DOI: https://doi.org/10.53052/9788367652148.23

Adam PONIKIEWSKI[1]

Opiekun naukowy: Daniel JANCARCZYK[2]

AUTOMATYZACJA PROCESU NAWADNIANIA W SZKLARNI HYDROPONICZNEJ

Streszczenie: Artykuł dotyczy tematyki związanej z zaprojektowaniem i wykonaniem mikroprocesorowego systemu sterowania nawadnianiem szklarni hydroponicznej. W pracy opisano również zagadnienia związane z prawidłowym rozwojem roślin oraz ich uprawą w kulturze hydroponicznej. W części zasadniczej skupiono się na opisie autorskiego rozwiązania stacji automatycznego nawadniania w hydroponicznej szklarni. W ostatniej części przedstawiono podsumowanie prac i perspektywy rozwoju projektu.

Słowa kluczowe: hydroponika, arduino, automatyzacja, podlewanie, nawadnianie, sterowanie, mikrokontroler

AUTOMATION OF THE IRRIGATION PROCESS IN A HYDROPONIC GREENHOUSE

Summary: The article discusses the design and implementation of a microprocessor-based control system for hydroponic greenhouse irrigation. The manuscript also describes issues related to the proper development of plants and their cultivation in hydroponic culture. The main part focuses on the description of the author's solution of the automatic irrigation station in the hydroponic greenhouse. The last part presents a summary of the work and prospects for the development of the project.

Keywords: hydroponics, arduino, automation, watering, irrigation, control, microcontroller

1. Wprowadzenie do technologii hydroponicznej. Kluczowe informacje.

Współczesne wyzwania związane z produkcją żywności, ochroną środowiska, czy nawet hobbystycznej uprawy roślin wymagają innowacyjnych rozwiązań. Jednym z takich rozwiązań w tym zakresie jest hydroponika - metoda uprawy roślin z wyłączeniem podłoża organicznego.

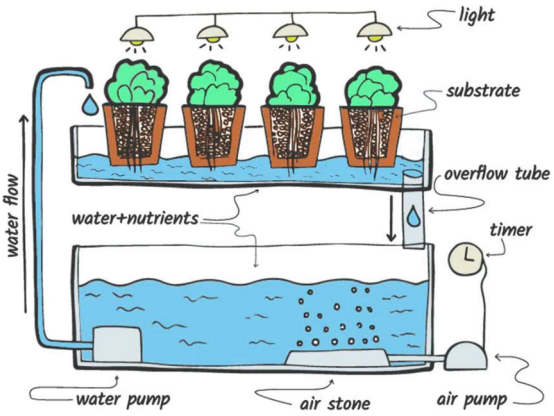
[1] Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: aadam.ponikiewski@gmail.com

[2] dr inż. Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: djancarczyk@ubb.bielsko.pl

W hydroponice rośliny mogą rosnąć w specjalnych, odpowiednio przygotowanych podłożach lub bezpośrednio w roztworach wodnych – stąd też wzięła się nazwa „bezglebowe".
Rośliny czerpią ze środowiska najbardziej potrzebne surowce, a brak gleby im tego nie utrudnia. Dzisiejsze czasy umożliwiają człowiekowi automatyzowanie wielu aspektów jego życia, również ten który związany jest z uprawą roślin. Poprzez odpowiednie zastosowanie urządzeń elektronicznych na czele z jednostką centralną stworzone zostają warunki w których możliwa jest precyzyjna kontrola warunków w których wzrasta roślina [1].
Celem pracy stanowiącej podstawę merytoryczną tego artykułu było zaprojektowanie i wykonanie mikroprocesorowego systemu sterowania nawadnianiem szklarni hydroponicznej. Autor tejże pracy zaznacza, że sam pomysł na jej wykonanie powstał z chęci zautomatyzowania procesu opieki nad roślinami [1].
Jest to szczególnie istotne w kontekście zmieniających się warunków klimatycznych, ograniczonych zasobów wody oraz konieczności zwiększenia efektywności produkcji rolnej z uwagi na coraz to większe zaludnienie planety.
Wyeliminowanie podłoża organicznego pozwala wyeliminować również wiele problematycznych kwestii z nim związanych, takich jak choroby glebowe czy erozja, które często występują w tradycyjnym rolnictwie [1, 2].
Hydroponika daje dodatkowo możliwość precyzyjnego dostarczania składników odżywczych w sposób zindywidualizowany dla każdej rośliny, a tym samym pozwala na uzyskanie wyższych plonów oraz poprawienie jakości upraw w których każda roślina bądź wyznaczony sektor otrzymuje tyle wody, nawozu i innych marko i mikro elementów, a są to między innymi [3]:

