



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie



Wydział
Elektryczny

Patryk Frankowski

nr albumu: 30570

kierunek studiów: Automatyka i Robotyka

forma studiów: studia stacjonarne

**PROJEKT PRZENOŚNEGO WODOSZCZELNEGO SYSTEMU
DO POMIARU PARAMETRÓW POGODOWYCH**

**THE DESIGN OF PORTABLE WATERPROOF SYSTEM
TO MEASURE WEATHER PARAMETERS**

Praca dyplomowa inżynierska

napisana pod kierunkiem:

dr inż. Artura Wollek

Katedra Sterowania i Pomiarów

Data wydania tematu pracy: 08.03.2016

Data złożenia pracy:

Szczecin, 2017

OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY DYPLOMOWEJ

Oświadczam, że praca dyplomowa inżynierska pt. „Projekt przenośnego wodoszczelnego systemu do pomiaru parametrów pogodowych” napisana pod kierunkiem: dr inż. Artura Wollek jest w całości moim samodzielnym autorskim opracowaniem sporządzonym przy wykorzystaniu wykazanej w pracy literatury przedmiotu i materiałów źródłowych.

Złożona w dziekanacie Wydziału Elektrycznego treść mojej pracy dyplomowej w formie elektronicznej jest zgodna z treścią w formie pisemnej.

Oświadczam ponadto, że złożona w dziekanacie praca dyplomowa ani jej fragmenty nie były wcześniej przedmiotem procedur procesu dyplomowania związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w uczelniach wyższych.

Szczecin, dn.
.....
podpis dyplomanta

Streszczenie pracy

W pracy dyplomowej opisano zaprojektowanie, wykonanie oraz testowanie przenośnego systemu pomiarowego do mierzenia: temperatury otoczenia, ciśnienia atmosferycznego, wilgotności powietrza oraz dodatkowej temperatury wody za pomocą wodoszczelnej dołączanej sondy. Układ elektroniczny umieszczono w obudowie odpornej na wilgoć. Urządzenie wyposażono w wyświetlacz i odbiornik GPS umożliwiający określenie położenia geograficznego oraz aktualnego czasu i daty.

Słowa kluczowe

Parametry pogodowe, układ elektroniczny, płytka PCB, czujnik pomiarowy

Abstract

This thesis describes the design, construction and testing of the mobile measuring system which measure: temperature of environment, atmospheric pressure, humidity of air and additionally temperature of water using a watertight joined probe. The electronic circuit is placed in a moisture resistant case. The device is equipped with a display and a GPS receiver which allow to determine the geographical positioning and actual time and date.

Keywords

Weather parameters, electronic circuit, PCB board, measuring sensor

Spis treści

| | |
|--|----|
| Wprowadzenie | 7 |
| 1. Metody pomiaru parametrów pogodowych oraz położenia geograficznego | 8 |
| 1.1. Temperatura | 8 |
| 1.1.1. Definicja..... | 8 |
| 1.1.2. Metody pomiaru | 9 |
| 1.2. Wilgotność powietrza | 11 |
| 1.2.1. Definicja..... | 12 |
| 1.2.2. Metody pomiaru | 13 |
| 1.3. Ciśnienie atmosferyczne..... | 14 |
| 1.3.1. Definicja..... | 14 |
| 1.3.2. Metody pomiaru | 16 |
| 1.4. Położenie geograficzne | 17 |
| 1.4.1. Definicja..... | 18 |
| 1.4.2. Metody pomiaru | 18 |
| 2. Projekt budowy systemu do pomiarów parametrów pogodowych..... | 21 |
| 2.1. Założenia projektowe | 21 |
| 2.2. Elementy projektowanego układu..... | 22 |
| 2.2.1. Elementy pomiarowe | 22 |
| 2.2.2 Wyświetlacz | 24 |
| 2.2.3 Układ GPS..... | 25 |
| 2.2.4 Mikrokontroler..... | 26 |
| 2.2.5. Zasilanie układu..... | 27 |
| 2.3. Projekt płytki PCB | 30 |
| 2.4. Projekt obudowy | 32 |
| 3. Oprogramowanie systemu | 36 |
| 4. Pomiary i kalibracja wykonanego przyrządu | 40 |
| 4.1 Termometr | 40 |
| 4.2 Barometr | 43 |
| 4.3 Higrometr | 45 |
| 4.4 Odbiornik GPS | 47 |
| Wnioski..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Załącznik A. Schemat elektryczny urządzenia | 50 |
| Załącznik B. Listing programu z komentarzami | 52 |
| Spis rysunków | 58 |
| Spis tabel..... | 60 |
| Bibliografia | 61 |

Wprowadzenie

W obecnych czasach często ważna jest znajomość warunków atmosferycznych. Wiedza taka sprzyja człowiekowi między innymi w uprawianiu sportów np.: wędkarstwa, żeglarstwa czy wspinaczki górskiej. Orientowanie się w kwestiach pogodowych pozwala na odpowiednie przygotowanie do danych czynności. Ponadto znajomość pogody wiąże się też z zapewnieniem bezpieczeństwa.

Samo pojęcie pogody wiąże się z określonymi jej parametrami. Są to : temperatura, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność oraz kierunek i prędkość wiatru. Krótko definiując powyższe pojęcia, temperatura określa stan cieplny ciała. Można ją wyrazić w kilku skalach. Pomiar temperatury możliwy jest za pomocą różnego typu termometrów w zależności od ich przeznaczenia. Obecnie do pomiaru temperatury szeroko stosowane są metody elektryczne. Z kolei ciśnienie atmosferyczne wyraża się jako siłę nacisku słupa powietrza na powierzchnię ziemi. Jego pomiar wykonywany jest za pomocą przyrządów zwany barometrami. Kolejny parametr, jakim jest wilgotność określa zawartość pary wodnej w powietrzu. Wyznacza się ją poprzez ustalenie tzw. punktu rosy, który jest temperaturą, w której może rozpocząć się proces skraplania. Urządzenie służące do pomiaru wilgotności powietrza nazywa się higrometrem. Ostatni parametr wiąże się z wiatrem, czyli ruchem powietrza. Jego kierunek może być poziomy lub prawie poziomy do powierzchni globu. Jednak ten parametr pogodowy nie wchodzi w zakres niniejszej pracy.

Nie sposób nie znaleźć urządzenia mobilnego do pomiaru każdego z parametrów oddzielnie, już trudniej o takie, który mierzyłoby je wszystkie jednocześnie. Było to powodem zaprojektowania i wykonania systemu służącego do pomiaru w/w parametrów. Ponadto, studując tematykę związaną z tematem pracy, autor nie natknął się na urządzenie, które dodatkowo charakteryzowałoby się wodoszczelnością. Stąd zbudowane urządzenie posiada tą cechę.

Cel pracy

Celem pracy jest zaprojektowanie i wykonanie przenośnego systemu pomiarowego do mierzenia wybranych parametrów pogodowych. Projektowany system ma być odporny na wilgoć, co tym samym predysponuje go do zastosowania w turystyce ekstremalnej lub np. w wędkarstwie.

Zakres pracy

System ma mieć możliwość pomiaru: temperatury otoczenia, ciśnienia atmosferycznego, wilgotności powietrza oraz dodatkowej temperatury np. wody za pomocą wodoszczelnej dołączanej sondy. Ponadto ma on być wyposażony w zegar wyświetlający aktualny czas i odbiornik GPS umożliwiający określenie położenia geograficznego. Projektowane urządzenia ma mieć budowę modułową z możliwością ewentualnego rozszerzenia o dodatkowe funkcje np. pomiar masy.

ROZDZIAŁ 1

Metody pomiaru parametrów pogodowych oraz położenia geograficznego

Pogoda jest czynnikiem, który codziennie towarzyszy człowiekowi i ma duży wpływ na jego życie. Warunki atmosferyczne mogą mieć tu pozytywne jak i negatywne oddziaływanie, dlatego tak ważne jest przewidywanie ich zmian. Istnieje wiele możliwości prognozowania pogody. W większości przypadków wymagana jest znajomość takich parametrów jak: temperatura, wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne, położenie geograficzne oraz prędkość i kierunek wiatru.

1.1. Temperatura

Pojęcie temperatury w pierwszej kolejności kojarzy się z doznaniami fizjologicznym, jaki towarzyszy przy dotknięciu, zbliżeniu się do obiektu lub przebywaniu w otoczeniu o innej energii cieplnej. Wówczas opisywane są odczucia ciepła czy zimna, które nie mogą określać uniwersalnej skali temperatury, gdyż ich odczucie jest subiektywne. Aby określić skalę pomiaru tego parametru, w pierwszej kolejności należy wybrać punkty odniesienia, które są powtarzalne i odtwarzalne w danej temperaturze. Może to być np. zmiana stanów skupienia wody, określając 0° , jako topnienie lodu, a 100° jako punkt wrzenia tej cieczy [1].

1.1.1. Definicja

Temperatura jest wielkością fizyczną, która wiąże się ze średnią energią kinetyczną ruchu oraz drgań cząsteczek, które tworzą układ. Jest ona miarą ów energii. Tak definiowany jest termin temperatury w czasach obecnych. Niemniej jednak na przestrzeni lat wielkość tą określano w nieco inny sposób.

Początkowo, w starożytnym Rzymie, C. Galen opierając się na działaniu odpowiednich leków na ludzi zaproponował ośmiostopniową skalę pomiaru temperatury, która, jak twierdził, zależy także od szerokości geograficznej. Przez wiele stuleci uczeni opierali się na tezie rzymskiego lekarza, definiując temperaturę w oparciu o oddziaływanie nie tylko farmaceutyków, ale i różnych przedmiotów na ludzkie ciało. Przełom XVI i XVII wieku przyniósł rewolucję w pomiarach temperatury, gdy Galileusz stworzył pierwszy przyrząd wskazujący zmiany tego parametru – *termoskop*. Było to proste w budo-

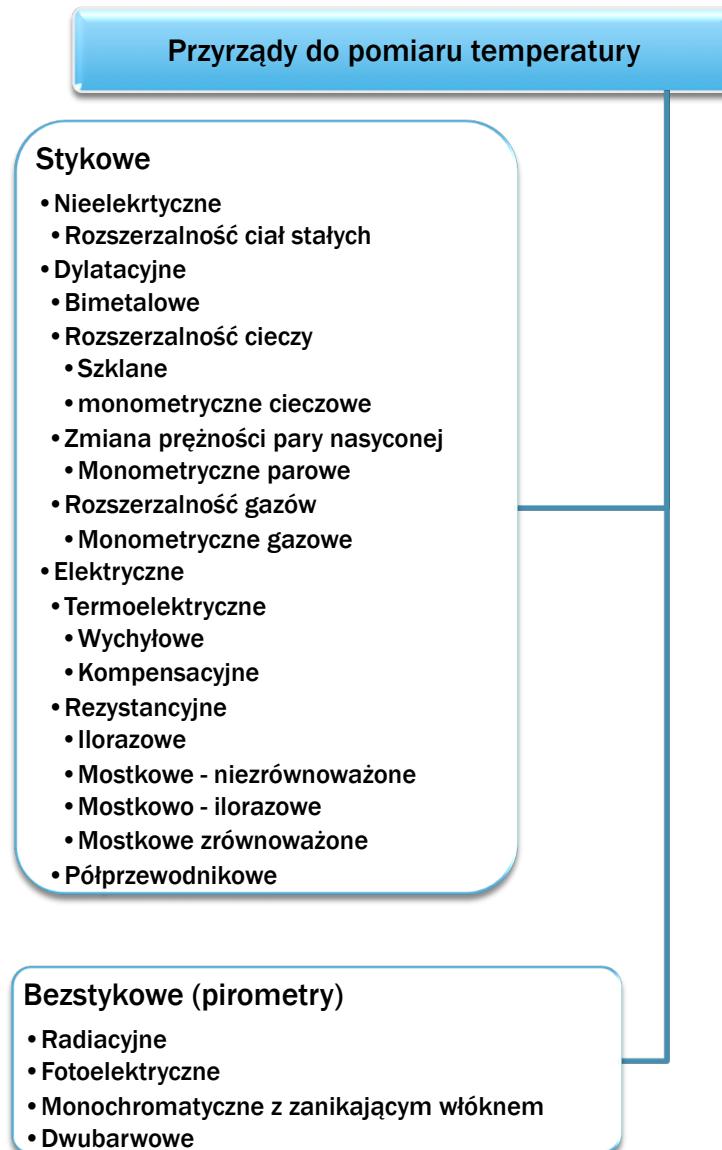
wie urządzenie, którego działanie polegało na zasysaniu cieczy poprzez ogrzanie bańki połączonej do długiej rurki. Zmiana poziomu płynu określała stopień ciepła lub zimna. Nie można nazwać tego „termometrem”, gdyż nie był zabezpieczony przed wpływem ciśnienia atmosferycznego oraz prawdopodobnie nie posiadał on podziałki. Mimo, iż nie był to przyrząd doskonały, należy przyznać, że termoskop Galileusza wpłynął na rozwój nauki związanej z pojęciem temperatury. Już w 1650 r. Florencka Akademia Nauk przedstawiła pierwszy termometr, który zminimalizował wpływ ciśnienia atmosferycznego na pomiar temperatury oraz zawierał podziałkę. Aczkolwiek, i w tym urządzeniu nie podano żadnych wartości, co w kolejnych latach zmusiło uczonych do ustalenia pewnych wzorców oraz skali miary temperatury. Gdańskczyk D.G. Fahrenheit, jako pierwszy zbudował termometr rtęciowy oraz określił stałe punkty termometryczne. Pierwszy punkt równy jest 0°F i określa temperaturę topnienia mieszaniny śniegu z salmiakiem. Drugi zaś wynosi 100°F i stanowi naturalną temperaturę ludzkiego ciała. W czasach obecnych skala Fahrenheita definiowana jest poprzez równoważność 0°C do 32°F , a także 100°C do 212°F . W naszych rejonach stosuje się skalę Celsjusza, którą w 1742 r. zaproponował szwedzki fizyk A. Celsius, przyjmując za 0°C temperaturę wrzenia wody, a 100°C za temperaturę topniejącego lodu. Wartości te dopiero ponad sto lat później zostały odwrócone. Trzecią znaną skalą jest skala termodynamiczna Kelvina. Stworzył ją angielski uczeń W. Thomson, bliżej znany, jako Lord Kelvin. Założenia ów skali opierały się na zależności ciśnienia i objętości gazu doskonałego. Jako minimalną temperaturę, określającą na skali jako 0, przyjęto tzw. zero absolutne. Jest to temperatura, gdzie gaz idealny będzie miał zerową objętość przy dowolnym ciśnieniu (ruch cząsteczek gazu zanika). Od 1954 roku, jako punkt termometryczny przyjęto punkt potrójny wody, który określa równowagę trzech stanów wody (stały, gazowy i ciekły). W roku 1967 przyjęto definicję skali temperatury termodynamicznej ustalając jednostkę kelwin z przypisanym symbolem K oraz przyporządkowano wyżej opisany punkt termometryczny jako $273,16\text{ K}$ ($0,01^{\circ}\text{C}$) [1, 2].

1.1.2. Metody pomiaru

Powыższy podrozdział ukazał historię związaną z określeniem temperatury. Termoskop i pierwsze termometry doprowadziły do rozwoju oprzyrządowania w zakresie pomiaru temperatury. Współczesne urządzenia, ze względu na swoją konstrukcję, umożliwiają pomiar tylko w określonym zakresie. Dlatego dobór rodzaju termometru zależy przede wszystkim od tego, jakiego rzędu wielkości będą badane. Szczególnymi przyrządami są tzw. termometry absolutne, które mierzą bezpośrednio wartość temperatury termodynamicznej. Jest to urządzenie bardzo skomplikowane technicznie, dlatego też w głównej mierze jest on wzorcem dla innych urządzeń pomiarowych, których wartości skali są odtwarzane możliwie blisko wartościom skali temperatury termodynamicznej. Przykładem jest termometr mierzący w skali Celsiusza ($^{\circ}\text{C}$) [2].

Przyrządy do pomiaru temperatury można klasyfikować ze względu m.in.: na ich budowę, zakres pomiarowy, użytą skalę, czy też zastosowanie. Podstawowym kryterium

kategoryzacji omawianym w tej pracy jest różnica w zasadzie przejmowania ciepła między urządzeniem, a badanym ośrodkiem. Przykładowy podział pokazano na rysunku 1.1.



Rysunek 1.1. Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [1]

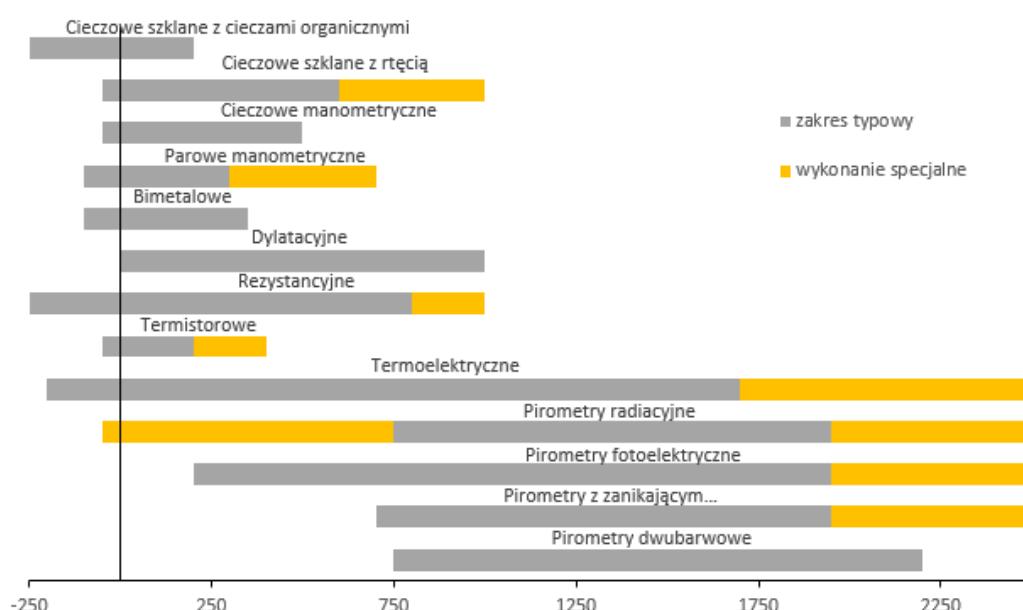
Na powyższym rysunku przedstawiono klasyfikację przyrządów do pomiaru temperatury. Pierwszy podział dzieli je na: *stykowe* – zwane termometrami oraz *bezstykowe* – pirometry. Główna różnica wynika z metody pomiaru, gdzie termometr musi znajdować się w bezpośrednim kontakcie z mierzonym obiektem, a pirometr wykorzystuje do tego promieniowanie podczerwone [1].

Kolejne kryterium dzieli przyrządy do pomiaru temperatury na: *nieelektryczne* i *elektryczne*. Termometry nieelektryczne opierają się na rozszerzalności cieplnej substancji wykorzystanych do ich budowy. Może to być ciało stałe, gaz lub ciecz. Wraz ze

wzrostem temperatury zwiększa się objętość substancji odpowiednio wskazując temperaturę za pomocą dołączonej podziałki. W procesach regulacji, kontroli, przemysłowych i przy pomiarach laboratoryjnych stosuje się głównie termometry elektryczne.

