

PAWEŁ SZYMAŃSKI, MARCIN SZYMAŃSKI, MICHAŁ ŚMIEJA, MICHAŁ BRACH,
WOJCIECH OŹGA

Prototyp stacji pogodowej dla potrzeb leśnictwa – badania pilotażowe

Prototype of the weather station for the needs of forestry – a pilot study

ABSTRACT

Szymański P., Szymański M., Śmieja M., Brach M., Oźga W. 2017. Prototyp stacji pogodowej dla potrzeb leśnictwa – badania pilotażowe. Sylwan 161 (5): 405-412.

The aim of the study was to design a weather station dedicated for applications in the forestry. The device is thought to be used to measure temperature, pressure, humidity and sunlight and to record that data to the microSD memory card supplementing also the information on the time of measurement. The objective of the field part of the study was to gather accurate meteorological data from the interior of the forest to the geostatistical analysis, necessary for breeding purposes. Here we present the assumptions for technical equipment and describe the components of the device, including the systems of sensor and control. In the further stage of the study we performed the comparative test of the prototype with a professional weather station. The results show a very strong correlation between data from both devices, while the average error relative is at a very satisfactory level: temperature (0.15°C), relative humidity (-3.73%), pressure (-3.37 hPa) and light intensity (-0.82 klx). The project proved that it is possible to construct simple and economically grounded weather station. The total cost of presented prototype does not exceed 500 PLN (ca. 110 US\$). We suggest to continue further research and development of the network of similar weather stations. It may allow to create a model of meteorological factors for bigger areas.

KEY WORDS

Arduino™, Stevenson Screen, sensors meteorological parameters, forest

ADDRESSES

Paweł Szymański ⁽¹⁾ – e-mail: p.szymanski@wl.sggw.pl

Marcin Szymański ⁽²⁾ – e-mail: szymek261@o2.pl

Michał Śmieja ⁽²⁾ – e-mail: smieja@uwm.edu.pl

Michał Brach ⁽¹⁾ – e-mail: Michal.Brach@wl.sggw.pl

Wojciech Oźga ⁽³⁾ – e-mail: wojciech_ozga@sggw.pl

⁽¹⁾ Samodzielny Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, SGGW w Warszawie;
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Katedra Mechatroniki i Edukacji Techniczno-Informatycznej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski;
ul. Słoneczna 46A, 10-710 Olsztyn

⁽³⁾ Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Pogoda to stan atmosfery w konkretnym miejscu i czasie [Rożek 2011]. Monitorowanie parametrów pogodowych wykonywane jest w sposób ciągły na stacjach meteorologicznych. W zależności od rzędu stacji wykonywane są pomiary i obserwacje różnej liczby parametrów, przede wszyst-

kim temperatury, wilgotności powietrza, wysokości opadów oraz kierunku i prędkości wiatru. Długie ciągi danych meteorologicznych umożliwiają analizę i modelowanie zmian klimatycznych [Grotjahn i in. 2016], natomiast krótkie sekwencje mogą być wykorzystywane w specyficznych badaniach mikroklimatycznych [Wirz i in. 2016].

Rozwój techniki pomiarowej znajduje zastosowanie w leśnictwie, znacznie usprawniając prowadzenie zrównoważonej gospodarki leśnej. Znajomość wartości różnych parametrów meteorologicznych pozwala na stosowanie odpowiednich zabiegów w zakresie ochrony lasu. Jednym z większych problemów gospodarki leśnej w czasie sezonu wegetacyjnego jest prognozowanie zagrożenia pożarowego. O szybkości rozprzestrzeniania się ognia decydują przede wszystkim warunki meteorologiczne [Wiler 2007]. Lasy cechuje większa wilgotność powietrza niż tereny niezalesione oraz występowanie odmiennych warunków termicznych, zwłaszcza pionowej stratyfikacji temperatury. Pomiarów temperatury na terenach leśnych wskazują na wolniejszą utratę ciepła, jak i wolniejsze nagrzewanie się względem terenów otwartych [Szymański 2001]. Z tego powodu uzasadnione jest prowadzenie całodobowych pomiarów bezpośrednio wewnątrz lasów w celu precyzyjniejszego określania zagrożenia pożarowego.