- azot,
- fosfor,
- potas,
- magnez,
- siarka i inne.

Na rysunku poniżej (rys. 1) zaprezentowano schemat prezentujący w jaki sposób działają stacje wykorzystywane przy uprawach hydroponicznych.



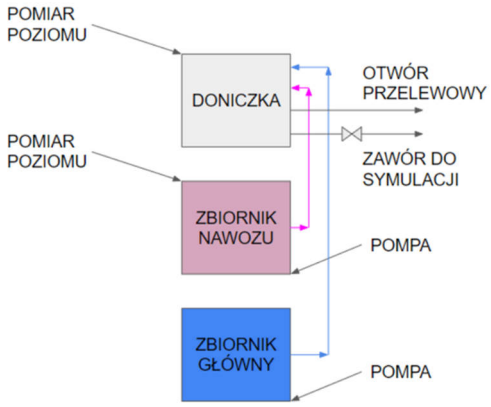
Rysunek 4. Schemat prezentujący zasadę działania uprawy wertykalnej [4]

W uprawach bezglebowych hydroponicznych, jak i bezglebowych niehydroponicznych, ilość wody może podlegać pełnej kontroli, jeżeli tylko zastosowany zostanie odpowiedni system kontrolujący to. To z kolei pozwali na minimalizację strat nie tylko wody, i środków pieniężnych ale i czasu, który musiałby być przeznaczony na doglądanie upraw.
Aspekt dotyczący gospodarowania wodą jest szczególnie istotny w regionach dotkniętych suszami oraz w kontekście globalnych wyzwań związanych z dostępem do czystej wody pitnej [5].

2. Realizacja Stacji Automatycznego Nawadniania.

2.1. Koncepcja Stacji Automatycznego Nawadniania

Działanie automatycznej stacji hydroponicznej opiera się na zastosowaniu mikrokontrolera Arduino Uno jako centralnej jednostki sterującej [6]. Mikrokontroler ten zbiera dane z różnych czujników i na ich podstawie "podejmuje decyzje" dotyczące dostarczania wody i nawozu do roślin. Stacja ma za zadanie monitorować parametry, które będą umożliwiały jej zainstalowane czujniki. Parametry podlegające kontroli to między innymi: poziom cieczy w doniczce oraz zbiorniku z nawozem. Na podstawie zebranych informacji, mikrokontroler uruchomia pompy i odlicza ich czas działania.