Do bezstykowego pomiaru temperatury wykorzystuje się urządzenia nazywane pirometrami. Początkowo były one wykorzystywane do pomiaru tylko wysokich temperatur, stąd też powstała nazwa, z gr. *pyro* – ogień, *metreo* – mierzę. Wraz z postępem nauki te przyrządy znalazły zastosowanie przy badaniu obiektów o temperaturze nawet poniżej 0 °C. Pirometr określa temperaturę poprzez pomiar promieniowania podczerwonego. Składa się on z: układu optycznego, który ma za zadanie skupiać wiązki promieniowana i skierować na detektor promieniowania, po czym specjalny układ przetwarzania zmienia sygnał tak, aby został poprawnie opisany na wskaźniku [1, 2].

Zakres stosowania przyrządów do pomiaru temperatury



Rysunek 1.2. Zakres stosowania przyrządów do pomiaru temperatury

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [1]

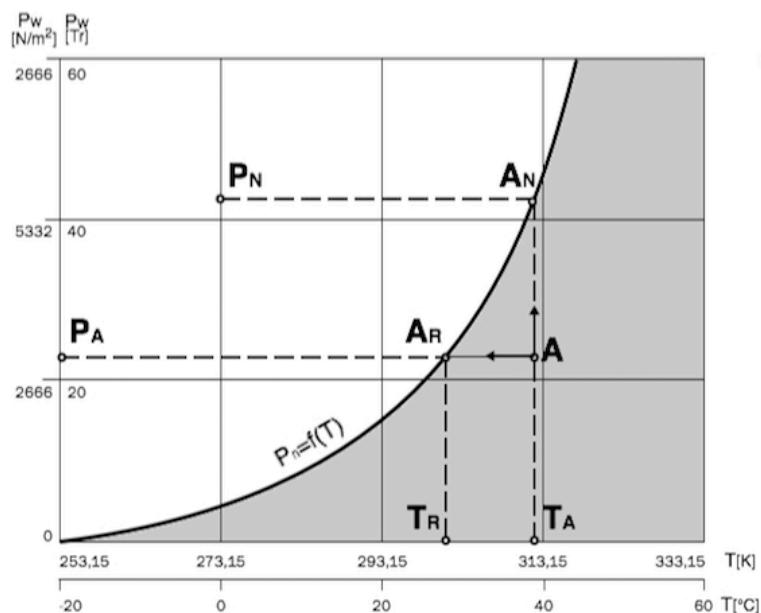
1.2. Wilgotność powietrza

W życiu codziennym często można zaobserwować zaparowane szyby, na których skrapla się woda, czy też rośliny pokryte szronem w mroźne dni. Te zjawiska spowodowane są przez parę wodną zawartą w powietrzu. Dostaje się ona do atmosfery poprzez parującą wodę z naturalnych i sztucznych zbiorników, a także jest wydalana przez organizmy żywne. Zachowanie pary wodnej jest odmienne od gazów występujących w powietrzu, gdyż potrafi ona zmieniać stany skupienia (zjawisko opadów atmosferycznych). Dlatego stwierdza się, że powietrze jest mieszaniną tzw. suchego powietrza i pary wod-

nej. Wilgotność powietrza zależy jest przede wszystkim od temperatury i przez to można określić jej stan nasycenia. Znajomość ilości pary wodnej jest ważne dla wielu dziedzin: botaniki, meteorologii, lotnictwa, elektroniki, czy też mechaniki itd. [4, 5].

1.2.1. Definicja

Suche powietrze jest gazem o ustalonym składzie chemicznym składającym się głównie z azotu, tlenu oraz w dużo mniejszych ilościach dwutlenku węgla i innych gazów. Wilgotne powietrze powstaje, gdy w skład tej mieszaniny dodatkowo wchodzi para wodna [4, 5].



Rysunek 1.3. Ciśnienie cząstkowe pary wodnej w zależności od temperatury (zaciemnione – obszar pary wodnej w stanie nasycenia)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Stan nasycenia pary wodnej w powietrzu uzależniony jest od dwóch parametrów: ciśnienia cząstkowego oraz temperatury. Poprzez zmniejszanie temperatury pary wodnej w stałym ciśnieniu, dociera się do tzw. punktu rosy (na wykresie A_R). Natomiast, jeśli nastąpi sytuacja odwrotna, czyli wzrost ciśnienia przy stałej temperaturze, osiągnięty zostanie tzw. punkt ciśnienia nasycenia (A_N). Są to miejsca, w których gaz znajduje się w stanie równowagi z cieczą. W momencie dalszego zmniejszania temperatury, czy też zwiększania ciśnienia, para wodna osiąga stan przesycenia i rozpoczyna się proces skraplania gazu. Zjawisko to można zaobserwować, na co dzień, jako mgłę, opad deszczu, czy też rosę [4].

Istnieje kilka sposobów określania ilości pary wodnej w powietrzu. Powiązane są one ze sobą poprzez podstawowe równania charakterystyczne gazu. Jedno z nich – prawo Daltona, opisuje równowagę ciśnienia mieszaniny oraz sumy ciśnień cząstko-

wych. Dodatkowo, określony związek między temperaturą, objętością i ciśnieniem gazu, pozwala zdefiniować różne określenia wilgotności powietrza, jako:

- *wilgotność względna* – stosunek ciśnienia cząstkowego do ciśnienia nasycenia pary wodnej w tej samej temperaturze, wyrażany procentowo,
- *wilgotność stosunkowa (wilgotność bezwzględna masowa)* – stosunek masy pary wodnej do masy powietrza suchego w tej samej objętości,
- *wilgotność absolutna (wilgotność bezwzględna objętościowa)* – masowa zawartość pary wodnej na jednostkę objętości gazu wilgotnego przedstawiana w g/m^3 ,
- *wilgotność właściwa* – stosunek masy pary wodnej do masy powietrza wilgotnego [4, 5].

1.2.2. Metody pomiaru

W historii badawcze podejście do pomiaru wilgotności powietrza zanotowano dopiero na przełomie XV i XVI w. Wielki uczyony Leonardo da Vinci stworzył pierwsze urządzenie, które wskazywało ilość pary wodnej zawartej w powietrzu. Przyrząd ten bazował na bawełnianej kuli, która吸收ując parę wodną zmieniała swoją masę. Materiał przyczepiony do wagi powodował odchylenie na skali wskazując wartość wilgotności powietrza. Opierając się na urządzeniu włoskiego wynalazcy, przez wiele lat uczeni nieskutecznie szukali idealnej substancji zmieniającej swoje właściwości pod wpływem wilgotnego powietrza. Rewolucyjnym przyrządem był zbudowany pod koniec XVIII w. higrometr włosowy. Jest on na tyle dobry, że znajduje zastosowanie w dzisiejszych czasach. Zasada jego działania opiera się na wiążce włókien, która zmienia swoją długość w zależności od wilgotności powietrza. Przyczepiony do wskaźnika wyznaczał na odpowiednio wyskalowanej podziałce ilość pary wodnej w otoczeniu. W higrometrach z tamtej epoki, głównym problemem był brak powtarzalności w pomiarach, które było powodowane przez zmiany własności higroskopijnych użytych materiałów z biegiem czasu. Z tego względu część badaczy zrezygnowała z myсли tworzenia higrometrów opierających się na substancjach zmieniających swoje właściwości wraz ze zmianą wilgotności powietrza. Powstały, zatem przyrządy takie jak psychrometr oraz higrometr kondensacyjny. Ten pierwszy wykorzystuje zjawisko obniżania się temperatury zwilżonej powierzchni w porównaniu do niezwilżonej w tych samych warunkach. Psychometr Augusta, zbudowany w 1828 r., był zbudowany z dwóch termometrów: suchego i mokrego. W momencie, gdy wilgotność względna powietrza była niższa niż 100%, woda z tkaniny termometru mokrego parowała i ochładzała go. Wykorzystując odpowiednie wzory oraz tablice psychrometryczne, badacz po odczytaniu wartości temperatur z obu termometrów był w stanie odczytać nie tylko wilgotność względną powietrza, ale także temperaturę punktu rosy i ciśnienie pary wodnej. Duży wpływ na poprawny odczyt z psychometru ma prędkość powietrza występująca wokół termometru mokrego. Dlatego też w 1886r. R. Assman skonstruował psychometr aspiracyjny, który w dzisiejszych czasach jest wykorzystywany przede wszystkim w pomiarach meteorologicznych. Dodatkowym ele-

mentem charakteryzującym to urządzenie, w porównaniu do poprzednika, jest wentylator zasysający powietrze do kanału, w którym znajduje się termometr suchy oraz mokry. W ten sposób pomiar odbywa się przy jednakowej i stałej prędkości powietrza, którą ustala się na około 2 m/s, minimalizując tym samym błąd pomiarowy [2, 4, 5].

Higrometr kondensacyjny, zwany także *higrometrem punktu rosy*, opiera swoje działanie na pomiarach temperatury punktu rosy. W konstrukcji tego przyrządu głównym elementem jest lustro, bądź też płytka metalowa o gładkiej strukturze. Podczas ochładzania powierzchni w pewnym momencie pojawia się rosa i z zamontowanych termometrów można odczytać temperaturę punktu rosy oraz otoczenia. Korzystając z odpowiednich wykresów wyznacza się wilgotność powietrza. W dzisiejszych czasach higrometr kondensacyjny jest udoskonalany poprzez dodawanie elementów elektronicznych. Najczęściej wilgotność powietrza jest odczytywana poprzez badanie rezystancji lub pojemności ciekłej warstwy powstającej na płytce, a także wykorzystując układ optyczny w postaci diody emitującej światło oraz detektorów np. światłoczułych tranzystorów [2, 4, 5].

1.3. Ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie jest jednym z podstawowych parametrów fizyki, przede wszystkim związanym z tematyką termodynamiki oraz mechaniki płynów. Wyróżnia się pomiary ciśnienia: tężniczego, atmosferycznego, płynów lub gazów w pewnym układzie fizycznym. Wszystkie one określają stosunek siły nacisku określonej substancji na daną powierzchnię do wielkości tej powierzchni. Specyficzny obszar, w której ciśnienie przybiera wartość zerową nazywa się próżnią absolutną [2, 6].

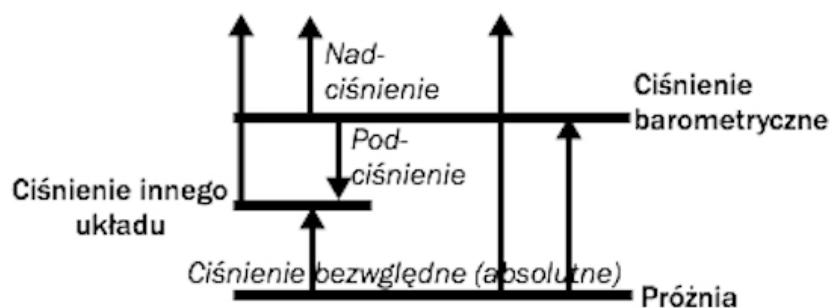
Ciśnienie ma duży wpływ na życie codzienne. Udowodniono, że zmiany wartości ciśnienia atmosferycznego oddziałują na stan psycho-fizyczny człowieka i mogą wywoływać senność, rozdrażnienie i trudności w koncentracji. W najwyższych partiach górskich na Ziemi, ludzie są zmuszeni do korzystania z butli ze sprężonym tlenem, gdyż niskie ciśnienie atmosferyczne występujące przykładowo w Himalajach powoduje rozrzedzenie powietrza do wartości powodujących omdlenia, a nawet śmierć. Równie groźne dla człowieka jest bardzo wysokie ciśnienie (np. na dużych głębokościach oceanicznych) jak i jego brak (próżnia w kosmosie). W celach zabezpieczenia pletwonurkowie ubierają skafander głębinowy, a astronauti skafander kosmiczny. Te ubiory zapewniają m.in. powietrze jak i odpowiednie ciśnienie [2, 6].

1.3.1. Definicja

Ciśnienie atmosferyczne określa siłę nacisku słupa powietrza na pole powierzchni Ziemi. Wartość jest wyrażana w pascalach, gdzie $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Ciśnienie na naszym globie zależne jest od wysokości położenia nad poziomem morza, szerokości geograficznej, fizycznego stanu atmosfery oraz przyciągania ziemskiego. Grawitacja powoduje, że cząsteczki powietrza są mocniej przytrzymywane przy powierzchni ziemi, dlatego

też wartość ciśnienia szybciej spada na większych wysokościach i wolniej na mniejszych. Na bazie wyliczonego średniego ciśnienia atmosferycznego panującego na Ziemi na poziomie morza wyznaczono jednostkę ciśnienia, tzw. atmosferę, gdzie $1 \text{ atm} = 1013,25 \text{ hPa}$ [2, 6].

W meteorologii analizowane są przede wszystkim różnice ciśnień. Są one jednym z czynników wywołujących wiatry. Dodatkowo znajomość wartości zmian ciśnienia na danym obszarze ułatwia przewidywanie zjawisk atmosferycznych m.in.: opadów deszczu, susz, huraganów. Ciśnienie atmosferyczne zależne jest także od temperatury. Im wyższa temperatura, tym bardziej cząsteczki w powietrzu oddalają się od siebie, co powoduje zmniejszenie ciśnienia. Analogicznie obniżając temperaturę cząsteczki zbliżają się do siebie, co minimalizuje ich prędkość względem siebie i zmniejsza ciśnienie [2, 6].



Rysunek 1.4. Ciśnienie bezwzględne, podciśnienie, nadciśnienie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [2]

Jak przedstawia powyższy rysunek, ciśnienie można odnosić do:

- próżni – wówczas nazywa się je *ciśnieniem bezwzględnym*, czy też *absolutnym*,
- ciśnienia atmosferycznego – wówczas pomiar określa się *ciśnieniem absolutnym atmosfery*, lub *ciśnieniem barometrycznym*,
- innego ciśnienia występującego w danym układzie fizycznym [2].

Dodatkowo, pomiar ciśnienia może odbywać się, jako ciśnienia absolutnego w stosunku do ciśnienia barometrycznego, określając je *nadciśnieniem* lub *podciśnieniem*, w zależności od tego, czy mierzone ciśnienie jest odpowiednio większe bądź mniejsze od ciśnienia barometrycznego [2].

Wyróżnia się również inne pojęcia ciśnienia, w zależności od stanu ruchu mierzonych czynników. Gdy badana substancja znajduje się w stanie spoczynku, jej ciśnienie określa się mianem *ciśnienia statycznego*. *Ciśnienie dynamiczne* określa ciśnienie czynnika znajdującego się w ruchu. Sumę tych obu ciśnień nazywa się *ciśnieniem całkowitym* [2, 6].

1.3.2. Metody pomiaru

Już w starożytnej Grecji, wielcy uczeni tamtych czasów podejrzewali, że powietrze posiada jakiś „ciężar”. Jednak nie potrafili tego dowieść, ze względu na brak pomysłu na konstrukcję urządzenia, które by potwierdziło lub zaprzeczyło tej koncepcji. Przez wiele wieków tylko kumulowały się kolejne tezy i antytezy wokół tematu ciśnienia atmosferycznego, aż do połowy XVII wieku, gdzie to włoski fizyk i matematyk E. Torricelli zbudował pierwowzór barometru rtęciowego. Jego doświadczenie opierało się na metrowej rurce wypełnionej tymże płynnym metalem zanurzonej denkiem do góry w zbiorniku z tą samą substancją [7].



Rysunek 1.5. Doświadczenie Torricellego

Źródło: [7]

Część rtęci w wyniku parcia wypłynęła ze szklanej próbówki. Eksperyment wykazał równowagę ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia atmosferycznego, gdyż poziom rtęci zatrzymał się na wartości 760 mm, co dziś jest określone, jako 1013 hPa, czy też 1 atm. W ramach uznania dla dokonań włoskiego uczonego, w przypadku barometrów rtęciowych stosuje się (w obecnych czasach już rzadziej) jednostkę ciśnienia – milimetr słupa rtęci (mm Hg) opisywaną również, jako tor (Tr). W kolejnych latach B. Pascal opierając się na konstrukcji Torricellego stwierdził, że puste miejsce, które zostało w próbówce jest próżnią. Była to bardzo odważna teza w tamtych czasach, gdyż większość uczonych całkowicie zaprzeczała „istnieniu niczego”. Kolejnym zjawiskiem, które zaobserwował Pascal, były zmiany wskazań na barometrze rtęciowym wraz ze zmianą wysokości położenia. Dzięki temu powstały pierwsze tezy określające czynniki wpływające na ciśnienie atmosferyczne, które pozwoliły ustalić zasadę działania oraz opracować skalę barometru [7].

Na konstrukcję czujnika do pomiaru ciśnienia atmosferycznego wpływ mają: ciśnienie odniesienia, wymagana dokładność, zakres zmienności ciśnienia oraz przewidywane warunki, w których wykonywane jest badanie. Wszystkie urządzenia dokonujące pomiaru ciśnienia można ogólnie nazwać *ciśnieniomierzami*, aczkolwiek

w zależności od ciśnienia odniesienia, można sprecyzować ich nazewnictwo, co przedstawiono w tabeli poniżej [6].

Tabela 1.1. Klasyfikacja ciśnieniomierzy ze względu na mierzone ciśnienie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2, 6]

| Nazwa urządzenia | Mierzone ciśnienie |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Ciśnieniomierz absolutny (barometr) | Bezwzględne (atmosferyczne) |
| Manometr | Nadciśnienie |
| Wakuometr | Podciśnienie |
| Manowakuometr | Nadciśnienie i podciśnienie |
| Ciśnieniomierz różnicowy | Różnica ciśnień |

Współcześnie częściej korzysta się z ciśnieniomierzy, których konstrukcja opiera się na elementach elektronicznych, wypierając tym samym przyrządy korzystające z cieczy manometrycznych (m.in.: rtęć, alkohol, woda), czy też z elementów mechanicznych. Do najbardziej popularnych należą: czujnik piezoelektryczny oraz czujnik indukcyjny. Budowa tego pierwszego opiera się na krysztale, który deformuje się proporcjonalnie do zmiany ciśnienia. Z jednej strony kwarca znajduje się membrana, na którą oddziałuje działanie ciśnienia, a z drugiej elektroda. W momencie nacisku na membranę, ta oddziałuje na kryształ, na którym pojawiają się ładunki elektryczne. Następnie elektroda rejestruje powstające zmiany napięcia odpowiednio przetwarzając na wynik wartości mierzonego ciśnienia. Czułość takiego czujnika zależy przede wszystkim od wykorzystanego kwarca, jak i jego wielkości [3].

Czujnik indukcyjny jest przeznaczony do pomiaru małych ciśnień gazu. Jego konstrukcja opiera się na zmianach wartości strumienia magnetycznego powstającego między wbudowanymi cewkami. Ciśnienie powietrza działające na membranę powoduje przesunięcie się namagnetyzowanego rdzenia, a ten wpływa na zmiany sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniami. Zmiany te są przetwarzane na napięcie, dzięki któremu można zarejestrować badane ciśnienie [3].

1.4. Położenie geograficzne

W obecnych czasach ludziom coraz częściej zdarza się korzystać z systemów lokalizacji położenia. Każdy zna obszar, w którym porusza się, na co dzień. Przykładowo idąc do ulubionego sklepu, pracy, szkoły itd., człowiek nie zastanawia się dokładnie nad własnym położeniem geograficznym, czy też lokalizacji celu, gdyż te informacje są już zapisane w jego mózgu. Niemniej jednak do czasu zakodowania tych danych w świadomości ludzkiej, uzyskuje się niezbędne informacje na temat danego położenia np.: pytając okolicznych mieszkańców, czytając tablice z nazwami ulic, korzystając z mapy, czy też urządzeń GPS [12].