Sieć kompaktowych, niskobudżetowych klatek meteorologicznych może stać się narzędziem do badania wielu zależności przyrodniczych zachodzących wewnątrz drzewostanu. W oparciu o dane z sieci urządzeń w określonej lokalizacji można za pomocą metod analizy geostatystycznej tworzyć mapy zmieniających się warunków mikroklimatycznych. Taka informacja może pomóc w rozwiązywaniu problemów szkółkarskich. Przykładem może być poszukiwanie odpowiedniego miejsca do założenia szkółki leśnej podokapowej, jak również monitorowanie jej mikroklimatu. Zamontowanie wielu dedykowanych stacji na dużym obszarze poszukiwań pozwoli znaleźć optymalną powierzchnię pod szkółkę leśną. Gotowy obiekt również wymaga stałego monitoringu warunków meteorologicznych [Walendzik 1992], szczególnie z uwzględnieniem naturalnych zmrozowisk wpływających negatywnie na materiał sadzeniowy [Schnaider 1992]. Umieszczenie stacji pogodowych ze zdalnym przekazem informacji w otulinie drzewostanowej szkółki leśnej oraz w jej wnętrzu może dostarczać cennych informacji o nagłych spadkach temperatury (przymrozki wczesne i późne). Szybkie uruchomienie deszczowni w niesprzyjających warunkach może ochronić młode sadzonki przed uszkodzeniem tegorocznych przyrostów [Babiński, Bialkiewicz 1992]. Analogicznie należy postępować w przypadku zbyt wysokiej temperatury (gleba 45-60°C), jak i nasłonecznienia, unikając tym samym słonecznej zgorzeli siewek [Małuja 1992].

Dokładna informacja o siedlisku stanowi podstawę planu hodowlanego. Las wytwarza specyficzny mikroklimat, zwany fitoklimatem leśnym [Szymański 2001]. Bardzo duże znaczenie dla bioróżnorodności biologicznej ma poszukiwanie kompleksów leśnych odpowiedniej wielkości, potrzebnych do zachowania właściwych warunków we wnętrzu lasu [Murat 2005]. Szczegółowe badanie wnętrza lasu z wykorzystaniem proponowanego w niniejszym projekcie urządzenia może znacznie wzbogacić zakres informacji przydatnych zarówno z punktu widzenia bioróżnorodności, jak i badań podstawowych.

Na rynku jest dostępnych wiele różnych stacji pogodowych: od najprostszych, kosztujących około 40 zł (pomiar temperatury i wilgotności – bez możliwości zapisu), poprzez urządzenia w cenie około 900 zł (pomiar temperatury, wilgotności, ciśnienia i prędkości wiatru – z 7-dniowym zapisem danych – firma Oregon Scientific), kończąc na modelach za około 7000 zł, z możliwością pomiaru parametrów analogicznie jak w poprzednim modelu. Różnice cen wynikają głównie z zastosowanych czujników. Dostępne stacje są systemami zamkniętymi, co oznacza brak możliwości samodzielnej naprawy urządzenia lub modyfikacji czujników.