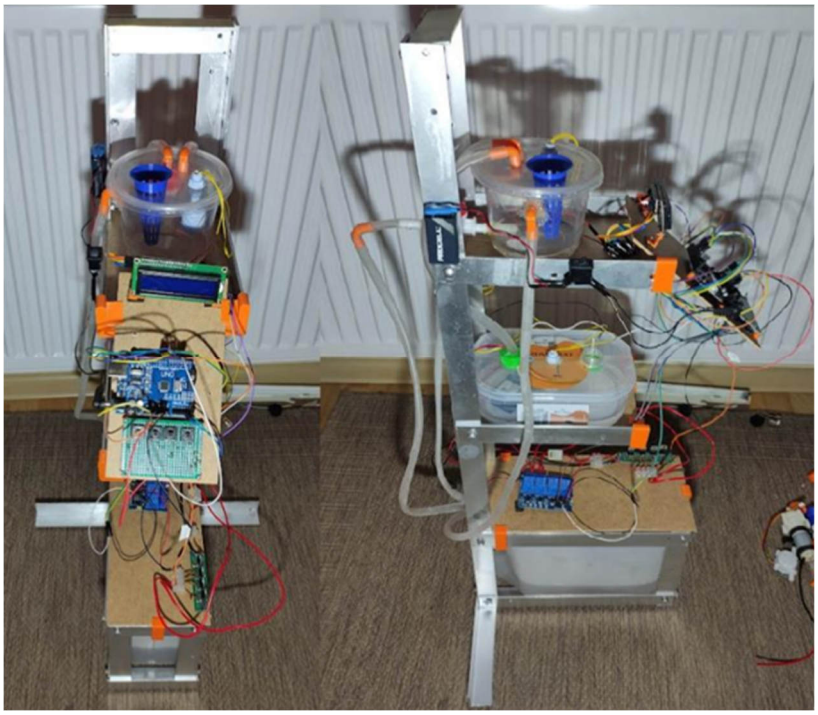
Rysunek 2. Schemat blokowy prezentujący działanie układu [1]

Stacja działa w trybie cyklicznym, regularnie sprawdzając warunki na poszczególnych etapach oraz podejmując działania w zdefiniowanych interwałach czasowych. Dzięki temu zapewniona zostanie ciągła opieka nad roślinami. Pozwoli to na wyeliminowanie ryzyka braku wody oraz niedoboru składników odżywczych. Koncepcja ta pozwala na osiągnięcie precyzyjnego systemu nawadniającego, który wystarczać będzie by zapewnić roślinie niezbędne elementy, co zwiększa efektywność uprawy.
By wszystko działało prawidłowo, niezbędny jest przemyślany projekt koncepcyjny, którego przykład został zaprezentowany na rysunku 2. Opisuje on, w których zbiornikach znajdą się pompy oraz stosowne sensory. Koncepcja uwzględnia także

otwór przelewowy oraz zawór do symulacji. Zrealizowany projekt, zarówno cała stacja, jak i jej poszczególne komponenty oraz kod obsługujący mikrokontroler i elementy elektroniczne zostaną omówione w dalszej części artykułu.

2.1. Realizacja stacji automatycznego nawadniania.

Wykonanie stacji automatycznego podlewania opiera się na połączeniu mikrokontrolera z urządzeniami peryferyjnymi. Czujniki poziomu cieczy za pomocą pływaka kontrolują czy poziom wody w doniczce nie spada poniżej zadanej granicy minimalnej. Weryfikacji podlega również zbiornik nawozowy, gdzie kontrolowany jest poziom nawozu rozcieńczonego z wodą. Zbiornik nawozowy jest niezbędny do prawidłowej pracy układu, jeżeli czujnik wykryje, że w zbiorniku nawozu jest za mało cieczy wyświetli stosową informacje użytkownikowi stacji automatycznego nawadniania.
Mikrokontroler przetwarza dane z czujników i na podstawie zaimplementowanego kodu steruje pracą pomp, by dostarczyć roślinie niezbędnych składników. Dodatkowo stacja wyposażona została w ekran LCD z konwerterem I2C, który jak wcześniej wspomniano informuje w stosowny sposób użytkownika o tym czy praca przebiega poprawnie.
Pompy znajdują się z zbiorniku umiejscowionym na samym dole oraz na „środkowej półce". Na samej górze rozmieszona jest „doniczka", w której znajduje się specjalny koszyk z rośliną. Dodatkowo każdy zbiornik ma otwór, który obsługiwany jest w sposób manualny. Całość projektu zaprezentowano na rysunku 3.