System GPS (ang. *Global Positioning System*) jest jednym z największych osiągnięć XX wieku. Służy on do wyznaczania położenia obiektów na powierzchni Ziemi oraz w jej otoczeniu. Początkowo został stworzony dla wojska amerykańskiego w celu uzyskiwania dokładniejszych informacji na temat lokalizacji obcych oddziałów, baz itp. Z czasem system ten został udostępniony publicznie umożliwiając znajomość danych nie tylko o położeniu geograficznym, ale także bardzo dokładny czas, datę i prędkość poruszania się, tworząc tym samym globalny system nawigacyjny [11, 12].

1.4.1. Definicja

Położenie geograficzne jest matematycznym określeniem lokalizacji obiektu poprzez współrzędne geograficzne długość oraz szerokość geograficzną. W celu ułatwienia określenia położenia geograficznego, na mapach nakreślono tzw. *południki* oraz *równoleżniki* wyrażane miarą stopniową. Te pierwsze, rozciągające się od bieguna północnego do bieguna południowego Ziemi określając długość geograficzną. Natomiast równoleżniki są prostopadłe do południków i opisują szerokość geograficzną. Razem tworzą one tak zwaną *siatkę geograficzną*. Na jej podstawie można określić położenie geograficzne. Płaszczyzna danego punktu na powierzchni Ziemi, tworzy kąt z płaszczyzną odniesienia. Dla długości geograficznej, odniesieniem jest *południk zerowy* (określany też, jako *południk 0°*), który przechodzi przez obserwatorium astronomiczne w miejscowości Greenwich w Anglii. Na zachód od *południka 0°* liczy się długość dodatnią, zaś na wschód długość ujemną. Do określania szerokości geograficznej przyjęto, jako płaszczyznę odniesienia tzw. *równik* (*równoleżnik 0°*), który przechodzi przez środek masy Ziemi. Każdy równoleżnik rozciągający się na północ od równika opisuje szerokość geograficzną północną. Analogicznie, na południe od równoleżnika 0° wyznacza się szerokość geograficzną południową [8].

Położenie geograficzne mierzy się w stopniach ($^{\circ}$), lecz aby dokładniej określić lokalizację punktu stosuje się dalszy podział oparty na systemie sześćdziesiętnym na tzw. *minuty geograficzne* ('') oraz *sekundy geograficzne* ('''), gdzie $1^{\circ} = 60'$, a $1' = 60''$. Po wartościach liczbowych wyznaczających położenie dopisuje się litery, określające półkule długości i szerokości geograficznej Ziemi. Znaki są pierwszymi literami odpowiednich kierunków geograficznych w języku angielskim:

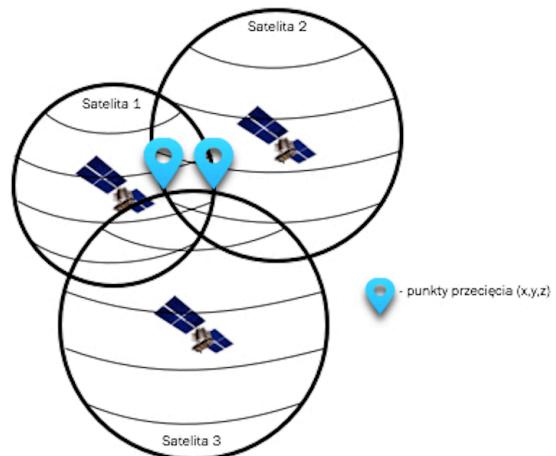
- N – północ (ang. *north*), opisuje szerokość geograficzną północną,
- S – południe (ang. *south*), opisuje szerokość geograficzną południową,
- W – zachód (ang. *west*), opisuje długość geograficzną zachodnią,
- E – wschód (ang. *east*), opisuje długość geograficzną wschodnią [8].

1.4.2. Metody pomiaru

Naturą ludzkości jest poszerzanie horyzontów, stawianie i przekraczanie nowych granic. Wszystko to po to, aby powiększać swoje możliwości i wiedzę przyczyniając się tym samym do rozwoju cywilizacji. Początkowo były to obce osady, potem kraje, kontynenty,

aż w dzisiejszych czasach kosmos. Dzięki temu parciu w nieznane powstawały urządzenia i pojazdy ułatwiające podróż, m.in.: statki, samoloty, promy kosmiczne, czy też satelity. Podstawą do jakichkolwiek ekspedycji jest znajomość położenia geograficznego, która jest przydatna przede wszystkim w nawigacji. Człowiek, w początkach swojego istnienia, usiłując dotrzeć do wybranego celu zbierał informacje o lokalizacji tylko z napotkanych charakterystycznych obiektów na powierzchni Ziemi, tj.: góry, drzewa, głazy, akweny wodne. Zapamiętując te dane powiększał swój obszar poruszania się idąc coraz dalej. W pewnym momencie, przez ograniczoną pamięć mózgu, zaczęto zapisywać informacje o położeniu różnych punktów, tworząc w ten sposób pierwsze mapy. Z doświadczeń różnych ludzi poszerzano wiedzę o otaczających obszarach, tym samym zwiększając ilość zapisanych danych. Zaczęto poznawać tereny obcych regionów, państw, a nawet kontynentów. Z czasem powstały pierwsze teorie nawigacyjne oparte na obserwacjach ciał niebieskich, dając początek nauce zwanej astronawigacją. Powstały pierwsze urządzenia wspomagające nawigację astronomiczną, tj. astrolabium i sekstant. Dzięki nim ustalano dokładny bieżący czas oraz opierając się na ruchu planet i gwiazd w dużej mierze ułatwiało podróże dalekomorskie przyczyniając się do odkrycia innych kontynentów [9, 10].

Przez wiele stuleci metody określania położenia geograficznego opierały się na aktualizowanych mapach i urządzeniach t.j.: kompasy, astrolabia, sekstanty. Rewolucja przyszła w XX w., gdzie rozwijano pomysł pomiaru położenia geograficznego z wykorzystaniem satelitów. Pod koniec tego stulecia powstał w pełni rozwinięty system GPS (ang. Global Positioning System). Działanie GPS nie opiera się na pomiarach częstotliwości dopplerowskich (tak jak to robiły poprzedzające wersje systemów nawigacji satelitarnej, np. Transit) a na precyzyjnej synchronizacji czasowej z satelitami okołoziemskimi. Odbiornik GPS mierzy czas przebiegu sygnału nadanego przez sondę do anteny odbiornika i w ten sposób wyznacza położenie satelity w momencie nadania sygnału. Obliczona odległość równa jest promieniowi sfery, której środkiem jest miejsce, w której znajdował się satelita w chwili wysłania wiadomości.



Rysunek 1.6. Zmierzenie odległości od trzech satelitów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [12]

Jak przedstawia powyższy rysunek, zmierzenie odległości od trzech satelitów pozwala wyznaczyć dwa punkty, które mogą określić lokalizację odbiornika. Jeżeli zegar odbiornika działa poprawnie, można uzyskać wiadomość położenia w pewnym przybliżeniu, dzięki czemu eliminuje się jeden z wyznaczonych punktów, uznając go za zbyt odległy. W przypadku braku poprawnej dokładności zegara w urządzeniu, potrzebny jest sygnał z czwartego satelity, który podaje błąd czasu odbiornika. Reasumując, aby wyznaczyć lokalizację anteny odbiornika GPS, potrzebny jest sygnał z co najmniej trzech satelitów, wtenczas można określić dwie współrzędne położenia (x, y) lub w przypadku, gdy zegar odbiornika działa poprawnie trzy współrzędne położenia (x, y, z), ale zaleca się uzyskać połączenie z co najmniej czterema satelitami, minimalizując tym samym błąd otrzymanych informacji (x, y, z, t).

ROZDZIAŁ 2

Projekt budowy systemu do pomiarów parametrów pogodowych

Pomysł na mobilne urządzenie monitorujące warunki atmosferyczne powstał z własnej potrzeby znajomości tych parametrów w przypadku hobbystycznego wędkowania. Ułatwia to obserwacje zachowania ryb nad wodą i tym samym pozwala lepiej przygotować się w odniesieniu do panującej pogody. System może znaleźć zastosowanie także w innych sytuacjach m.in.: turystyce górskiej, przy chęci monitorowania zmian pogody w otoczeniu, przy pracach w ogrodnictwie, czy też w rolnictwie.

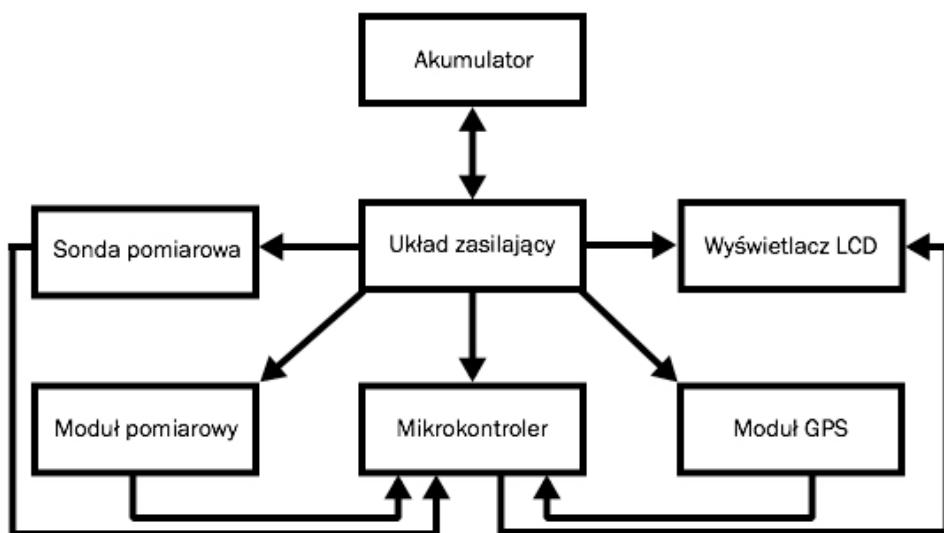
2.1. Założenia projektowe

Praca zakłada zbudowanie systemu, który ma informować użytkownika o aktualnym położeniu geograficznym, temperaturze otoczenia, temperaturze wody, ciśnieniu atmosferycznym oraz wilgotności powietrza. Wodoszczelność oraz odporność na wstrząsy urządzenia ma zapewniać możliwość korzystania z niego w warunkach ekstremalnych. Wszystkie wykorzystane moduły oraz elementy połączono na jednej płycie PCB zapewniając optymalne ułożenie w obudowie.

Pierwszy etap budowy urządzenia zakładał odpowiedni dobór elementów i modułów elektronicznych, zaprojektowanie schematu elektrycznego układu oraz zakup wodoszczelnej obudowy, a w następnej kolejności budowę prototypów poszczególnych fragmentów systemu, mając na uwadze ich rozmieszczenie w osłonie. Postępowanie takie umożliwiało eliminowanie wszelkich błędów przed konstrukcją ostatecznej wersji płytki PCB. Następna faza pracy przewiduje zaprojektowanie i wykonanie odpowiednio usytuowanych otworów w obudowie tak, aby uzyskać optymalne i stabilne ułożenie płytki PCB z elementami elektronicznymi. Ze względu na różne wielkości użytych modułów i elementów elektronicznych oraz ograniczone wymiary obudowy, etap projektowania i budowy ostatecznej wersji płytki PCB wykonywano równocześnie z fazą modyfikowania obudowy. Część programistyczną początkowo wykonyano na płytce prototypowej, aby następnie zgrać sprawdzony i poprawnie działający program do systemu. W celu zapewnienia wodoszczelności urządzenia, w ostatnim etapie naklejono odpowiednią folię na froncie obudowy oraz pokryto poszczególne elementy płynnym akrylem.

2.2. Elementy projektowanego układu

Przy doborze elementów do konstrukcji urządzenia kierowano się głównie rozmieszczeniem ich w obudowie, zachowaniem wodoszczelności oraz uproszczeniem późniejszego programowania. Niespodziewanie dużą trudność spowodował mały wybór mobilnych obudów wodoszczelnych na rynku. Utrudniało to dodatkowo dobór elementów elektronicznych, gdyż trzeba było mieć na uwadze ich odpowiednie rozmieszczenie w trzech wymiarach. Zaletą wszystkich wybranych modułów jest to, że mogą pracować na tym samym napięciu zasilania wynoszącym 3,3 V. Umieszczony poniżej rysunek 2.1 przedstawia schemat blokowy urządzenia:



Rysunek 2.1. Schemat blokowy systemu

Źródło: Opracowanie własne

Projekt schematu elektrycznego wykonano w programie Eagle. W schemacie nie uwzględniono dodatkowo wykonanych płyt PCB: dla koszyczka do akumulatora litowo-jonowego oraz dla diod sygnalizacyjnych o stanie naładowania ogniw, które znajdują się tuż pod powierzchnią obudowy. Pełny rysunek schematu elektrycznego dodano w załączniku A, a jego poszczególne fragmenty wyróżniono w odpowiednich podrozdziałach.

2.2.1. Elementy pomiarowe

Urządzenie skonstruowano tak, aby dokonywać pomiarów wybranych parametrów atmosferycznych, czyli: temperatury otoczenia, wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego. Do tego celu wykorzystano gotowy moduł firmy Adafruit zbudowany na czujniku Bosch BME280. Zdecydowano się na ten element, gdyż umożliwia on jednocześnie dokonywanie pomiarów wyżej wymienionych parametrów przy pomocy jednego czujnika. Moduł zapewnia zakres dokonywanych pomiarów:

- temperatura: od -40°C do 85°C z dokładnością $\pm 1^{\circ}\text{C}$,
- ciśnienie: od 300 hPa do 1100 hPa z dokładnością ± 1 hPa,
- wilgotność (względna): od 10% do 80% z dokładnością $\pm 3\%$.

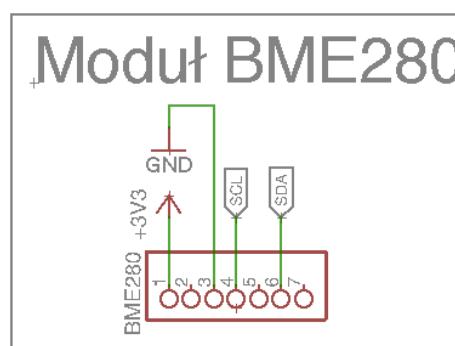
Wodoszczelna obudowa uniemożliwia pomiar parametrów pogodowych, dlatego bezpośrednio na czujniku BME280 zamontowano odpowiednio dopasowaną plastikową tulejkę, z drugiej strony zabezpieczając ją zatyczką. W momencie dokonywania pomiaru należy zdjąć zaślepkę, lecz wówczas urządzenie traci swoje właściwości wodooporne. Poniższy rysunek przedstawia opisany element.



Rysunek 2.2. Moduł BME280 do pomiarów parametrów pogodowych

Źródło: Opracowanie własne

Moduł BME280 połączono z mikrokontrolerem poprzez linię magistrali I²C. Rezygnując z możliwości wykorzystania interfejsu SPI tym samym zmniejszono liczbę wymaganych połączeń. Zasilanie czujnika jest możliwe w zakresie 3÷5 V. Poniższy rysunek ukazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający połączenie opisywanego modułu.



Rysunek 2.3. Połączenie modułu do pomiaru warunków pogodowych z resztą układu

Źródło: Opracowanie własne

Poprzez dołączoną wodoszczelną sondę można dodatkowo dokonać pomiaru temperatury np. wody, czy też gleby. Sensor jest oparty na popularnym termometrze cyfrowym DS18B20 firmy Dallas Semiconductor. Jest to czujnik, który zapewnia pomiar w zakresie od -55°C do 125°C . Jego dokładność wynosi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie od

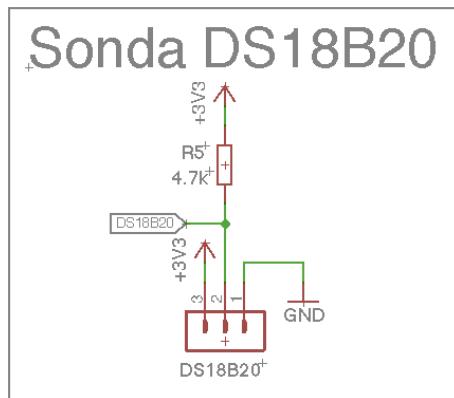
-10 °C do 85 °C. Aby dokonać pomiaru, należy sondę podłączyć poprzez wodoszczelne złącze do urządzenia. Poniższy rysunek 2.4 przedstawia opisany element.



Rysunek 2.4. Sonda DS18B20 do pomiaru temperatury

Źródło: Opracowanie własne

Sonda wyposażona jest w interfejs komunikacyjny 1-wire, co minimalizuje liczbę potrzebnych połączeń. Czujnik pracuje na napięciu zasilania w zakresie 3÷5 V. Poniższy rysunek ukazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający połączenie opisywanej sondy.

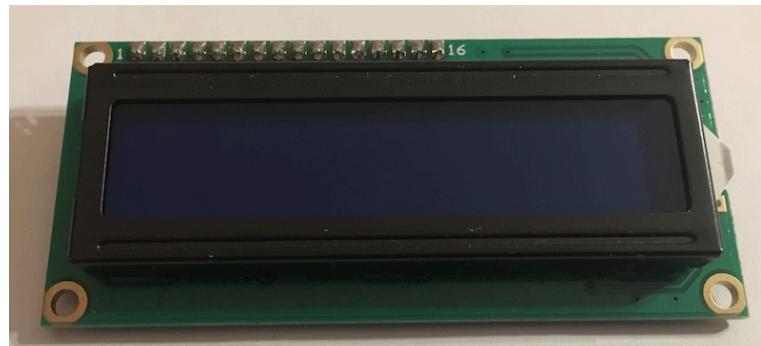


Rysunek 2.5. Połączenie sondy do pomiaru temperatury z resztą układu

Źródło: Opracowanie własne

2.2.2 Wyświetlacz

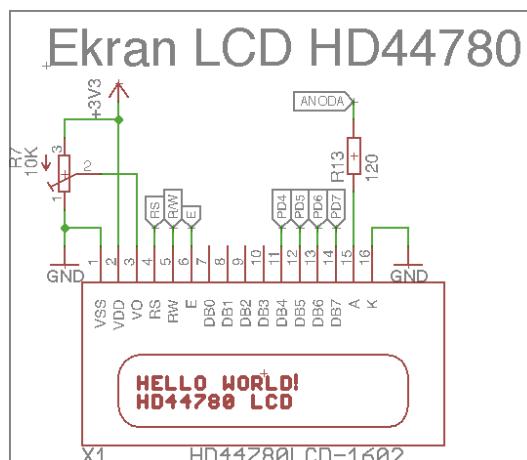
W urządzeniu wykorzystano alfanumeryczny wyświetlacz LCD oparty na popularnym sterowniku HD44780. Ekran zawiera 2x16 znaków. Poniżej na rysunku 2.6 przedstawiono opisany ekran.



Rysunek 2.6. Alfanumeryczny wyświetlacz LCD

Źródło: Opracowanie własne

Wyjście anody podłączono do mikrokontrolera, tak aby była możliwość programowego sterowania podświetleniem. Poniższy rysunek ukazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający połączenie opisywanego ekranu.



