wypełnionej podłożem uniwersalnym do roślin. Następnie wiano około 0,5 l wody i pozostawiono urządzenie na 11 dni i zbierano dane. Donica została umieszczona na zewnątrz, przez co również narażona była na działanie warunków zewnętrznych. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5 Wyniki pomiarów z doniczki dla 11 dni

Na wykresach przedstawiono wyniki napięcia baterii, temperatury, ciśnienia, wilgotności względnej, wilgotności gleby. Sonda 1 odpowiadająca czujnikowi wilgotności umieszczonemu na głębokości 5 cm, sonda 2 to czujnik umieszczony na głębokości 10 cm, sonda 3 znajduje się na głębokości 15 cm oraz sonda 4 położona jest na głębokości 20 cm.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wykonane urządzenie jest konkurencyjną alternatywą dla drogich profesjonalnych systemów monitorowania wilgotności gruntu. Pozwala on na określenie przybliżonej wartości wilgotności gleby, która może być wystarczająca do zastosowań rolniczych.

W niniejszej pracy zaprojektowano i wykonano urządzenie zgodne z założeniami dotyczącymi komunikacji na duże odległości oraz pozwalające na pracę bez stałego dostępu do zasilania sieciowego. Jako metodę komunikacji bezprzewodowej wybrano Lore korzystając przy tym z serwera LoraWAN i platformy TTN. Przeprowadzone pomiary pozwoliły określić minimalny czas pracy urządzenia bez dostępu do światła słonecznego na około 7 dni. Wydłużenie czasu działania urządzenia zależy od dostępu do światła słonecznego. Zależne od zewnętrznych warunków, urządzenie jest w stanie prowadzić pomiary na 4 głębokościach 5, 10, 15, 20 cm. Pozwala to na dokładniejsze zbadanie różnych warstw podłoża. Przybliżony koszt wykonania czujnika można oszacować na około 200 zł, co stanowi ułamek ceny obecnie dostępnych na rynku urządzeń o podobnej funkcjonalności.

Aby rozwinąć możliwości czujnika można by opracować różnego rodzaju sondy pozwalające na zmianę sposobu umieszczenia w glebie. Dzięki zastosowaniu złącza do montażu części, w której znajdują się czujniki nie jest konieczne wytworzenie urządzenia od początku, a jedynie można wymienić części zawierające czujniki. Kolejnym usprawnieniem dla projektu byłoby opracowanie własnej bramy pozwalającej na komunikację z serwerem TTN, co wpłynęłoby na obniżenie kosztów wdrożenia czujnika na tereny nie objęte zasięgiem sieci lora. Możliwe jest utworzenie bramki jednokanałowej w oparciu o mikrokontroler raspberry pi. Tego typu bramka nie jest widoczna dla społeczności sieci TTN, ale pozwala na wykorzystanie prywatne. Koszty stanowią ułamek ceny dedykowanej bramy. W przyszłości konieczne byłoby przeprowadzenie badań dotyczących stabilności działania czujnika przez długi okres czasu z uwzględnieniem czynników zewnętrznych czy odległości pozwalającej na komunikację. Jeżeli założyć by zastosowanie platformy opartej o raspberry pi, do implementacji rozwiązania opisanego w tej pracy, było by to również możliwe, choć implementacja z wykorzystaniem układu z rodziny Arduino wydaje się być bardziej uzasadniona. Samo raspberry pi jest również popularną platformą i umożliwiającą realizację projektów interdyscyplinarnych czego przykładem jest np. Programowana niania dla dziecka jako element Internetu Rzeczy [14].

## Literatura

1. Allen R. G., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, Journal of Hydrology 1998; 56:1-299.
2. Łabędzki L., Bąk B. Zależność między suszą meteorologiczną a rolniczą w uprawie buraka cukrowego w okresie wiosennym na glebach o różnej retencji użytecznej, Acta Agrophysica, 2008; 11(2):335-344.
3. Internetowa platforma wspomagania decyzji nawodnieniowych,  
<http://www.nawadnianie.inhort.pl/slownik/S%C5%82o%20wnik-1/W/Wilgotno%C5%9B%C4%87-gleby-10/> - data dostępu 15.12.2021 r.
4. Łabędzki L., Kowalczyk A., Kuźniar A., Kostuch M. Ocena niedoborów wody w uprawie kapusty głowiastej białej na wyżynie małopolskiej. Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie. 2016; 16:21-38.
5. Łabędzki L., Bąk B., Liszewska M. Wpływ przewidywanej zmiany klimatu na zapotrzebowanie ziemniaka późnego na wodę. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2013; 2:155-165, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie.
6. Elektronika Laboratoryjna - Monitoring temperatury i wilgotności, <https://www.label.pl/po/rek797.html> - data dostępu 15.12.2021 r.
7. Drill & Drop Probe With Bluetooth Sentek,  
<https://sentektechnologies.com/product-range/soil-data-probes/drill-drop-bluetooth/> - data dostępu 15.12.2021 r.
8. PM-IO-5-SMLoRaWAN Soil Moisture,  
<https://tinovi.com/shop/lorawan-soil-moisture-temperature-air-temperature-humidity-12v-output-from-battery/> - data dostępu 15.12.2021 r.
9. Obwieszczenie Ministra Cyfryzacji z dnia 6 grudnia 2016 r. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Warszawa, z dnia 13 stycznia 2017 r. Poz. 96.
10. Seneviratne P. Beginning LoRa Radio Networks with Arduino: Build Long Range, Low Power Wireless IoT Networks. Apress, 2019:1484243579.
11. Chudziński D., Kotlarz P., Kempiański M. Programowalna platforma mobilna do nauki programowania. Studia i Materiały Informatyki Stosowanej, 2019; 11(2):5-10.
12. Bobyr M., Titov V., Belyaev A. Fuzzy system of distribution of braking forces on the engines of a mobile robot. MATEC Web Conf. Vol. 79, 2016, VII Scientific Conference with International Participation “Information-Measuring Equipment and Technologies” (IME&T 2016).
13. Szyszowski P., Śmigielski G. Design of an obstructive sleep apnea monitoring. Studia i Materiały Informatyki Stosowanej, 2019; 11(2):12-16.
14. Kowalczyk M., Mikołajewski D., Łukowski J. Programmed baby-monitor as part of the Internet of Things. Studia i Materiały Informatyki Stosowanej, 2020; 12(2):16-22.
15. Liu Y., Akram Hassan K., Karlsson M., Pang Z., Gong S. A Data-Centric Internet of Things Framework Based on Azure Cloud. IEEE Access, 2019; 7:53839-53858, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913224.
16. Todoli-Ferrandis D, Silvestre-Blanes J, Sempere-Payá V. Robust Downlink Mechanism for Industrial Internet of Things Using LoRaWAN Networks. Electronics. 2021; 10(17):2122.