Rysunek 3. Stacja automatycznego nawadniania [1]

Cały proces zaprogramowany jest w języku kompatybilnym z Arduino. Kod jest przejrzysty i łatwy w edycji. Na rysunku 4 przedstawiony został *void setup(),* w którym zostały zawarte instrukcje uruchamiane tylko raz, zaraz po załączeniu urządzenia [7].

```
void setup()
{
  lcd.init();          //uruchomienie wyśw
  lcd.begin(16,2);   // Inicjalizacja LCD
  lcd.backlight();  //zalaczenie podwietl

  pinMode(3,INPUT_PULLUP); //plywak nawoz
  pinMode(4,INPUT_PULLUP); //plywak donicz
  pinMode(5,INPUT_PULLUP); // przycisk 1
  pinMode(6,INPUT_PULLUP);// przycisk 2
  pinMode(7,INPUT_PULLUP);// przycisk 3
  pinMode(8, INPUT_PULLUP);// przycisk 4
  pinMode(9, OUTPUT); //pompa wody, defin
  pinMode(10, OUTPUT); //pompa nawozu, de
  Serial.begin(9600); //uruchomienie komu
  digitalWrite(9, HIGH); //stan wysoki na
  digitalWrite(10, HIGH); //stan wysoki n
}
```

Rysunek 4. Void setup()[1]

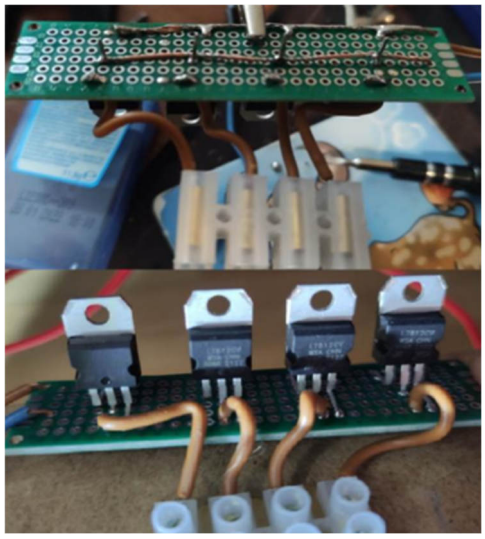
W dalszej części, na rysunku 5, przedstawiony został *void loop()*, czyli pętla główna programu wykonująca się do momentu, aż urządzenie nie zostanie wyłączone [8, 9]. W pętli *void loop()* zawarta jest obsługa programu: informacje oraz warunki do tego jaki tekst wyświetlany będzie na wyświetlaczu a także obsługa „serwisowa" umożliwiająca manualne załączanie pomp.

```
void loop()
{
    lcd.setCursor(0,0); //ustawienie kurosra wyswietlacza w okreslonym mie
    if(digitalRead(3) == 1) //instrukcja if - jezeli na plywak nawozu jest
    {

      Serial.println("Niski poziom nawozu"); //wyswietlanie na monitorze p
      lcd.print("Uzupelnij nawoz!"); //wyswietlanie na wyswietlaczu
    }
    else //instrukcja else
    {
      Serial.println("NAWOZ W NORMIE"); //wyswietlanie na monitorze portu
      lcd.print("Nawoz w normie. "); //wyswietlanie na wyswietlaczu
    }
    lcd.setCursor(0,1); //ustawienie kurosra wyswietlacza w okreslonym mie
    Serial.print("plywak doniczka: "); //wyswietlanie na monitorze portu s
    if((digitalRead(4) == 1)&&(digitalRead(5) == 0)) //instrukcja if - jez
      {
      Serial.println("NISKI POZIOM W DONICZCE"); //wyswietlanie na monitor
      lcd.print("Za malo wody!   "); //wyswietlanie na wyswietlaczu
      digitalWrite(10,LOW); //daj stan niski na pin nr 10, tj nawoz
      digitalWrite(9,LOW); //daj stan niski na pin nr 9, tj woda
      delay(7000); // nawoz dolewa sie 7 sekund
      digitalWrite(10, HIGH); // stan wysoki - wylaczenie pracy nawozu
      delay(3000); // woda dolewa sie 10 sekund
      digitalWrite(9, HIGH); // stan wysoki - wylaczenie pracy nawozu
      }
    else
     {
      Serial.println("POZIOM W DONICZCE W NORMIE"); //wyswietlanie na moni
      lcd.print("Woda w normie   "); //wyswietlanie na wyswietlaczu
      digitalWrite(9, HIGH); // stan wysoki - wylaczenie pracy nawozu
      digitalWrite(10,HIGH); // stan wysoki - wylaczenie pracy nawozu
    }
    if(digitalRead(5)&&digitalRead(7)==1) //jezeli przyciska sie przycisk
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" Serwis pompa 1 "); //wyswietlanie na wyswietlaczu
    digitalWrite(9,HIGH); // wylaczone off
    digitalWrite(10,LOW); // wlacone on
  }
  else if(digitalRead(6)&&digitalRead(8)==1) //instrukcja if elsse, jezeli
  {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" Serwis pompa 2 "); //wyswietlanie na wyswietlaczu
    digitalWrite(9,LOW);// wylaczone off
    digitalWrite(10,HIGH); // wlacone on
  }
  delay(1000); // opuznienie 1000ms
  }
```