Rysunek 2.7. Połączenie alfanumerycznego wyświetlacza LCD z resztą układu

Źródło: Opracowanie własne

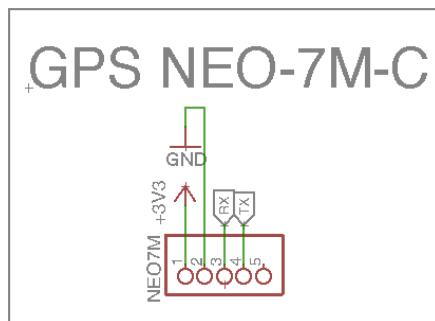
2.2.3 Układ GPS

Aby uzyskiwać informacje o lokalizacji wykorzystano moduł GPS kompatybilny z wersją firmy u-Blox model Neo-7M-C (rysunek 2.8). Zaletą tego układu jest korzystanie dodatkowo z systemu Glonass. Moduł zawiera wbudowaną ceramiczną antenę o czułości -162 dBm , co zmniejsza wymagane modyfikacje obudowy dla ewentualnej anteny zewnętrznej. Dzięki korzystaniu z modułu GPS/Glonass użytkownik może uzyskać informacje m.in.: o swoim *położeniu* (z dokładnością do 2,5 m), *wysokości* – na jakiej się znajduje, *prędkości* – z jaką się porusza, a dodatkowo aktualną godzinę oraz datę.



Rysunek 2.8. Moduł GPS: po lewej – widok modułu z góry, po prawej – widok modułu z dołu
 Źródło: Opracowanie własne

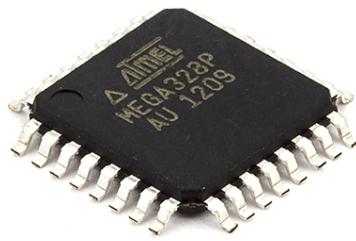
Informacje są przekazywane do mikrokontrolera poprzez interfejs UART. Układ może być zasilany napięciem od 3,3 V do 5,5 V. Poniższy rysunek 2.9 ukazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający połączenie opisywanego modułu.



Rysunek 2.9. Połączenie modułu GPS z resztą układu
 Źródło: Opracowanie własne.

2.2.4 Mikrokontroler

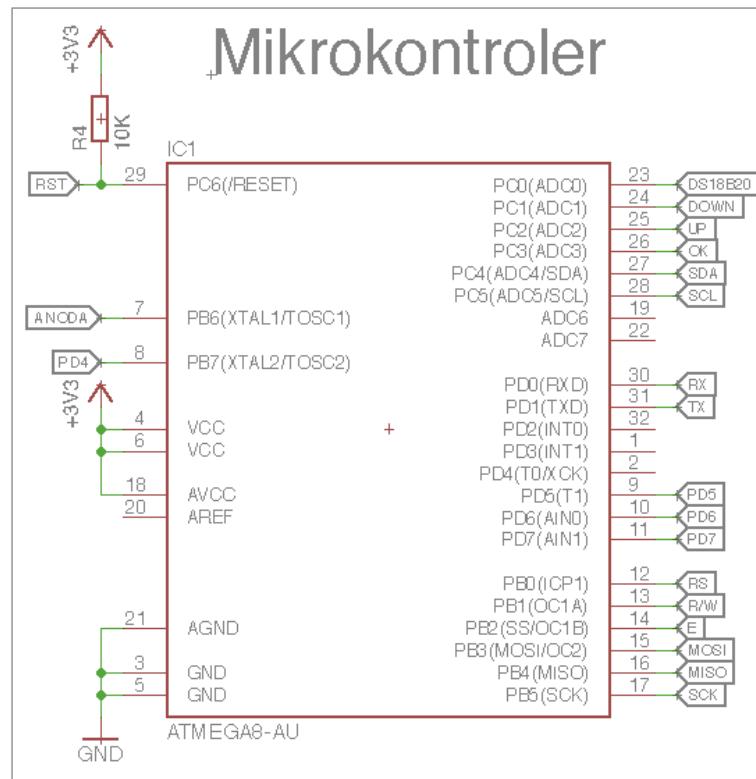
W pierwszej kolejności założono użycie mikrokontrolera ATmega8 firmy Atmel, jako że autor pracy miał już doświadczenie z tymi modułami. Liczba wyjść i wejść zapewniana przez wybrany mikrokontroler wystarczała to podłączenia wszystkich wykorzystanych elementów elektronicznych, aczkolwiek podczas programowania napotkano problem z niewystarczającą ilością pamięci flash. W celu zaradzenia trudnościom zdecydowano się na wymianę wcześniejszej wybranego mikrokontrolera na ATmega328P tej samej firmy. Konstrukcja modułu nie wymagała zmian w podłączeniu reszty części elektronicznych, ani w programowaniu zwiększając tym samym pamięć flash z 8 kB na 32 kB. Wybrano obudowę typu SMD 32TQFP, aby zminimalizować zajmowany obszar przez mikrokontroler w urządzeniu. Poniższy rysunek 2.10 przedstawia wykorzystany element.



Rysunek 2.10. Mikrokontroler ATmega328P w obudowie 32TQFP

Źródło: [13]

Poniższy rysunek 2.11 pokazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający połączenie mikrokontrolera. Filtrację zasilania mikrokontrolera uwzględniono w fragmencie schematu przedstawiającym układ zasilania.



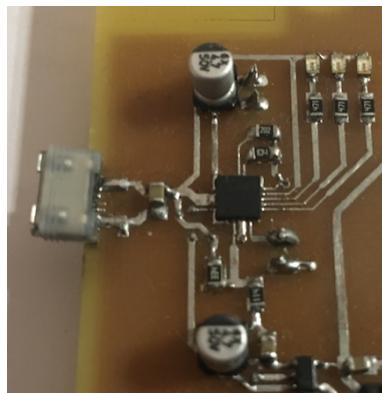
Rysunek 2.11. Połączenie mikrokontrolera z resztą układu

Źródło: Opracowanie własne

2.2.5. Zasilanie układu

Zasilanie systemu wzoruje się na współczesnych układach zasilania wykorzystywanych w urządzeniach mobilnych jak smartfony lub tablety. Do tego celu wykorzystano, jako wejście złącze micro USB typu AB oraz skonstruowano układ tak, aby była możliwość korzystania z urządzenia podczas jego ładowania, bez narażania akumulatora na ciąg-

głe ładowanie i rozładowywanie, co skracałoby jego żywotność. Takie działanie zapewnia użyty moduł firmy Microchip model MCP73871. Jest to układ scalony specjalnie skonstruowany do ładowania akumulatora litowo-jonowego o napięciu ładowania 4,2 V. Układ ładowania wyposażono w trzy diody: czerwoną, żółtą i zieloną, informujące kolejno o: podłączeniu poprawnego źródła ładowania, o tym, że akumulator jest w trakcie ładowania oraz o końcu ładowania. Dodatkowo dołączono zabezpieczenie przed ładowaniem w nieodpowiedniej temperaturze w postaci termorezystora o wartości $10\text{ k}\Omega$. Prąd ładowania ustawiono na wartość 500 mA. Rysunek 2.12 przedstawia skonstruowany układ zasilający z wykorzystanym modułem MCP73871.



Rysunek 2.12. Układ zasilający oparty na module MCP73871

Źródło: Opracowanie własne

Zasilanie jest możliwe z dwóch źródeł: poprzez złącze mikro USB typu AB i zamontowany akumulator litowo-jonowy. Wykorzystano ogniwko NCR18650 o pojemności 3400 mAh i napięciu 3,7 V. Rysunek 2.13 przedstawia opisany akumulator.

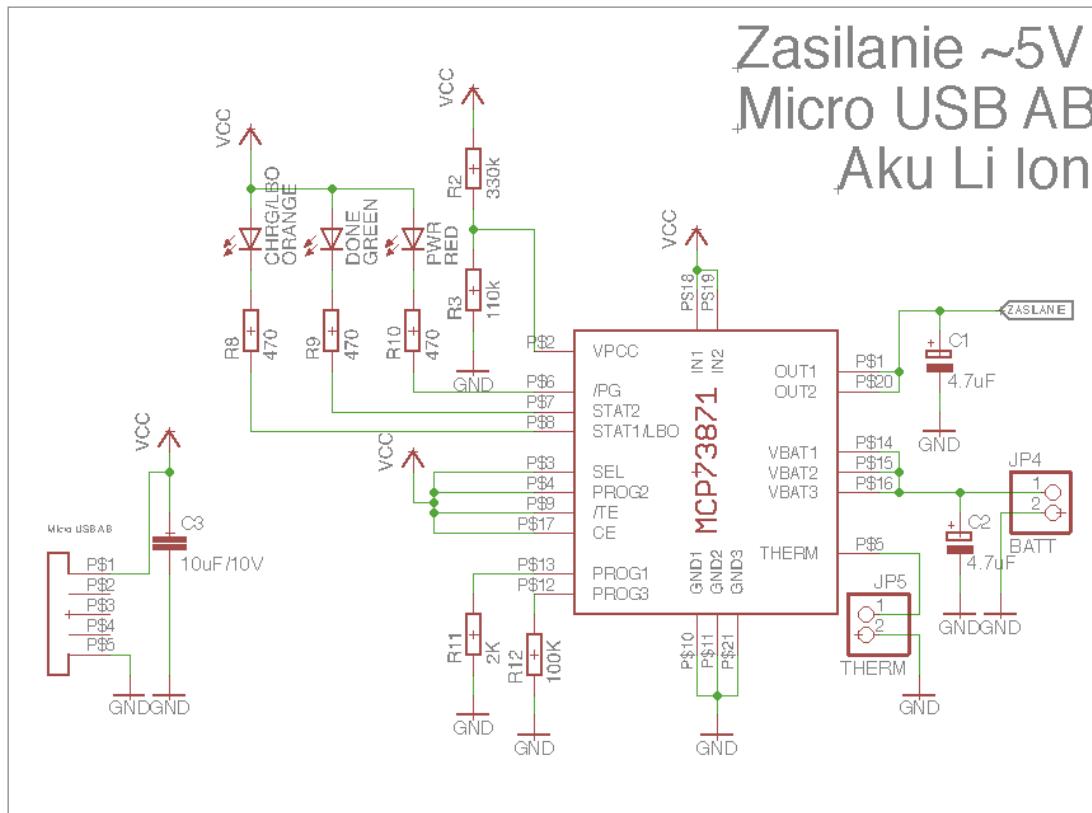


Rysunek 2.13. Akumulator litowo-jonowy

Źródło: Opracowanie własne

Akumulator ze względu na swoje rozmiary został umieszczony na osobnej płytce PCB, gdyż całe urządzenie na jednej płytce nie zmieściłoby się w obudowie. Rysunek 2.14 pokazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający układ zasilający. Wyjście opisane, jako BATT jest podłączone do użytego akumulatora, a wyjście THERM jest podłączone do termorezystora.

Zasilanie ~5V Micro USB AB Aku Li Ion

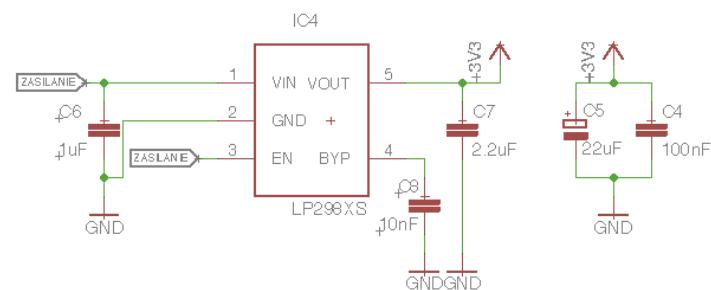


Rysunek 2.14. Układ zasilający

Źródło: Opracowanie własne

Aby uzyskać stałe napięcie 3,3 V użyto odpowiedniego stabilizatora napięcia LP2985 firmy Texas Instrument w obudowie SOT23. Dodatkowo, aby wyeliminować zbędne zakłócenia na mikrokontrolerze, zaprojektowano filtrację zasilania dochodzącego do tego elementu. Rysunek 2.15 ukazuje fragment schematu elektrycznego przedstawiający opisany układ.

Zasilanie 3.3V i filtracja na uC

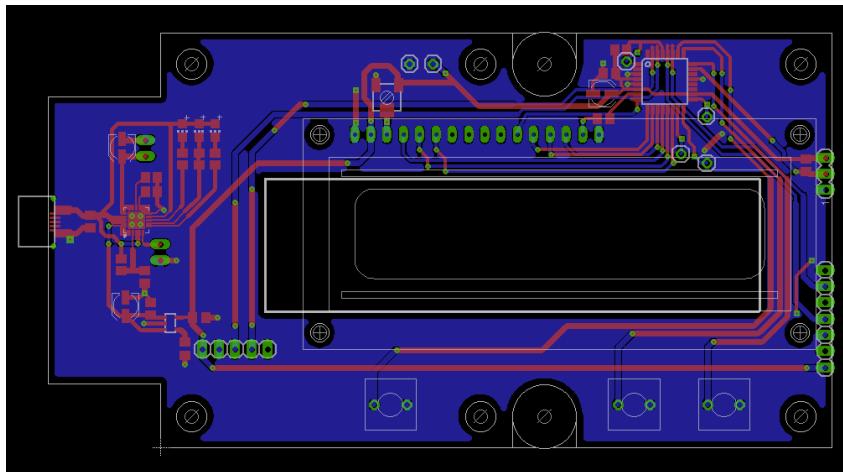


Rysunek 2.15. Stabilizowanie oraz filtracja napięcia

Źródło: opracowanie własne

2.3. Projekt płytki PCB

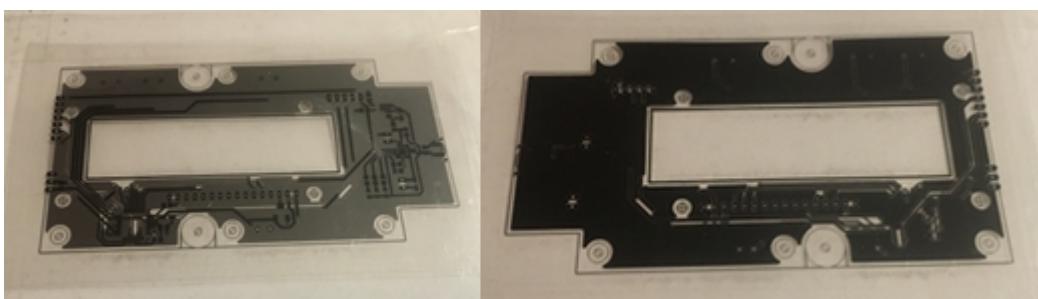
Po wykonaniu schematu elektrycznego zaprojektowano płytę PCB również w programie Eagle. Ze względu na ilość wykorzystanych elementów oraz konstrukcję obudowy, w której miała być umiejscowiona płytka. Zdecydowano się na projekt dwustronnej płytki PCB. Brak elementów t.j. złącze mikro USB oraz przyciski dwu wyprowadzeniowe w bibliotece programu zmusiło do stworzenia od podstaw danych części korzystając z udostępnionych opcji. Rysunek 2.16 przedstawia projekt płytki PCB wykonyany w programie Eagle.



Rysunek 2.16. Projekt płytki PCB

Źródło: opracowanie własne

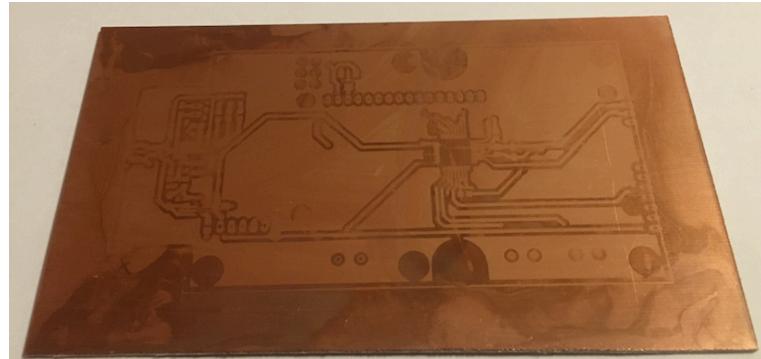
Ze względu na zaprojektowanie małych ścieżek i wykorzystanie małych elementów zdecydowano się na wykonanie płytki metodą fotochemiczną. Użyty sposób polega na wydrukowaniu osobno każdej z warstw wcześniej wykonanego projektu na odpowiedniej przeźroczystej folii do druku oraz dokładne sklejenie ich tak, aby była możliwość ułożenia światłoczułego laminatu do utworzonej „koperty”, którą przedstawia rysunek 2.17.



Rysunek 2.17. Odpowiednio złączone warstwy projektu płytki PCB naniesione na folię do druku: po lewej – warstwa TOP, po prawej – warstwa BOTTOM

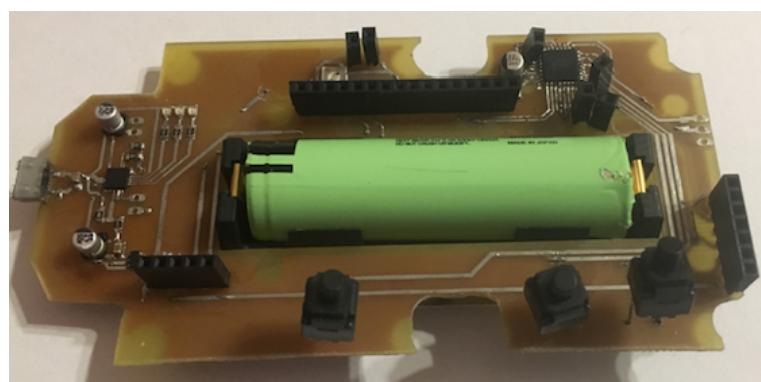
Źródło: opracowanie własne

W następnej kolejności, utworzoną kopertę z światłoczułym laminatem umieszczono w naświetlarce, która emittuje światło z zakresu UV. Poprawnie naświetloną płytę PCB następnie umieszczono na parę minut w roztworze chemicznym powodującym wywoływanie naświetlonych rysunków. Ze względu na słabszą jakość użytego sprzętu oraz materiałów, aby uzyskać satysfakcjonujący rezultat wykonano wiele prób opisanego etapu. Poniższa fotografia przedstawia jeden z nieudanych prototypów w opisany etapie.

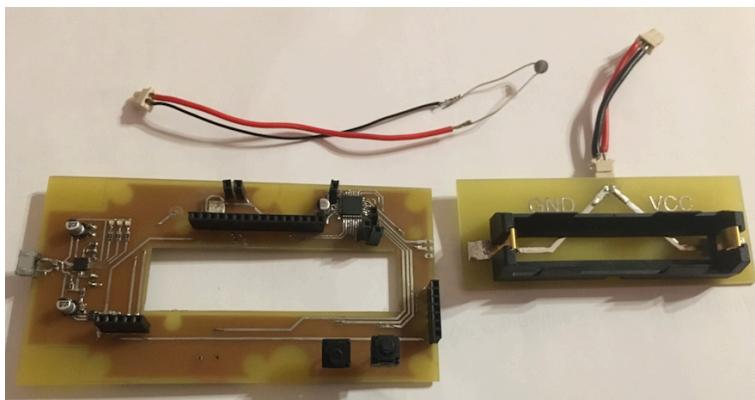


Rysunek 2.18. Płytkę PCB prototypowa po nieudanym etapie naświetlania i wywoływania
Źródło: opracowanie własne

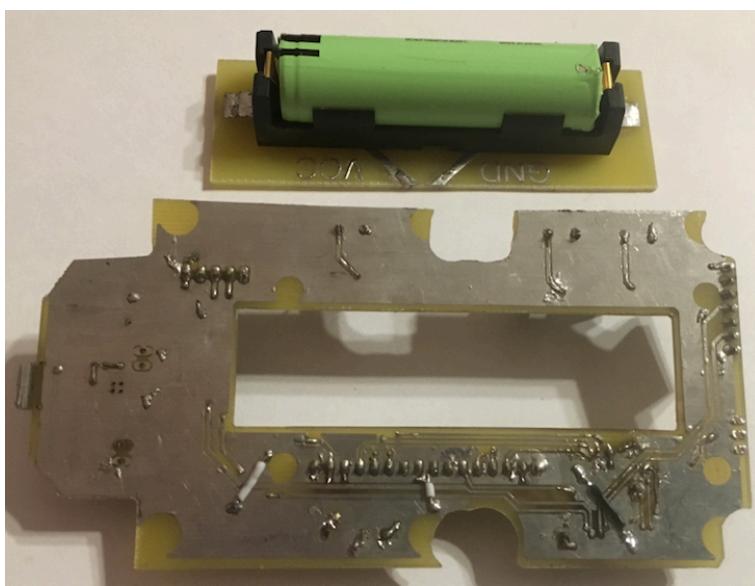
Następnie płytę zanurzono w wytrawiaczu (kwas azotowy), który po paru minutach spowodował usunięcie z laminatu warstwy miedzi w miejscach, gdzie nie był nadesiony rysunek. Wyczyszczoną i osuszoną płytę PCB ocynowano oraz przylutowano do niej w odpowiednich miejscach poszczególne elementy. Płytkę PCB powinno się przyciąć do założonych rozmiarów, korzystając ze specjalnej gilotyny, przed etapem cynowania. Ze względu na opóźnienia w dostawie obudowy ten etap wykonano na końcu. Efekt finalny wykonanej płytki PCB przedstawiono na rysunkach 2.19÷2.21.