Rysunek 5. Void loop()[1]

Stacja zasilana jest napięciem stałym. Napięcie doprowadzane jest do stacji poprzez stabilizator napięcia L7812CV znajdujący się na własnoręcznie wykonanym module zaprezentowanym na rysunku 6.
Mikrokontroler posiada również dodatkowe zasilanie z baterii 9V umieszczonej przy konstrukcji, widoczne na rysunku 3.

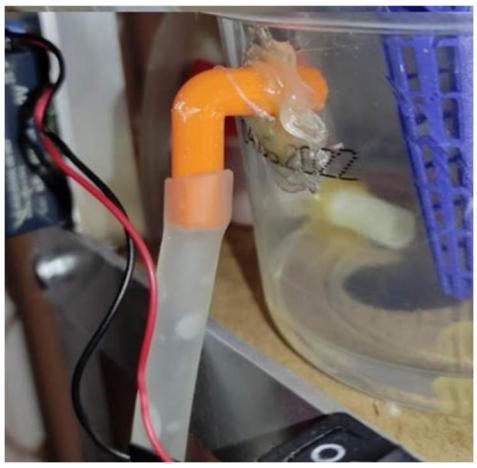


Rysunek 6. Moduł ze stabilizatorami L7812CV [1]

Moduł ze stabilizatorami umożliwia również zasilanie przez niego układu wykonawczego z przekaźnikami jak i urządzeń peryferyjnych. Został on zamieszczony w stacji z uwagi na możliwą częstą zmianę podzespołów w celach eksperymentalnych. Pompki wykorzystane w projekcie to powszechnie używane pompy akwarystyczne o napięciu zasilania 12VDC przedstawione na rysunku 7.

Rysunek 7. Pompka akwarystyczna zastosowana w zbiornikach wody i nawozu [10]

Konstrukcja stacji obejmuje zabezpieczenia przed przelaniem wody przedstawione na rysunku 8. Nadmiar wody przelewany jest z powrotem do głównego zbiornika. Takie rozwiązanie pozwala na działanie systemu nawadniania szklarni bez konieczności stałej obecności obsługi.



Rysunek 8. Otwór przelewowy [1].