Rysunek 2.19. Finalna wersja płytki PCB wraz z umiejscowionym akumulatorem – warstwa
górna
Źródło: opracowanie własne



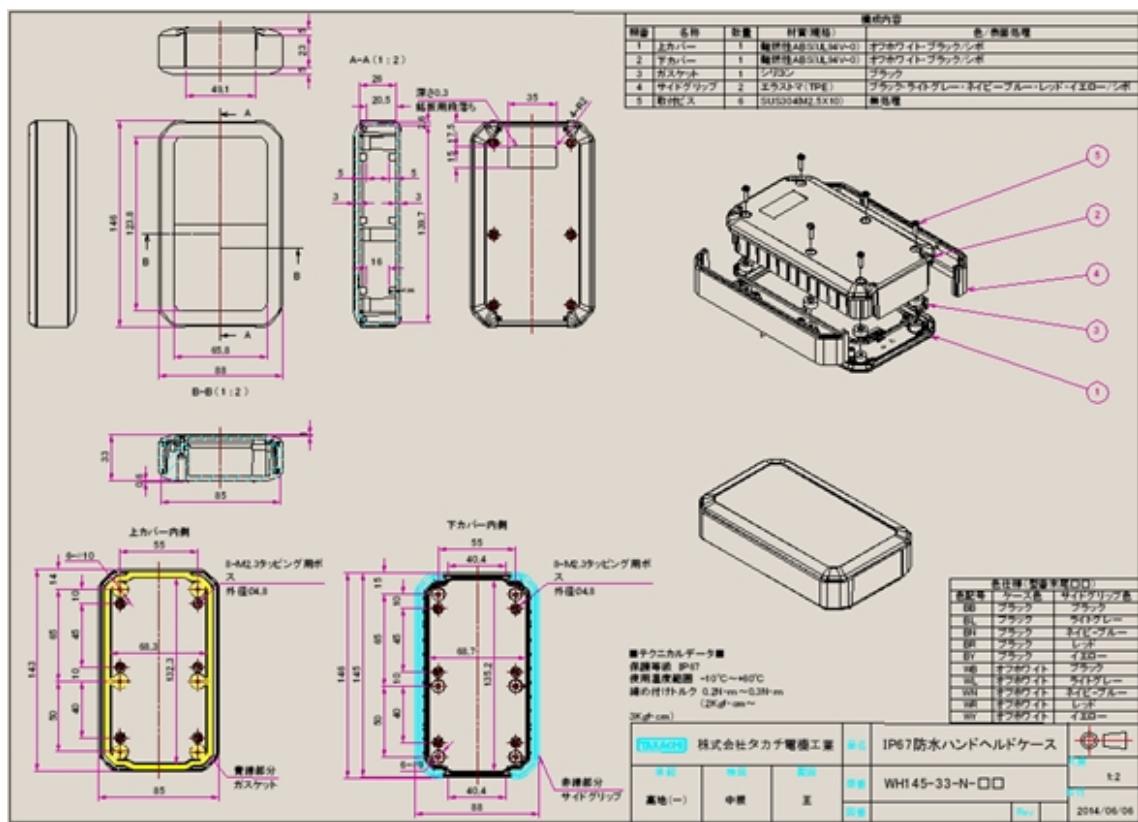
Rysunek 2.20. Finalna wersja płytki PCB – warstwa dolna, oraz płytka z akumulatorem
Źródło: opracowanie własne



Rysunek 2.21. Płytki PCB przed etapem docinania, płytka z koszyczkiem na akumulator
oraz termorezystor
Źródło: opracowanie własne

2.4. Projekt obudowy

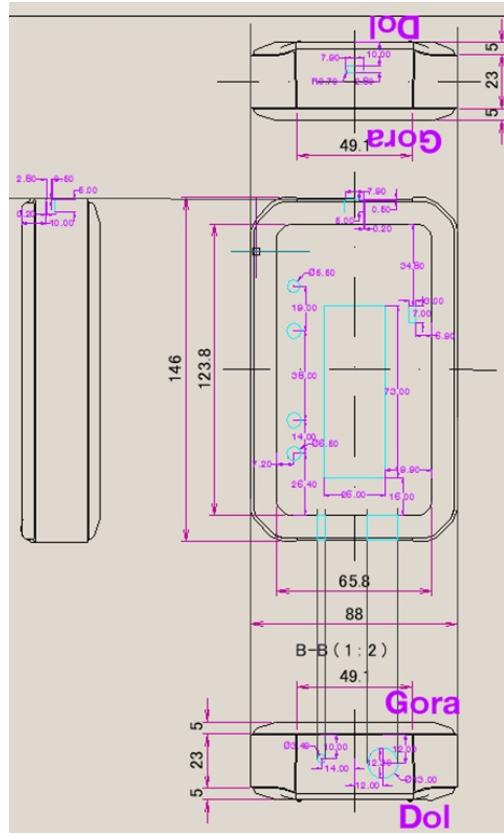
Dobór odpowiedniej obudowy był uzależniony przede wszystkim od tego, czy spełnia wymogi wodoszczelności oraz od jego rozmiarów. Ostatecznie zdecydowano się na obudowę firmy TAKACHI Electronics Enclosure model WH 145-33-N-BL. Według zapewnień producenta, produkt spełnia warunki wodoszczelności zgodne ze stopniem ochrony IP67. Gwarantuje on pyłoszczelność oraz ochronę przed skutkami krótkotrwałego zanurzenia w wodzie na głębokości 1 m. Dodatkowo zamontowane gumowe boczne osłony amortyzują uderzenia. Poniższa ilustracja przedstawia rysunek techniczny wybranej obudowy udostępnione przez firmę TAKACHI.



Rysunek 2.22. Rysunek techniczny obudowy

Źródło: na podstawie [14]

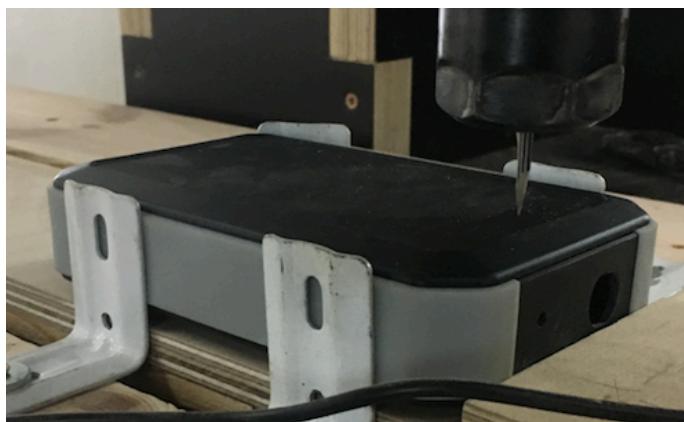
W programie AutoCAD 2014 zaprojektowano otwory dla elementów t.j.: alfanumeryczny wyświetlacz LCD, przyciski, złącze mikro USB, złącze sondy, element pomiarowy parametrów pogodowych na module firmy Adafruit, diody sygnalizacyjne. Dużym utrudnieniem okazało się odpowiednie rozmieszczenie płytki PCB z zamontowanymi elementami oraz wymiarowanie odpowiednich modyfikacji w obudowie. Napotykane problemy zmuszały do jednoczesnego projektowania płytki PCB oraz obudowy, aby zminimalizować poniesione koszty związane z ewentualnymi poprawkami. Rysunek 2.23 przedstawia dokumentację urządzenia z naniesionymi modyfikacjami zaznaczonymi kolorem czerwonym.



Rysunek 2.23. Rysunek techniczny obudowy z naniesionymi modyfikacjami

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14]

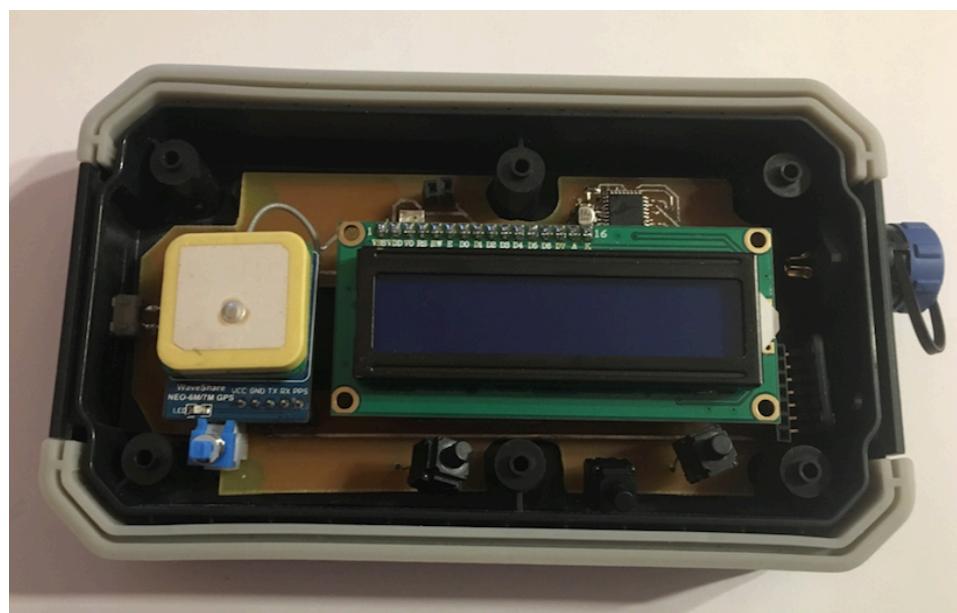
Ze względu na wysokie wyceny frezowania przez firmy profesjonalne, autor skorzystał z możliwości wykonania modyfikacji na amatorsko wybudowanej frezarce CNC, czego powodem były nieznaczne niedokładności, dlatego autor nie może zapewnić klasy szczelności swojego urządzenia stopniem ochrony IP67. Etap frezowania przedstawiono na rysunku 2.24.



Rysunek 2.24. Etap frezowania frontu obudowy

Źródło: opracowanie własne

Rysunki 2.25 oraz 2.26 ukazują złożone urządzenie (bez frontu foliowego).



Rysunek 2.25. Złożone urządzenie bez pokrywy obudowy

Źródło: opracowanie własne



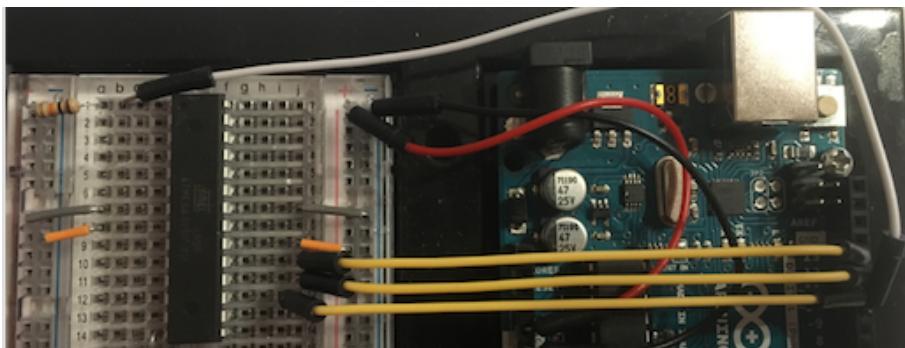
Rysunek 2.26. Złożone urządzenie bez frontu foliowego

Źródło: opracowanie własne

ROZDZIAŁ 3

Oprogramowanie systemu

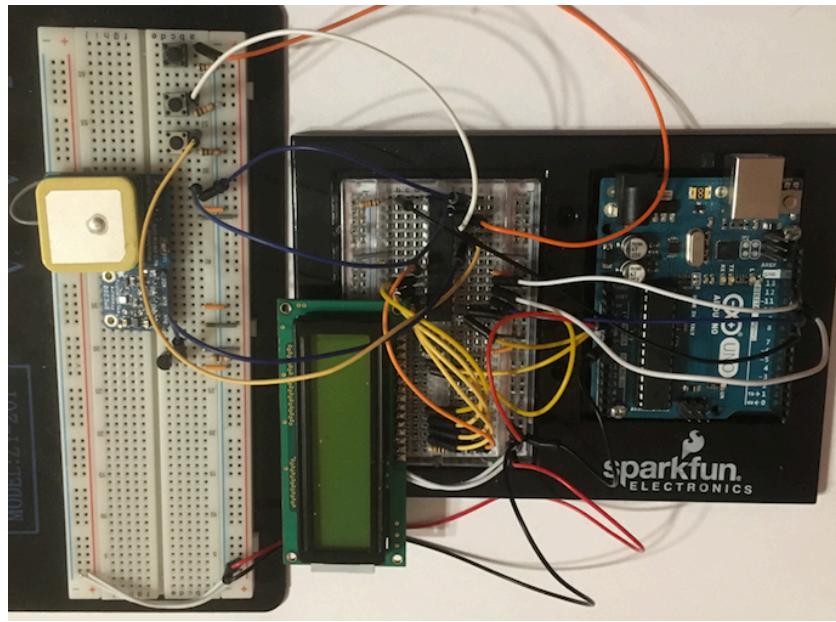
Ze względu na doświadczenie autora w programowaniu urządzeń w środowisku Arduino, skonstruowano układ opierający się na wymienionej platformie oraz na docelowym mikrokontrolerze ATmega328P. Połączony układ przedstawiono na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1. Połączenie płytka Arduino z mikrokontrolerem ATmega328P

Źródło: Opracowanie własne

Jak ukazuje powyższy rysunek, początkowo połączone zostały linie zasilające oraz linie niezbędne do programowania mikrokontrolera: MISO, MOSI, SCK oraz RESET. Pierwsze testy wykazywały błędy w komunikacji, co zmusiło do korzystania z udostępnionej wcześniejszej wersji programu IDE 1.0.5 oraz paru modyfikacji w plikach programowych. Poprawnie połączony układ pozwolił na pisanie kodu w języku zbliżonym do C/C++ oraz na korzystanie z ogólnodostępnych bibliotek, co w dużej mierze ułatwiło zaprogramowanie całego urządzenia. W następnej kolejności dołączono resztę elementów konstruując tym samym całe urządzenie zgodnie z wcześniej zaprojektowanym układem elektrycznym, co ilustruje rysunek 3.2.



Rysunek 3.2. Układ skonstruowany na płytach prototypowych przeznaczony do etapu programowania

Źródło: opracowanie własne

Założono pewną kolejność etapów programowania poszczególnych elementów układu:

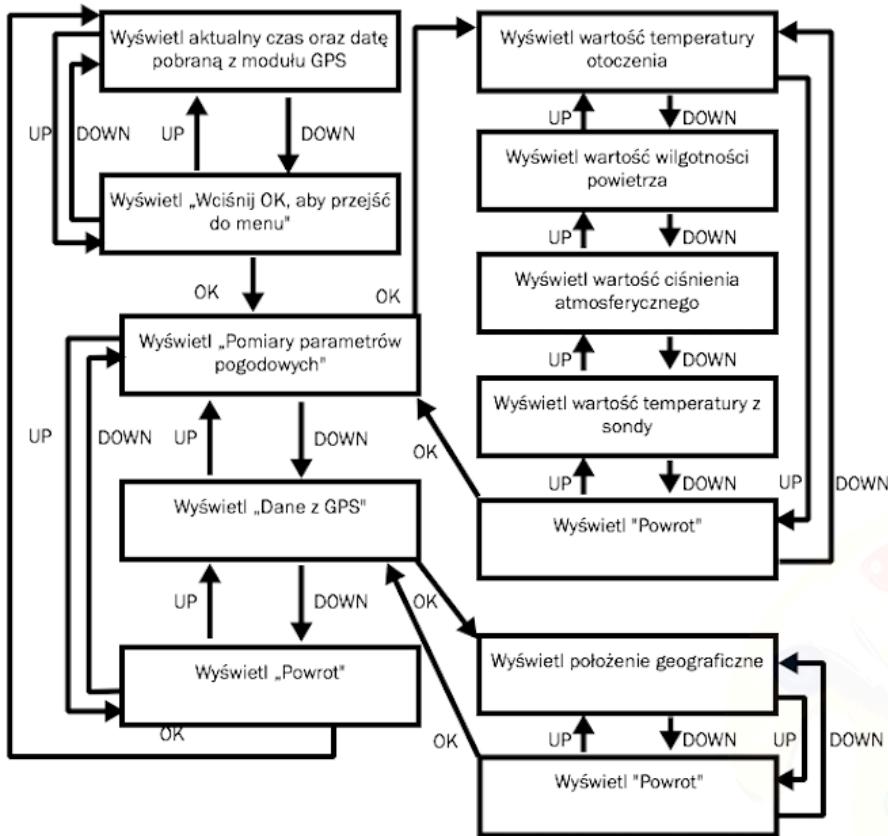
1. wyświetlanie informacji na wyświetlaczu LCD,
2. obsługiwanie klawiszy do zmiany wyświetlanych informacji,
3. skonstruowanie wielowarstwowego menu ,
4. odbieranie i wyświetlanie informacji z termometru DS18B20,
5. odbieranie i wyświetlanie informacji z modułu GPS Neo-7M-C,
6. odbieranie i wyświetlanie informacji z modułu BME280.

Dokumentacja z listingiem całego kodu z komentarzami znajduje się w załączniku B.

Aby korzystać z wyświetlacza alfanumerycznego LCD opartego na sterowniku HD44780 skorzystano z biblioteki *LiquidCrystal.h*. Duży problem spowodowało podłączenie wejść ANODA oraz PD4 do wyjść mikrokontrolera, które są odpowiedzialne również za ewentualne użycie кварca (XTAL). Okazało się, że środowisko Arduino IDE 1.0.5 uniemożliwia korzystanie z tych wyjść jako linii do przesyłania danych. Zmusiło to do kolejnych modyfikacji w plikach programowych. Ostatecznie, korzystając z komend udostępnionych z wcześniej wymienionej biblioteki, pomyślnie zaprogramowano wyświetlacz. Zrezygnowano z możliwości programowego ustawiania podświetlenia ze względu na użyte zbyt niskie napięcie, które uniemożliwia wyświetlanie informacji bez ciągłego włączonego podświetlenia.

Etap programowania klawiszy opierał się tylko na sczytywaniu stanów i przypisaniu temu odpowiednich akcji. Zminimalizowano również efekt drgania styków.

W następnej kolejności stworzono wielowarstwowe menu. Do tego celu skorzystano z biblioteki *MenuBackend.h*, które umożliwia prostą inicjalizację menu, wyświetlanie jego komponentów oraz nawigację (poruszanie się po menu). Konstrukcja menu zmieniała się wraz z dalszymi etapami programowania układu, ze względu na rozmiar pamięci jaką zajmowała. Ostateczną budowę przedstawiono na rysunku 3.3.



Rysunek 3.3. Konstrukcja menu z obsługą klawiszy

Źródło: Opracowanie własne

Tak skonstruowane menu pozwala na łatwe modyfikowanie i dodawanie ewentualnych informacji. Dla przykładu, w zakładce GPS można w przyszłości łatwo dodać opcje wyświetlania m.in.: wysokości położenia urządzenia, ilość satelitów, z którymi uzyska się połączenie, czy też prędkość poruszania się użytkownika. Przy włączeniu systemu dodatkowo pojawia się informacja o wymaganym wyjęciu zatyczki i podłączeniu sondy, aby dokonać pomiarów parametrów pogodowych.

Komunikacja z dołączoną sondą pomiarową, opartą na termometrze DS18B20, umożliwiona jest dzięki wykorzystaniu biblioteki *OneWire.h*, a poprawna jej obsługa i pobieranie informacji o mierzonej temperaturze pozwala użyta biblioteka *DallasTemperature.h*. W przypadku braku podłączenia sondy lub błędu komunikacji z mikrokontrolerem na wyświetlaczu ukazuje się błędna wartość temperatury wynosząca -127°C . Jak przedstawia rysunek 3.2, testy na płytce prototypowej były wykonywane przy pomocy innego termometru z tej samej rodziny DS18B20, co w przypadku póż-

niejszego połączenia docelowej sondy wymagało tylko programowej zmiany adresu czujnika.

Do obsługi modułu GPS Neo-7M-C wykorzystano biblioteki: *SoftwareSerial.h*, która umożliwia komunikację po magistrali UART oraz *TinyGPS++.h*, która umożliwia poprawny i łatwy odbiór informacji przekazywanych z modułu. W przypadku braku połączenia z wymaganą ilością satelitów niezbędną do wskazania położenia geograficznego, urządzenie wyświetla odpowiedni komunikat. Dodatkowo dodano odczyt czasu i daty z satelitów. Dzięki zamontowanej baterii do modułu GPS, wartości zmierzone w przypadku poprawnej komunikacji z satelitami są utrzymywane przez jakiś czas. Oznacza to, że w przypadku pobrania danych o godzinie, dacie i położeniu, pomimo wyłączenia i ponownego włączenia urządzenia, mogą być one dalej wyświetlane. Jednakże, czas i data mogą być aktualizowane programowo (dzięki baterii te dane są aktualizowane elektronicznie przez sam moduł), a wskazane położenie geograficzne opisuje wartości zarejestrowane w momencie połączenia z satelitami.

Aby uzyskać informacje na temat wilgotności powietrza, temperatury otoczenia oraz ciśnienia atmosferycznego z modułu BME280 skorzystano z bibliotek: *Wire.h*, *SPI.h*, które pozwalają na wymianę danych po magistrali I²C i poprawne działanie bibliotek: *Adafruit_Sensor.h* oraz *Adafruit_BME280.h*, które są odpowiedzialne za pobieranie danych z czujnika i ich przetwarzanie. Korzystając z udostępnionych komend, wartości poszczególnych pomiarów są wyświetlane z dokładnością do 0,1 odpowiedniej jednostki.

ROZDZIAŁ 4

Pomiary i kalibracja wykonanego przyrządu

W niniejszym rozdziale przeprowadzono badania wcześniejszy skonstruowanego urządzenia w wersji prototypowej w celu określenia błędu pomiarowego i ewentualnej kalibracji mierników. Otrzymywane wyniki porównywano do odpowiednich wzorców, w ten sposób rejestrując różnicę w wartościach.

4.1 Termometr

Opisywane urządzenie ma dwa czujniki mierzące temperaturę: sondę DS18B20, która odczytuje temperaturę wody oraz moduł BME280, który dokonuje pomiarów temperatury otoczenia (powietrza). Sprawdzenia poprawności działania obu czujników dokonano w Laboratorium Pomiaru Wielkości Neelektrycznych, Katedry Sterowania i Pomiarów, WE, ZUT w Szczecinie. W tym celu posłużono się łazienią wodną z termostatem DT108N firmy LaboPlay, oraz termometrem PT-401 firmy Elmetron. Układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 4.1.



Rysunek 4.1. Stanowisko do pomiaru temperatury w Laboratorium Metrologii KSiP
 Źródło: Opracowanie własne

W celu sprawdzenia poprawności wartości przekazywanych przez sondę skorzystano ze zbiornika z wodą, której temperatura ustalana jest poprzez zamontowany termostat. Zmieniając temperaturę cieczy i kontrolując jej wartość poprzez wbudowany

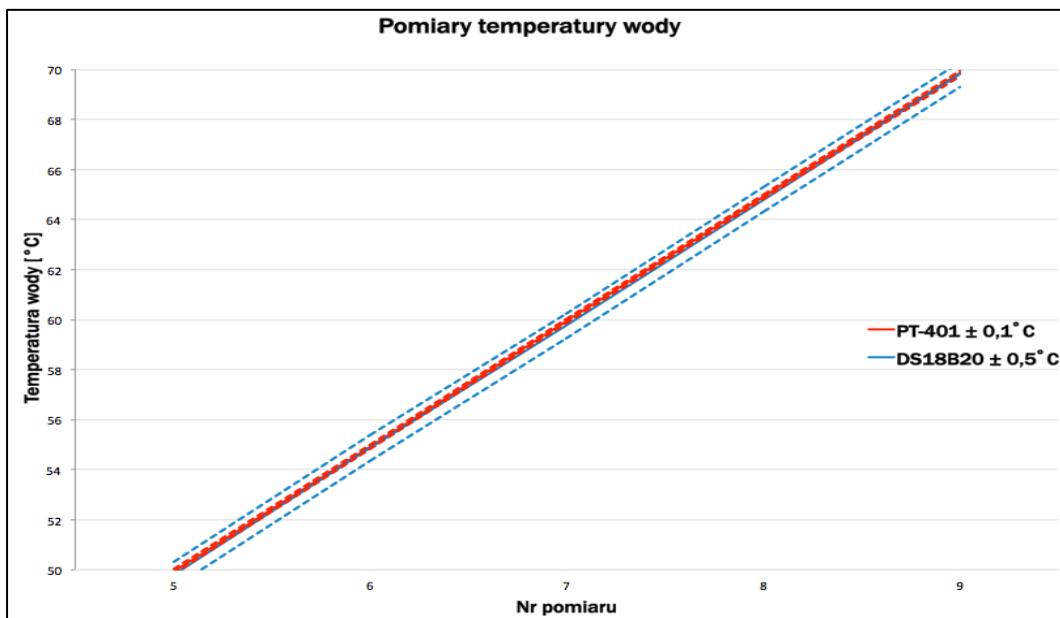
wyświetlacz, jednocześnie sprawdzano zmiany wartości uzyskiwane z własnego urządzenia oraz termometru wzorcowego, których czujniki były zanurzone w płynie. Jako odniesienie użyto wodoszczelnego termometru precyzyjnego PT-401 firmy Elmetron. Przyrząd ten charakteryzuje się dokładnością $\pm 0,1$ °C w zakresie 0÷100 °C. Producent sondy DS18B20 zapewnia dokładność urządzenia na poziomie $\pm 0,5$ °C w zakresie –10÷85 °C. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Wyniki pomiaru temperatury wody

Źródło: Opracowanie własne

| Temperatura wody [°C] | Termometr PT-401 [°C] | Termometr DS18B20 [°C] | Błąd bezwzględny [°C] |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 30 | 29,79 | 29,62 | 0,17 |
| 35 | 34,85 | 34,69 | 0,16 |
| 40 | 39,86 | 39,63 | 0,23 |
| 45 | 44,94 | 44,81 | 0,13 |
| 50 | 49,94 | 49,81 | 0,13 |
| 55 | 54,92 | 54,88 | 0,04 |
| 60 | 59,94 | 59,75 | 0,19 |
| 65 | 64,93 | 64,81 | 0,12 |
| 70 | 69,85 | 69,81 | 0,04 |
| 75 | 74,89 | 74,87 | 0,02 |
| 80 | 79,84 | 79,87 | 0,03 |
| 85 | 84,75 | 84,81 | 0,06 |
| 90 | 89,64 | 90,06 | 0,42 |

Z uzyskanych wartości można wywnioskować, że niepewność aparaturowa termometru DS18B20 ma część wspólną z wartościami wyznaczonymi z pomiaru termometrem wzorcowym. Rysunek 4.2 przedstawia wykres obrazujący przebieg wykonywanego badania z uwzględnieniem dokładności pomiarowych poszczególnych termometrów. Ze względu na małą czytelność ilustracji przy pełnym zakresie pokazano wyniki z zakresu 50÷70 °C.



Rysunek 4.2. Pomiar temperatury wody

Źródło: Opracowanie własne

Na wykresie przerywaną linią oznaczono przedział niepewności aparaturowej poszczególnych mierników dla uzyskanych wartości. Wyniki pomiarów wykazały dużą dokładność użytego termometru DS18B20, gdyż jego wskazania nie przekraczają przedziału wskazanego przez termometr odniesienia.

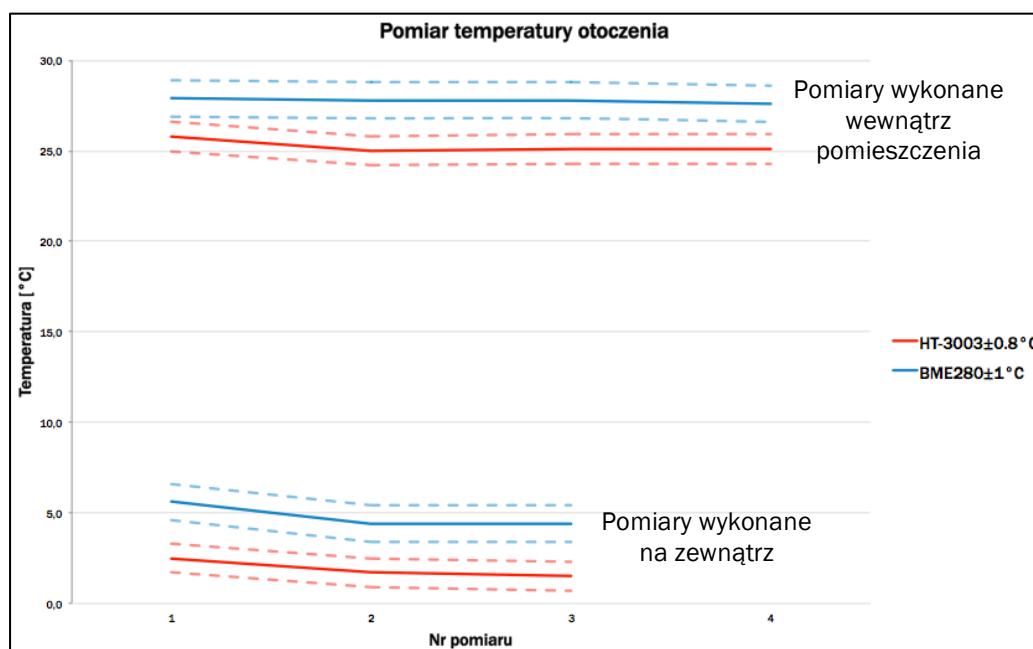
W następnej kolejności przystąpiono do zweryfikowania poprawności działania czujnika do pomiaru wartości temperatury otoczenia, którą uzyskuje się dzięki modułowi BME280. Producent czujnika gwarantuje dokładność rzędu $\pm 1^{\circ}\text{C}$ w zakresie $-40\div 85^{\circ}\text{C}$. Jako przyrząd wzorcowy przyjęto miernik wilgotności i temperatury HT-3003 firmy Lutron. Badania przeprowadzono w dwóch środowiskach: w pomieszczeniu laboratoryjnym i poza budynkiem. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Wyniki pomiaru temperatury otoczenia

Źródło: Opracowanie własne

| Temperatura powietrza: HT-3003 [°C] | Temperatura powietrza: BME280 [°C] | Błąd bezwzględny [°C] | Uwagi |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 25,8 | 27,9 | 2,1 | Pomiarы выполнены в лаборатории |
| 25,0 | 27,8 | 2,8 | |
| 25,1 | 27,8 | 2,7 | |
| 25,1 | 27,6 | 2,5 | |
| 2,5 | 5,6 | 3,1 | Pomiarы выполнены вне здания |
| 1,7 | 4,4 | 2,7 | |
| 1,5 | 4,4 | 2,9 | |

Na podstawie powyższej tabeli można wywnioskować iż moduł BME280 znacznie przekracza zapewnianą przez producenta dokładność pomiaru. Na rysunku 4.3 zilustrowano wykres oparty na wykonanym badaniu.



Rysunek 4.3. Pomary temperatury otoczenia

Źródło: Opracowanie własne

Przerywana linia przedstawia zakres niepewności aparaturowej dla odpowiedniego miernika. Różnica wyników może być spowodowana konstrukcją poszczególnych czujników. Miernik BME280 jest zabezpieczony metalową obudową, która może zakłamywać wyniki mierzonej temperatury, ze względu na wysokie przewodnictwo cieplne. Dodatkowo, w pobliżu znajdują się inne elementy elektroniczne, które wydzielają ciepło. W tym przypadku prawdopodobnie wymagane jest dłuższe oczekiwanie na wskazanie oraz ustabilizowanie poprawnej wartości. Prowadzi to do wniosków, że czujnik ten ma dużą inercję i jako taki nie nadaje się do pomiarów dynamicznych, a jedynie statycznych.

4.2 Barometr

Wyniki pomiaru ciśnienia atmosferycznego uzyskuje się dzięki modułowi BME280. Producent czujnika gwarantuje dokładność pomiaru ciśnienia rzędu $\pm 1 \text{ hPa}$ w zakresie $300\text{--}1100 \text{ hPa}$. Rozdzielcość urządzenia ustalono na 1 hPa . Aby zweryfikować poprawność uzyskiwanych wyników, w ciągu doby w różnych godzinach porównywano wartości wskazywane przez skonstruowany system z wartościami ciśnienia zmierzony-

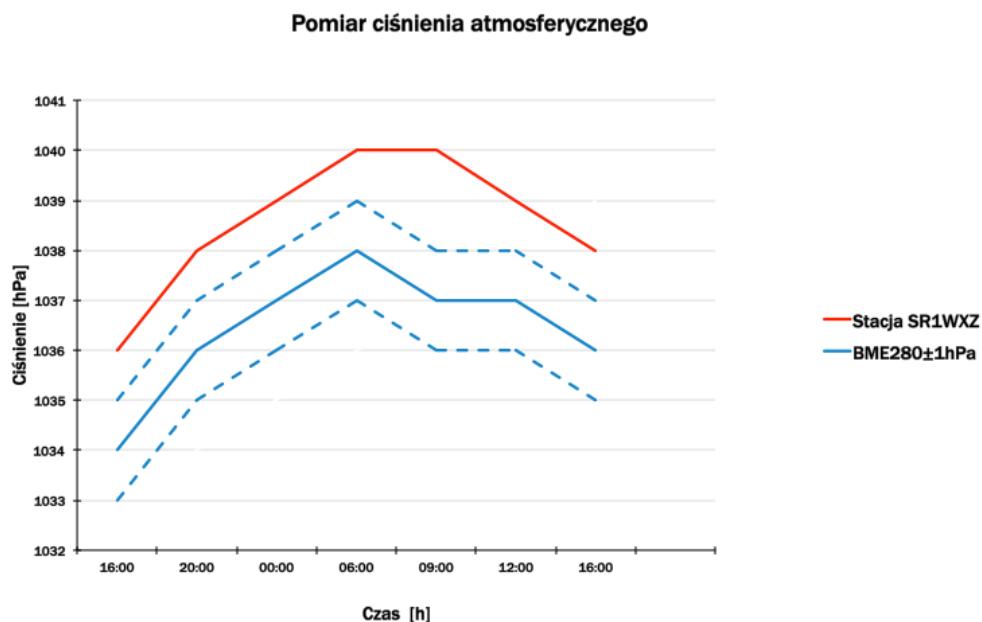
mi przez stację pogodową SR1WXZ znajdująca się w Szczecinie przy ul. Wszystkich Świętych [14]. W tabeli 4.2 przedstawiono uzyskane wyniki.

Tabela 4.3. Wyniki pomiaru ciśnienia atmosferycznego

Źródło: Opracowanie własne

| Czas i data wykonywanego pomiaru | SR1WXZ [hPa] | BME280 [hPa] | Błąd bezwzględny [hPa] |
|----------------------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 16:00, 12/02/2017 | 1036 | 1034 | 2 |
| 20:00, 12/02/2017 | 1038 | 1036 | 2 |
| 00:00, 13/02/2017 | 1039 | 1037 | 2 |
| 06:00, 13/02/2017 | 1040 | 1038 | 2 |
| 09:00, 13/02/2017 | 1040 | 1037 | 3 |
| 12:00, 13/02/2017 | 1039 | 1037 | 2 |
| 16:00, 13/02/2017 | 1038 | 1036 | 2 |

Wykonane doświadczenie ujawniło, że błąd bezwzględny przekracza zakres niepewności modułu BME280. Trzeba natomiast uwzględnić, że nie są znane dane na temat dokładności mierników, w które wyposażona jest stacja. Kolejną przyczyną innych wskazań może być wykonywanie pomiarów w różnych częściach miasta i na różnych wysokościach. Należy zatem zaobserwować jednakowe zmiany wartości ciśnienia atmosferycznego wskazanych przez oba czujniki. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 4.4 w formie wykresu. Wartość błędu bezwzględnego jest w przybliżeniu stała, co świadczy o jego systematycznym charakterze i potwierdza wcześniejszą tezę co do różnic w miejscach pomiaru i ich wpływie na wskazania przyrządu.



Rysunek 4.4. Pomary ciśnienia atmosferycznego

Źródło: Opracowanie własne

Jak przedstawia rysunek 4.4, zmierzone wartości ciśnienia przez skonstruowane urządzenie i stację pogodową zmieniają się jednakowo z wyjątkiem jednego pomiaru. Biorąc pod uwagę okoliczności w jakich było przeprowadzane doświadczenie modułem BME280, można stwierdzić, że czujnik wskazuje poprawne wartości ciśnienia atmosferycznego w granicach dokładności gwarantowanej przez producenta.

4.3 Higrometr

Pomiar wilgotności względnej powietrza jest dokonywany poprzez ten sam czujnik BME280. Producent zapewnia dokładność pomiaru rzędu $\pm 3\%$ RH w zakresie 10÷80% RH. Aby ustalić dokładność dokonywanych pomiarów, wartości uzyskiwane z modułu porównano z wartościami wskazanymi przez miernik wilgotności i temperatury HT-3003 firmy Lutron, którego dokładność pomiaru wynosi także $\pm 3\%$ RH w zakresie od 0÷70% RH. W tabeli 4.4 przedstawiono uzyskane wyniki przeprowadzonego badania w pomieszczeniu laboratoryjnym oraz poza budynkiem.