Jeżeli czujnik poziomu w doniczce ulegnie awarii może zaistnieć ryzyko przelania się roztworu i zalania urządzeń elektronicznych. W takim przypadku nadmiar mieszanki wody i nawozu zostaje usuwany przez wcześniej wspomniany otwór przelewowy.
Doniczka wyposażona jest również w manualny zawór serwisowy przeznaczony to intencjonalnego upuszczania wody przez użytkownika stacji. Dzięki niemu można zasymulować działanie systemu gdyż pozwala on na przyspieszenie czasu oczekiwania aż pływak opadnie na dół – w normalnych warunkach działania taka sytuacja wystąpić może tylko w przypadkach wchłonięcia wody przez roślinę, bądź jej odparowania.
Szkielet konstrukcji, w myśl dbania o środowisko, została wykonana z używanych już wcześniej aluminiowych profili. Nadanie im “drugiego życia” pozwoliło jeszcze bardziej zrealizować ekologiczny zamysł . Pojemniki na wodę zostały wykonane z wodoszczelnych pojemników łatwych do modyfikacji.
Układ, w którym porusza się woda został wykonany z wężyka akwarystycznego wygodnego w prowadzeniu, dzięki jego elastyczności nie było problemów podczas łączenia go z pompami, zaworami czy drukowanymi kolankami, przedłużkami i rozdzielaczami.
Mikroprocesor oraz urządzenia peryferyjne takie jak pompki i przekaźniki, jak i również inne elementy elektroniczne, w tym czujniki pływakowe, z uwagi na bezpieczeństwo i minimalizacje awaryjności, zostały zakupione na rynku. Tabela 1 przedstawia zestawienie kosztowe elementów składowych użytych przy realizacji projektu.

Tabela 6. Zestawienie kosztowe materiałów [1]

Zestawienie kosztowe elementów	
Nazwa elementu	**Przybliżona cena elementu [zł]**
płytka Klon Arduino UNO	60
moduł z przekaźnikami	19
pompa 12V nr 1	25
pompa 12V nr 2	25
czujnik poziomu 1	10
czujnik poziomu 2	10
płytka uniwersalna	2,5
moduł stabilizujący	5
wyświetlacz LCD + konweretr	18
rezystory	2
przyciski	1
zawór wciskany 8mm	7
przewody	12
kostka łączeniowa	9
wężyki	16
konstrukcja i zbiorniki	0
elementy drukowane	0
SUMA	221,5

3. Zalety i Perspektywy Rozwoju Projektu

3.1. Zalety Automatyzacji Nawadniania w Uprawie Hydroponicznej

Automatyzacja nawadniania w uprawie hydroponicznej niesie ze sobą wiele korzyści. Jedną z głównych zalet jest możliwość precyzyjnego dostosowania ilości podawanych składników odżywczych dla roślin, a dzięki monitorowaniu poziomu cieczy, stacja jest w stanie robić to dzięki dostarczaniu wody i nawozu dokładnie wtedy, kiedy jest to potrzebne. Eliminuje to ryzyko wystąpienia czynnika ludzkiego, którego obecność prowadzić może wysuszenia roślin, jak i również ich „przelania", a w konsekwencji, do przegnicia korzeni.
System automatyczny zużywa tylko niezbędną ilość wody, dzięki temu można uniknąć marnotrawstwa i przyczynić się do zrównoważonego gospodarowania zasobami. Korzystając z takiej stacji zgodnie z jej przeznaczeniem można znacząco przyczynić się do ochrony środowiska.
Automatyzacja pozwala również na zaoszczędzenie czasu, który może zostać zainwestowany w innego rodzaju prace nad uprawą roślin, zwiększając tym samym efektywność całego procesu.

3.2. Perspektywy Rozwoju Projektu

Projekt stacji automatycznego nawadniania szklarni hydroponicznej stanowi solidną podstawę do dalszego rozwoju. Istnieje wiele perspektyw, które można wziąć pod uwagę, aby system jeszcze bardziej mógł przyczynić się dla dobra człowieka i środowiska.

Jedną z dróg rozwoju jest możliwość zainstalowania dodatkowych sensorów, takich jak pH-metr, czy czujnik przepływu wody. Takie rozwiązania pozwalają na jeszcze dokładniejsze monitorowanie parametrów środowiska oraz bardziej precyzyjną kontrolę procesów zachodzących w układzie. Dodatkowo dają możliwość szybszego wykrywania awarii, jak i również minimalizują wystąpienie niekorzystnych dla rośliny warunków takich jak zbyt mały poziom wody w doniczce, lub zbyt duży - co pozwala na szybką reakcję i minimalizację ryzyka utraty plonów.
Inną perspektywą byłoby potraktowanie stacji jako osobnego podzespołu. Stacja będąca osobnym, bardziej złożonym projektem, który oprócz sprawowania opieki nad parametrami wody oraz nawozu, kontrolować mógłby inne parametry, takie jak oświetlenie czy temperatura. To pozwoliłoby na pełną automatyzację wpływania na całe środowisko uprawy, zapewniając roślinom optymalne warunki wzrostu przez cały czas.
Perspektywą rozwoju związaną z wygodą użytkowania byłoby możliwość zdalnej obsługi stacji z aplikacji mobilnej. W tym celu należałoby wyposażyć układ w specjalny moduł pozwalający na komunikację urządzenia z routerem poprzez Wi-Fi lub bluetooth.