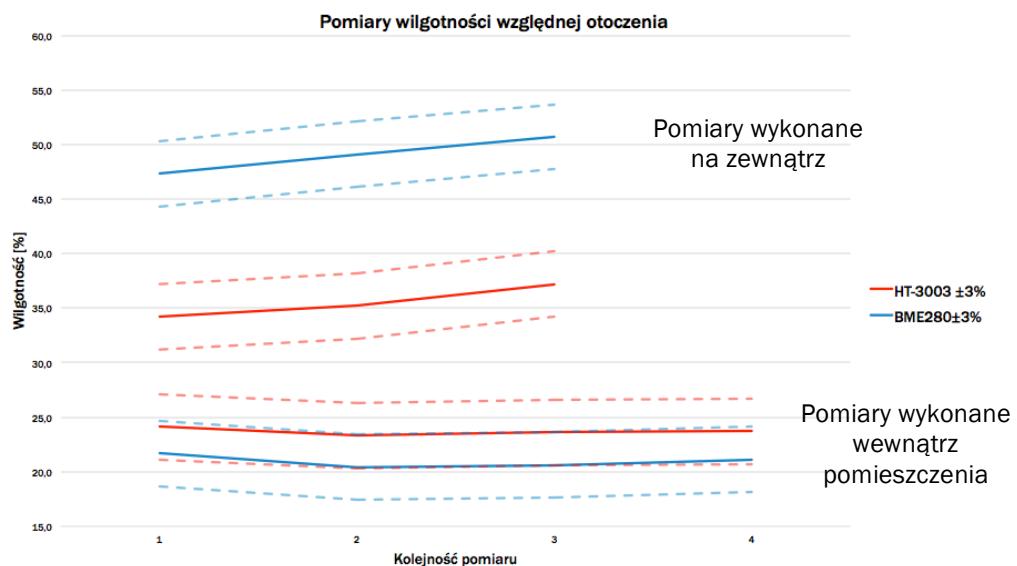
Tabela 4.4. Wyniki pomiaru wilgotności względnej otoczenia

Źródło: Opracowanie własne

| HT-3003 [% RH] | BME280 [% RH] | Błąd bezwzględny [% RH] | Uwagi |
|----------------|---------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 24,1 | 21,7 | 2,4 | Pomary wykonywane w pomieszczeniu |
| 23,3 | 20,4 | 2,9 | |

| | | | |
|------|------|------|-----------------------------------|
| 23,6 | 20,6 | 3,0 | laboratoryjnym |
| 23,7 | 21,1 | 3,6 | |
| 34,2 | 47,3 | 13,1 | Pomiary wykonywane poza budynkiem |
| 35,2 | 49,1 | 13,9 | |
| 37,2 | 50,7 | 13,5 | |

Z otrzymanych wyników i ich porównania widać dużą różnicę błędu bezwzględnego w zależności od otoczenia wykonywanego doświadczenia. Podczas gdy badania robiono w pomieszczeniu zamkniętym wartości uzyskiwane z modułu nieznacznie przekraczały dopuszczalną tolerancję pomiaru, zaś poza budynkiem wskazywane wyniki znacznie wychodziły poza ramy dokładności miernika. Na podstawie otrzymanych wyników przedstawiono wykres na rysunku 4.5.



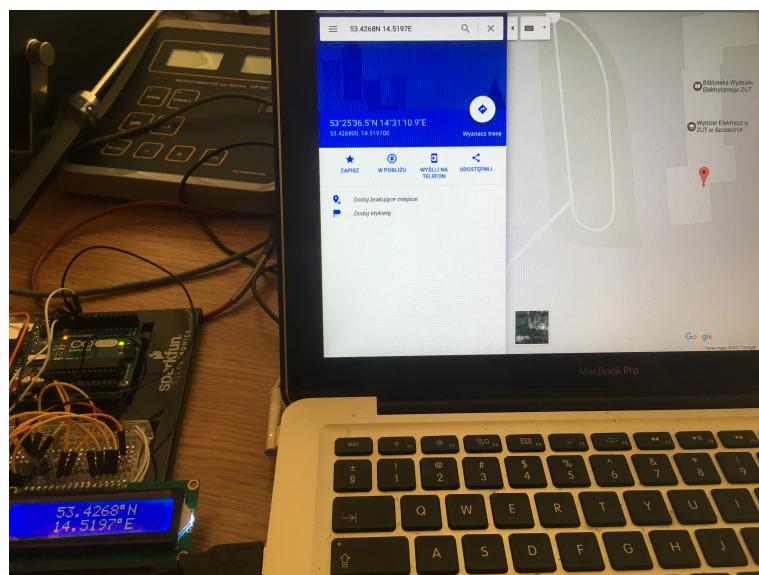
Rysunek 4.5. Pomiary wilgotności względnej otoczenia

Źródło: Opracowanie własne

Przerywana linia przedstawia dokładność odpowiedniego miernika. Powyższy rysunek wskazuje na poprawne, aczkolwiek na granicy dokładności, działanie modułu BME280 w otoczeniu zamkniętym. Różnica uzyskanych wyników na zewnątrz prawdopodobnie również wynika z konstrukcji samego czujnika i jego inercji. Tworzywo z jakiego jest zbudowana obudowa miernika może powodować skraplanie się pary wodnej na jego powierzchni. Szczególnie w przypadku dużych skoków temperatury, którym był poddany moduł w trakcie przeprowadzania badania.

4.4 Odbiornik GPS

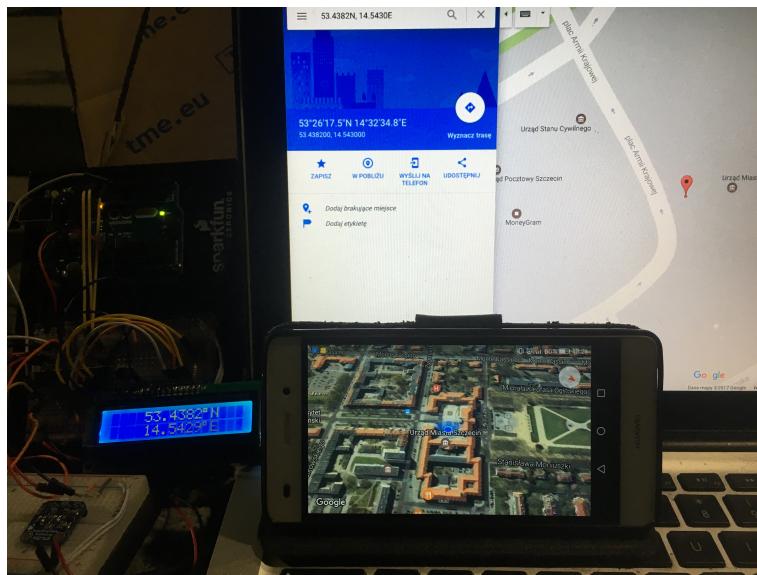
Do pozyskiwania informacji o położeniu geograficznym oraz dodatkowo aktualnym czasie i dacie skorzystano z modułu GPS NEO-7M-C. Producent zapewnia dokładność pomiaru położenia do 2,5 m. Do uzyskania wyniku wymagana jest łączność z co najmniej 3 satelitami. Czas uzyskania połączenia z systemem GPS uzależniony jest od środowiska w jakim znajduje się użytkownik urządzenia. Sprawdzenie poprawności wskazywanego położenia geograficznego opierało się na porównywaniu wyświetlnych danych na skonstruowanym urządzeniu do wskazań na telefonie wyposażonym w moduł GPS i dodatkowo porównywanie tych informacji z rzeczywistym położeniem użytkownika. Wyniki otrzymanych wartości przedstawiono na rysunkach 4.6 ÷ 4.8.



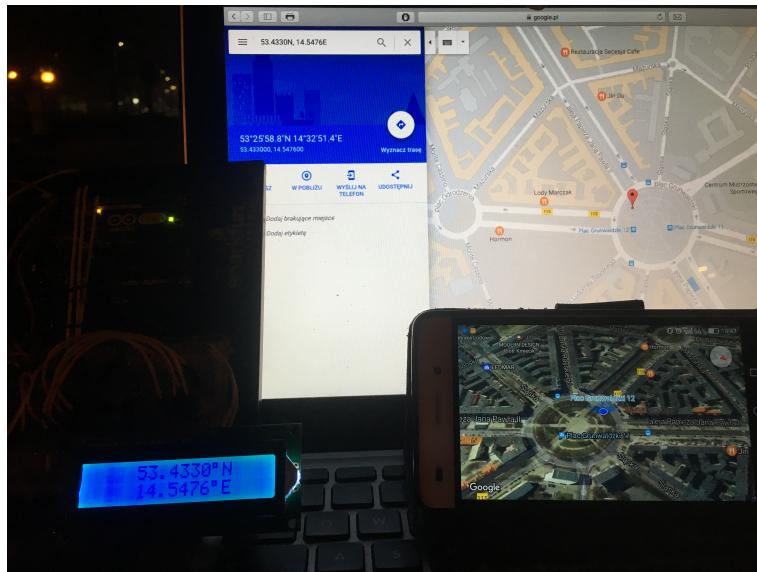
Rysunek 4.6. Pomiary położenia geograficznego w pomieszczeniu laboratoryjnym
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 4.6 ukazuje wynik wykonanego badania położenia geograficznego w sali laboratoryjnej. Uzyskaną wartość z modułu GPS NEO-7M-C wpisano w ogólnodostępną aplikację internetową Google Maps, która wskazała dokładne położenie urządzenia.

Na rysunku 4.7 ukazano wynik badania położenia geograficznego przy Urzędzie Miasta w Szczecinie. Otrzymaną wartość ze skonstruowanego urządzenia wpisano do tej samej aplikacji co w poprzednim doświadczeniu i ponownie wskazało poprawne położenie systemu. Dodatkowo na telefonie uruchomiona jest ta sama aplikacja, która w tym przypadku automatycznie wskazuje położenie geograficzne przy pomocy wbudowanego własnego odbiornika GPS. Należy zauważyć, że w porównaniu do pomiaru wykonywanego w pomieszczeniu, moduł NEO-7M-C w dużo krótszym czasie uzyskał połączenie z satelitami.



Rysunek 4.7. Pomiary położenia geograficznego przy budynku Urzędu Miasta w Szczecinie
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 4.8. Pomiary położenia geograficznego przy Placu Grunwaldzkim w Szczecinie
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 4.8. przedstawia wynik badania położenia geograficznego przy Placu Grunwaldzkim w Szczecinie. Doświadczenie przeprowadzono identycznie jak w przypadku poprzedniego testu i uzyskano poprawne współrzędne.

Poprzez przeprowadzone badania stwierdza się poprawność działania użytego modułu GPS i bardzo dużą dokładność wskazanych wartości położenia geograficznego. Uzyskane wyniki pomiarowe z wszystkich modułów są satysfakcjonujące i eliminują konieczność dodatkowej kalibracji.

Wnioski

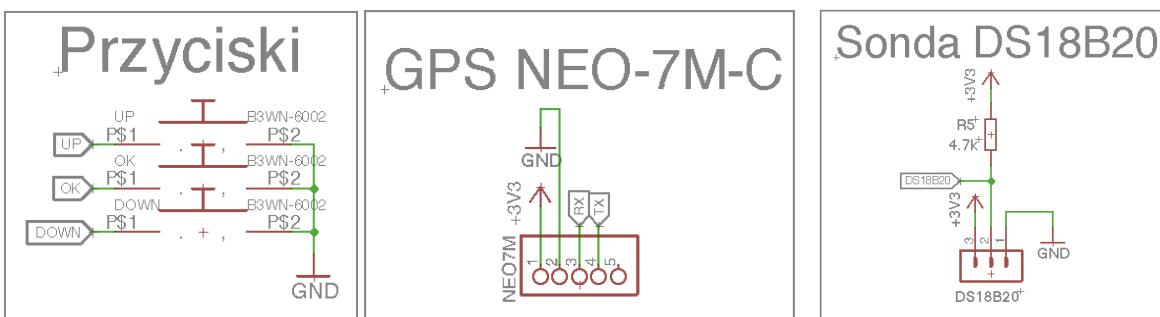
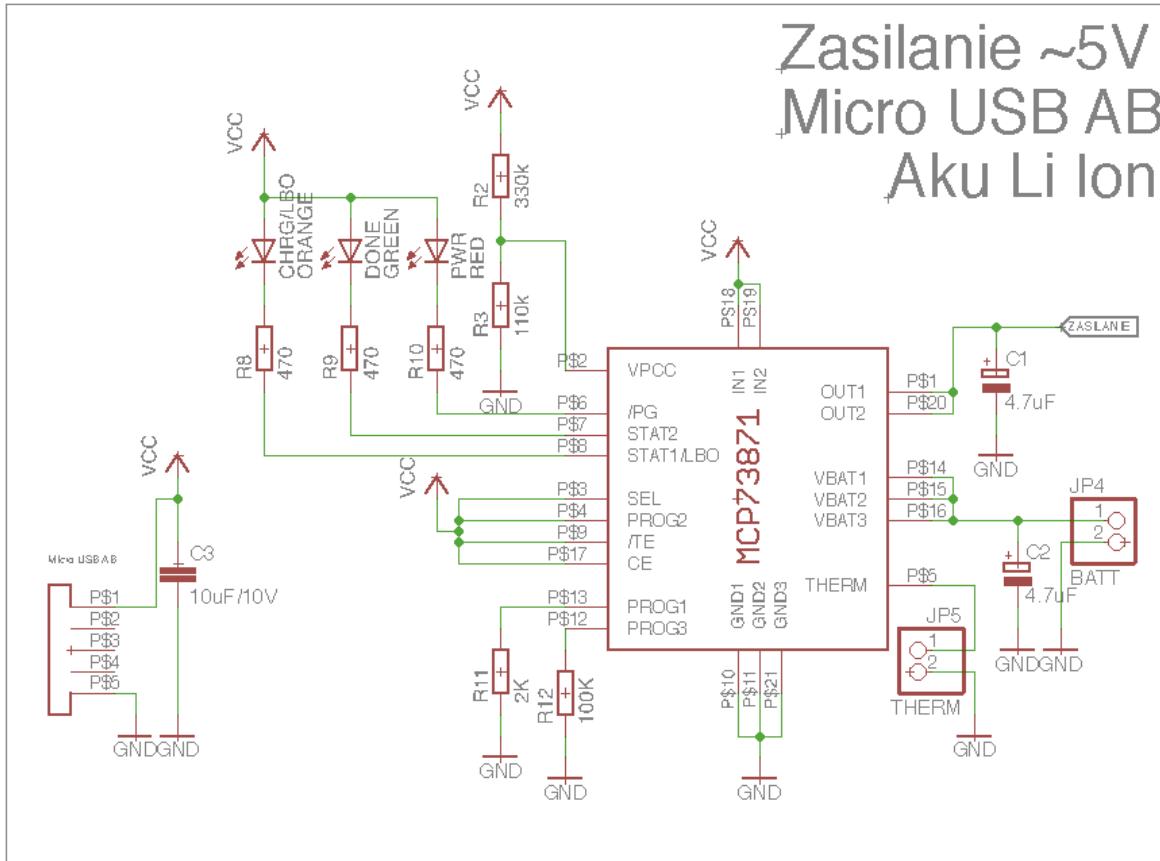
Wstępne założenia pracy dyplomowej zostały spełnione. Wszystkie pomiary parametrów pogodowych oraz położenia geograficznego wykonywane są poprawnie, a wyniki są satysfakcyjne. Mimo dokładnych projektów schematu elektrycznego i obudowy, autor nie może zapewnić klasy szczelności IP67 urządzenia ze względu na niedoskonałości w frezowaniu otworów oraz użytego frontu foliowego. W trakcie budowy urządzenia powstała możliwość dokładniejszego, profesjonalnego wykonania otworów oraz użycia odpowiednich materiałów i technik zamontowania ilustracji panelu, aczkolwiek zlecenie tych prac znacznie przekraczało zakładany budżet.

Największą trudność sprawiło projektowanie płytki PCB ze względu na ograniczone miejsce w obudowie i duże opóźnienia w dostarczeniu osłony układu elektronicznego. Wymusiło to na autorze planowanie tego etapu tylko w oparciu o udostępnione rysunki techniczne, mając na uwadze zachowanie wodoszczelności, co stwarzało duże ryzyko niepowodzenia w momencie składania całego systemu. Dodatkowa komplikacja powstała przez użyty układ scalony MCP73871. Model ten jest w sprzedaży tylko w obudowie QFN-20 o rozmiarach 4x4 mm. Udostępnione przez uczelnię narzędzia nie są dostosowane do lutowania takich elementów, co skutkowało wieloma nieudanymi próbami jego zamontowania do płytki PCB.

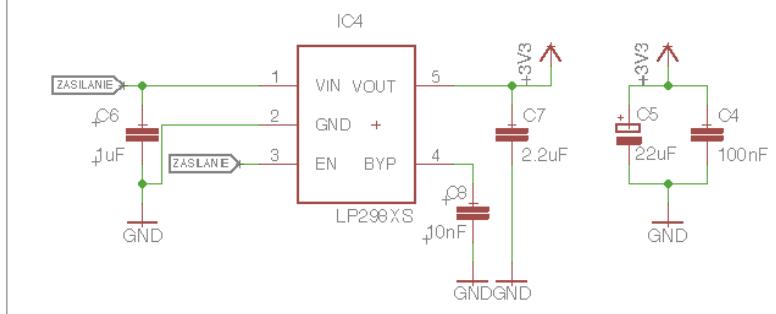
Błądem okazało się stworzenie menu urządzenia na podstawie ogólnodostępnej biblioteki. Kod programu oparty na bibliotece *MenuBackend.h* jest przejrzysty i łatwy w projektowaniu, aczkolwiek zajmuje on znaczną część pamięci flash mikrokontrolera. Spowodowało to zrezygnowanie z paru dodatkowych opcji t.j.: wskazywanie wysokości położenia użytkownika systemu na podstawie GPS oraz na podstawie mierzonego ciśnienia, wyświetlanie informacji o liczbie połączonych satelitów GPS i mierzenie prędkości poruszania się urządzenia.

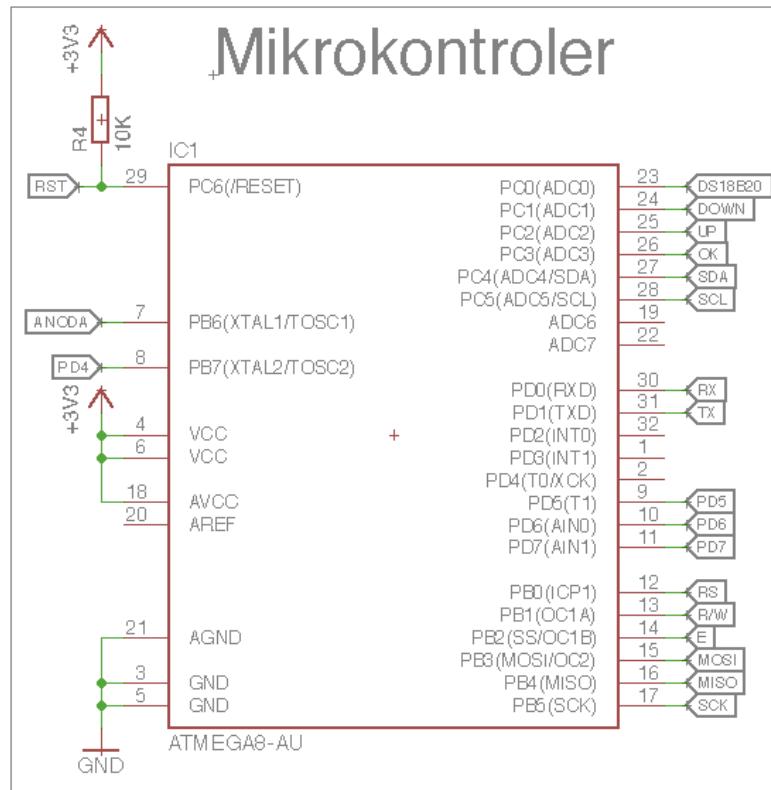
Autor ma w planach rozwijanie skonstruowanego systemu. Priorytetem jest stworzenie możliwości zapisu wszystkich danych i przekazywanie ich na komputer celem dokładniejszej analizy pomiarów na przestrzeni dłuższego okresu. Zmiana wyświetlacza na ekran dotykowy rezystancyjny ułatwiłaby nawigację po menu oraz nadałaby walorów estetycznych urządzeniu. Chęć używania urządzenia w przypadku wędkarstwa nasuwa pomysł o dołączeniu wagi, miarki oraz aparatu fotograficznego zachowując przy tym odporność systemu na zachlapania.

Załącznik A. Schemat elektryczny urządzenia

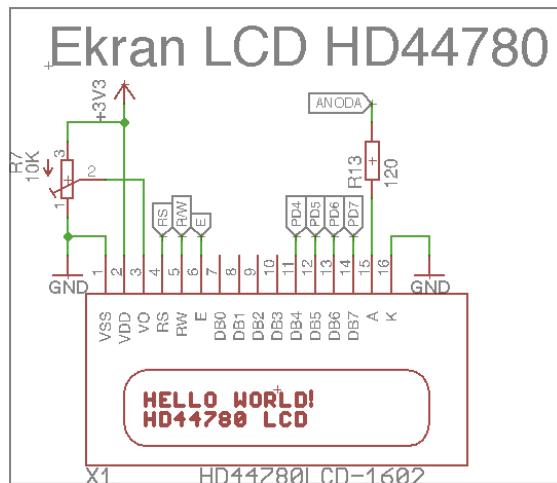
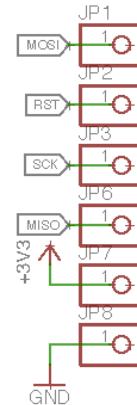


Zasilanie 3.3V i filtracja na uC





Programowanie



Załącznik B. Listing programu z komentarzami

```
/*Biblioteki*/
#include <LiquidCrystal.h>          // Biblioteka do LCD HD44780
#include <MenuBackend.h>    // Biblioteka do konstrukcji menu
#include <DallasTemperature.h>      // Biblioteki do sondy DS18B20
#include <OneWire.h>
#include <SoftwareSerial.h>        // Biblioteki do GPS NEO-7M-C
#include <TinyGPS++.h>
#include <Wire.h>                  // Biblioteki do BME280
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>

/*Definiowanie połączeń*/
#define ANODA 20 // PB6
#define D4 21 // PB7
#define D5 5 // PD5
#define D6 6 // PD6
#define D7 7 // PD7
#define RS 8 // PB0
#define RW 9 // PB1
#define e 10 // PB2
#define sonda A0 // PC0
#define BME_SCK A5 // PC5
#define BME_MOSI A4 // PC4
static const int RXPin = 0; // PD0
static const int TXPin = 1; // PD1
const int buttonPinLeft = A2; // Up - PC2
const int buttonPinRight = A1; // Down - PC1
const int buttonPinEnter = A3; // OK - PC3

/*Pomocnicze zmienne*/
LiquidCrystal Icd(RS, RW, e, D4, D5, D6, D7);
OneWire onewire(sonda);
DallasTemperature sensors(&onewire);
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
TinyGPSPlus gps;
Adafruit_BME280 bme;
boolean g = true;
int lastButtonPushed = 0; // Zmienne do minimalizacji drgania styków
int lastButtonEnterState = HIGH;
int lastButtonLeftState = HIGH;
int lastButtonRightState = HIGH;
long lastEnterDebounceTime = 0;
long lastLeftDebounceTime = 0;
long lastRightDebounceTime = 0;
long debounceDelay = 100;

/*Konstrukcja menu*/
MenuBackend menu = MenuBackend(menuUsed, menuChanged);
MenuItem Item1 = MenuItem("Kliknij OK");
MenuItem Item11 = MenuItem("Pomiary");
MenuItem Item111 = MenuItem("WynikTemp");
MenuItem Item112 = MenuItem("WynikWilg");
MenuItem Item113 = MenuItem("WynikCisn");
```

```

MenuItem Item114 = MenuItem("WynikSonda");
MenuItem Item115 = MenuItem("PowrotZSub");
MenuItem Item12 = MenuItem("Dane z GPS");
MenuItem Item123 = MenuItem("WynikPol");
MenuItem Item124 = MenuItem("PowrotZSub");
MenuItem Item14 = MenuItem("Powrot");
/*Setup*/
void setup()
{pinMode(buttonPinLeft, INPUT_PULLUP);
pinMode(buttonPinRight, INPUT_PULLUP);
pinMode(buttonPinEnter, INPUT_PULLUP);
pinMode(ANODA, OUTPUT);
digitalWrite(ANODA, HIGH);
pinMode(D4, OUTPUT);
digitalWrite(D4,HIGH);
lcd.begin(16, 2);      // Inicjalizacja LCD
sensors.begin();        // Inicjalizacja sondy
ss.begin(9600);         // Inicjalizacja GPS
bme.begin(); // Inicjalizacja BME280
lcd.clear(); // Wiadomość przy uruchomieniu urządzenia
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Aby wykonac");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("pomiary pogodowe");
delay(3000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Wymij zatyczke");
lcd.write(byte(126));
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("i podłącz sondę");
lcd.write(byte(126));
delay(3000);
/*Konfiguracja nawigacji menu*/
menu.getRoot().addRight(Item1).addRight(menu.getRoot());
Item1.add(Item11).addRight(Item12).addRight(Item14).addRight(Item11);
Item14.add(menu.getRoot());
Item11.add(Item111).addRight(Item112).addRight(Item113).addRight(Item114).addRight(Item115).addRight(Item111);
Item115.add(Item11);
Item12.add(Item123).addRight(Item124).addRight(Item123);
Item124.add(Item12);
menu.toRoot();}
/*Loop- pętla*/
void loop()
{readButtons(); // Odczyt stanów przycisków
navigateMenus(); // Nawigacja po menu
/*Pomiar temperatury z sondą*/
void tempsonda()
{sensors.requestTemperatures();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Temp. z sondą:");
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
lcd.setCursor(10,1);
lcd.write(byte(223));}

```

```

lcd.print("C");
/*Pomiar wilgotności z BME280*/
void wilgotnosc()
{lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Wilgotnosc:");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(bme.readHumidity(), 1);
lcd.print("%");
/*Pomiar ciśnienia z BME280*/
void cisnienie()
{lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Cisnienie:");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print(bme.readPressure() / 100, 1);
lcd.print(" hPa");
/*Pomiar temperatury z BME280*/
void temperatura()
{lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Temperatura:");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(bme.readTemperature() ,1);
lcd.write(byte(223));
lcd.print("C");
/*Pobieranie i wyświetlanie informacji o czasie i dacie z GPS*/
void gpsdatetime()
{if (gps.date.isValid());
{lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(gps.date.day());
lcd.print("/");
lcd.print(gps.date.month());
lcd.print("/");
lcd.print(gps.date.year());
else
{lcd.print("Brak polaczenia");}
if (gps.time.isValid())
{lcd.setCursor(4,1);
if (gps.time.hour()+1 < 10) lcd.print("0");
lcd.print(gps.time.hour()+1); // +1 dla naszej strefy czasowej
lcd.print(":");
if (gps.time.minute() < 10) lcd.print("0");
lcd.print(gps.time.minute());
lcd.print(":");
if (gps.time.second() < 10) lcd.print("0");
lcd.print(gps.time.second());
else
{lcd.print("Brak polaczenia");}
/*Pobieranie i wyświetlanie informacji o położeniu z GPS*/
void gpslocation()
{if (gps.location.isValid())
{lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(gps.location.lat(), 4);
lcd.write(byte(223));
lcd.print("N"); // Dla naszej strefy geograficznej
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(gps.location.lng(), 4);

```

```

lcd.write(byte(223));
lcd.print("E");} // Dla naszej strefy geograficznej
else
{lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Brak");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" polaczenia");}
/*Działania w menu*/
void menuChanged(MenuChangeEvent changed)
{MenuItem newMenuItem=changed.to;
if(newMenuItem.getName()==menu.getRoot()){
lcd.clear();
delay(200);
g = true; // Pobieraj i wyświetlaj dane do momentu
do // wciśnięcia przycisku
{if (ss.available() > 0)
if (gps.encode(ss.read()))
gpsdatetime();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);
}else if(newMenuItem.getName()=="Kliknij OK"){
lcd.clear();
lcd.print("Kliknij OK, aby");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("przejsc do menu");
}else if(newMenuItem.getName()=="Pomiary"){
lcd.clear();
lcd.print("Pomiary warunkow");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" pogodowych");
}else if(newMenuItem.getName()=="Dane z GPS"){
lcd.clear();
lcd.print(" Dane z");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" GPS");
}else if(newMenuItem.getName()=="Powrot"){ // Akcje w przypadku przyciśnięcia
lcd.clear(); // przycisku "Powrot" określono
lcd.print(" Powrot"); // w konfiguracji nawigacji menu
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" <--");
}else if(newMenuItem.getName()=="PowrotZSub"){
lcd.clear();
lcd.print(" Powrot");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" <--");
}else if(newMenuItem.getName()==("WynikTemp")){
lcd.clear();
delay(200);
g = true;
do
{temperatura();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);
}

```

```

}else if(newMenuItem.getName() == ("WynikWilg")){
lcd.clear();
delay(200);
g = true;
do
{wilgotnosc();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);
}else if(newMenuItem.getName() == ("WynikCisn")){
lcd.clear();
delay(200);
g = true;
do
{cisniecie();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);
}else if(newMenuItem.getName() == ("WynikSonda")){
lcd.clear();
delay(200);
g = true;
do
{tempsonda();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);
}else if(newMenuItem.getName() == ("WynikPol")){
lcd.clear();
delay(200);
g = true;
do
{if (ss.available() > 0)
if (gps.encode(ss.read()))
gpslocation();
if(digitalRead(buttonPinRight) == LOW || digitalRead(buttonPinLeft) == LOW)
g = false;
} while(g == true);}}
/*Zmienna wymagana do poprawnego działania biblioteki*/
void menuUsed(MenuUseEvent used){} // Opis akcji autor wykonał w poprzednim etapie
/*Eliminacja drgania styków*/
void readButtons()
{int reading;
int buttonEnterState=HIGH; //Aktualny odczyt stanu przycisków
int buttonLeftState=HIGH;
int buttonRightState=HIGH;
reading = digitalRead(buttonPinEnter); // Przycisk OK
if (reading != lastButtonEnterState){ // Odczyt zmiany stanu
lastEnterDebounceTime = millis(); // Resetowanie czasu drgania
if ((millis() - lastEnterDebounceTime) > debounceDelay){ //Jeśli odczyt
buttonEnterState=reading; // trwa dłużej niż założony czas
lastEnterDebounceTime=millis(); // drgania, oznacza to wciśnięty przycisk
lastButtonEnterState = reading;
reading = digitalRead(buttonPinRight); // Przycisk Down
if (reading != lastButtonRightState){
lastRightDebounceTime = millis();}
}
}
}

```

```

if ((millis() - lastRightDebounceTime) > debounceDelay) {
buttonRightState = reading;
lastRightDebounceTime = millis();
lastButtonRightState = reading;
reading = digitalRead(buttonPinLeft); // Przycisk Up
if (reading != lastButtonLeftState){
lastLeftDebounceTime = millis();
if ((millis() - lastLeftDebounceTime) > debounceDelay) {
buttonLeftState = reading;
lastLeftDebounceTime = millis();
lastButtonLeftState = reading;
if (buttonEnterState==LOW){
lastButtonPushed=buttonPinEnter;
}else if(buttonRightState==LOW){
lastButtonPushed=buttonPinRight;
}else if(buttonLeftState==LOW){
lastButtonPushed=buttonPinLeft;
}else{
lastButtonPushed=0;}
/*Przypisanie akcji przyciskom*/
void navigateMenus()
{MenuItem currentMenu=menu.getCurrent();
switch (lastButtonPushed){
case buttonPinEnter:
if(!(currentMenu.moveDown())){ // Jeśli menu posiada submenu, przejdź do niego
menu.use();
}else{ // W przeciwnym przypadku, użyj aktualnego menu
menu.moveDown();}
break;
case buttonPinRight: // Poruszanie się po menu w zależności od
menu.moveRight(); // wciśniętego przycisku "Up" lub "Down"
break;
case buttonPinLeft:
menu.moveLeft();
break;}
lastButtonPushed=0; }

```

Spis rysunków

| | |
|--|----|
| Rysunek 1.1. Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury..... | 10 |
| Rysunek 1.2. Zakres stosowania przyrządów do pomiaru temperatury..... | 11 |
| Rysunek 1.3. Ciśnienie cząstkowe pary wodnej w zależności od temperatury..... | 12 |
| Rysunek 1.4. Ciśnienie bezwzględne, podciśnienie, nadciśnienie..... | 15 |
| Rysunek 1.5. Doświadczenie Torricellego..... | 16 |
| Rysunek 1.6. Zmierzenie odległości od trzech satelitów..... | 19 |
| Rysunek 2.1. Schemat blokowy systemu..... | 22 |
| Rysunek 2.2. Moduł BME280 do pomiarów parametrów pogodowych..... | 23 |
| Rysunek 2.3. Połączenie modułu do pomiaru warunków pogodowych z resztą układu..... | 23 |
| Rysunek 2.4. Sonda DS18B20 do pomiaru temperatury..... | 24 |
| Rysunek 2.5. Połączenie sondy do pomiaru temperatury z resztą układu..... | 24 |
| Rysunek 2.6. Alfanumeryczny wyświetlacz LCD..... | 25 |
| Rysunek 2.7. Połączenie alfanumerycznego wyświetlacza LCD z resztą układu..... | 25 |
| Rysunek 2.8. Moduł GPS..... | 26 |
| Rysunek 2.9. Połączenie modułu GPS z resztą układu..... | 26 |
| Rysunek 2.10. Mikrokontroler ATmega328P w obudowie 32TQFP..... | 27 |
| Rysunek 2.11. Połączenie mikrokontrolera z resztą układu..... | 27 |
| Rysunek 2.12. Układ zasilający oparty na module MCP73871..... | 28 |
| Rysunek 2.13. Akumulator litowo- jonowy..... | 28 |
| Rysunek 2.14. Układ zasilający..... | 29 |
| Rysunek 2.15. Stabilizowanie oraz filtracja napięcia..... | 29 |
| Rysunek 2.16. Projekt płytki PCB..... | 30 |
| Rysunek 2.17. Odpowiednio złączone warstwy projektu płytki PCB naniesione na folię do druku..... | 30 |
| Rysunek 2.18. Płytnka PCB prototypowa po nieudanym etapie naświetlania i wywoływania..... | 31 |
| Rysunek 2.19. Finalna wersja płytki PCB wraz z umiejscowionym akumulatorem – warstwa górną..... | 31 |
| Rysunek 2.20. Finalna wersja płytki PCB - warstwa dolna, oraz płytka z akumulatorem..... | 32 |
| Rysunek 2.21. Płytnka PCB przed etapem docinania, płytka z koszyczkiem na akumulator oraz termorezystor..... | 32 |
| Rysunek 2.22. Rysunek techniczny obudowy..... | 33 |
| Rysunek 2.23. Rysunek techniczny obudowy z naniesionymi modyfikacjami..... | 34 |
| Rysunek 2.24. Etap frezowania frontu obudowy..... | 34 |
| Rysunek 2.25. Złożone urządzenie bez pokrywy obudowy..... | 35 |
| Rysunek 2.26. Złożone urządzenie bez frontu foliowego..... | 35 |
| Rysunek 3.1. Połączenie płytki Arduino z mikrokontrolerem ATmega328P..... | 36 |
| Rysunek 3.2. Układ skonstruowany na płytach prototypowych przeznaczony do etapu programowania..... | 37 |

| | |
|---|----|
| Rysunek 3.3. Konstrukcja menu z obsługą klawiszy..... | 38 |
| Rysunek 4.1. Stanowisko do pomiaru temperatury w Laboratorium Metrologii KSiP... <td>40</td> | 40 |
| Rysunek 4.2. Pomiary temperatury wody..... | 42 |
| Rysunek 4.3. Pomiary temperatury otoczenia..... | 43 |
| Rysunek 4.4. Pomiary ciśnienia atmosferycznego..... | 45 |
| Rysunek 4.5. Pomiary wilgotności względnej otoczenia..... | 46 |
| Rysunek 4.6. Pomiary położenia geograficznego w pomieszczeniu laboratoryjnym.... | 47 |
| Rysunek 4.7. Pomiary położenia geograficznego przy budynku Urzędu Miasta w Szczecinie..... | 48 |
| Rysunek 4.8. Pomiary położenia geograficznego przy Placu Grunwaldzkim w Szczecinie..... | 48 |

Spis tabel

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1. Klasyfikacja ciśnieniomierzy ze względu na mierzone ciśnienie..... | 17 |
| Tabela 4.1. Wyniki pomiaru temperatury wody..... | 41 |
| Tabela 4.2. Wyniki pomiaru temperatury otoczenia..... | 42 |
| Tabela 4.3. Wyniki pomiaru ciśnienia atmosferycznego..... | 44 |
| Tabela 4.4. Wyniki pomiaru wilgotności względnej otoczenia..... | 45 |

Bibliografia

- [1] Michalski L., Eckersdorf K.: *Pomiary temperatury*, wydanie III zmienione, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1986.
- [2] Kabza Z., Kostyrko K.: *Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych*, część 1, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2003.
- [3] Lipiński W., Radecki J.: *Miernictwo wielkości nienielektrycznych*, wydanie I, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 1980.
- [4] Markowski E., Mindykowski J., Piotrowski T.: *Laboratorium miernictwa elektrycznego wielkości nienielektrycznych*, Wydawnictwo Uczelnianie WSM, Gdynia, 1979.
- [5] Kostyrko K., Okołowicz-Grabowska B.: *Pomiary i regulacja wilgotności w pomieszczeniach*, Arkady, Warszawa, 1971.
- [6] Szumielewicz B., Słomski B., Styburski W.: *Pomiary elektroniczne w technice metody i urządzenia*, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1982.
- [7] Carhart H. S., Chute H. N.: *First principles of physics*, Allyn and Bacon, Boston, 1912.
- [8] Pietkiewicz S., Żmuda S.: *Słownik pojęć geograficznych*, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1973.
- [9] Gucma M., Montewka J.: *Podstawy morskiej nawigacji inercyjnej*, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin, 2006.
- [10] Harłożynski K., Dorożyński R.: *Geo- . Geografia. Dzień geografa – mapa wizerunkiem świata*, Journal of Education, Health and Sport, 5(5) str.368-372, 2015.
- [11] Specht C., System GPS, Wydawnictwo BERNARDINUM Sp. z o.o., Pelplin , 2007.
- [12] Narkiewicz J., *Globalny system pozycyjny GPS: budowa, działanie, zastosowanie*, wydanie I, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o., Warszawa, 2003.
- [13] Atmel Corporation, *ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P[DATASHEET]*, http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf, 2015.
- [14] Takachi electronics enclosure CO., LTD., http://www.takachi-enclosure.com/data/c15/c15_18102.pdf.
- [15] System NOSaprs 2.0g, Stacja Pogodowa SR1WXZ, <http://www.sr1wxz.ampr.org>.