4. Wnioski i uwagi.

4.1. Wnioski

Dzięki projektowi hydroponicznej stacji uprawy roślin możliwe jest osiągnięcie precyzyjnego nawadniania, minimalizującego zarówno zużycie wody, jak i czasu wiążącego się z bezpośrednim zaangażowaniem człowieka w rolnictwo.
Automatyzacja nawadniania w uprawie hydroponicznej przy wykorzystaniu mikroprocesorów daje ogromne możliwości do innowacyjnych i efektywny rozwiązań umożliwiających pełną kontrolę i obsługę procesu opieki nad roślinami.
Osoba posiadająca odpowiednią wiedzę i umiejętności z zakresu automatyki oraz rolnictwa, przy zaopatrzeniu się w mikroprocesor oraz wybrane urządzenia peryferyjne może stworzyć stację do automatycznego nawadniania szklarnią hydroponiczną, w której program będzie dostosowany do potrzeb uprawianych w szklarni roślin.
Projekt ten ma duży potencjał rozwoju, zarówno pod względem integracji dodatkowych sensorów, jak i rozbudowy o nowe moduły peryferyjne. Dalsza praca nad projektem może prowadzić do zwiększenia jego efektywności w zakresie dbałości o rośliny. Automatyzacja nawadniania to krok w kierunku zrównoważonej i efektywnej produkcji rolnej, przynoszący korzyści zarówno środowisku, jak i producentom roślin, a w konsekwencji każdemu człowiekowi.

4.2. Uwagi.

Stacja z uwagi na swój mało estetyczny wygląd pozbawiona jest realnych możliwości zastosowania komercyjnego. Jeżeli miałaby ona stanowić produkt sprzedaży powinna zostać wykonana z fabrycznie nowych materiałów, bez śladów wcześniejszego ich użytkowania.

LITERATURA

1. PONIKIEWSKI A.: Mikroprocesorowy system sterowania nawadnianiem w szklarni hydroponicznej, praca inżynierska, Bielsko-Biała 2023.
2. Serwis internetowy: *materialyinzynierskie.pl, Hydroponika: Uprawa hydroponiczna roślin, Przewodnik 2020,* 15.10.2023.
3. Serwis internetowy: *Makro i mikroelementy w produkcji rolniczej - Doradca-rolniczy.pl*, 15.10.2023.
4. Serwis internetowy: *https://getgrowee.com/hydroponic-ebb-and-flow-system/ dostęp*, 15.10.2023.
5. MATEO-SAGASTA J., MARJANI ZADEH S., TURRAL, H.: More people, more food worse water? A global review of water pollution, FAO, Rome, 2018.
6. PIÓRO B., PIÓRO M.: Podstawy elektroniki część 2, Wydawnictwo szkolne i pedagogiczne Sp. z o.o., Warszawa, 2013.
7. FRANCUZ T.: Język C dla mikrokontrolerów AVR. Od podstaw do zaawansowanych aplikacji, Wydawnictwo HELION, Gliwice, 2011.
8. HOFFMAN J.: Zostań mistrzem arduino, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2019.
9. MONK S.: Arduino dla początkujących. Podstawy i szkice – Wydanie II, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2014.
10. Serwis internetowy: *https://allegro.pl/oferta/pompa-pompka-do-wody-cieczy-240l-h-12v-12360981174*, 15.10.2023.