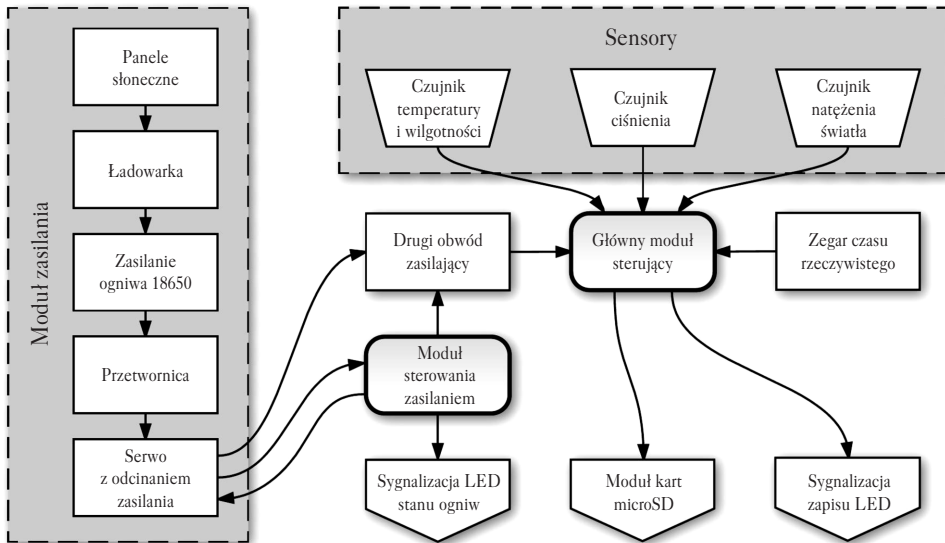
Celem pracy było zaprojektowanie, zbudowanie i przetestowanie prototypu niskobudżetowej stacji meteorologicznej umożliwiającej rejestrację parametrów pogodowych na potrzeby leśnictwa.

Hipoteza badawcza zakładała, że realne jest zbudowanie stacji meteorologicznej o koszcie poniżej 600 zł, z możliwością jej dalszej rozbudowy, wykonującej pomiary temperatury, wilgotności, ciśnienia i natężenia oświetlenia w trybie ciągłego zapisu danych przez minimum 2 tygodnie przy niesprzyjających warunkach pogodowych.

Material i metody

KONCEPCJA URZĄDZENIA POMIAROWEGO. Ze względu na specyficzne warunki panujące na obszarze leśnym przyjęto następujące założenia: mobilność, jednoosobowa obsługa urządzenia, montaż na drzewie o różnym obwodzie bez negatywnego oddziaływania na drzewa i otoczenie, zapis danych na karcie pamięci microSD przez minimum 14 dni oraz odporność na zmienne warunki atmosferyczne.

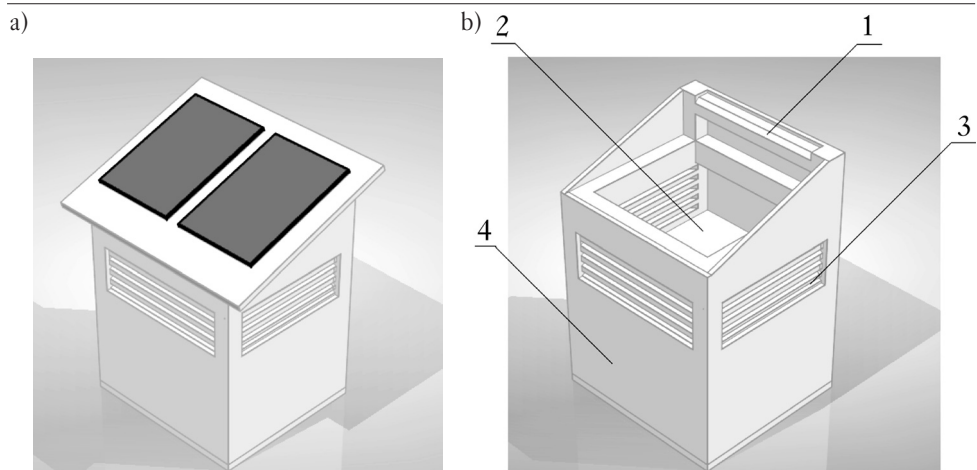
Prototyp stacji meteorologicznej został nazwany roboczo SZ/SZ 261. Projekt oparto na konstrukcji modułowej, umożliwiającej optymalizację parametrów pomiarowych oraz przystosowanie do różnego rodzaju terenu i warunków klimatycznych. Koncepcja stacji meteorologicznej obejmuje zastosowanie otwartej platformy z możliwością programowania przez interfejs USB. Analiza ekonomiczna i techniczna dostępnych na rynku rozwiązań, takich jak Raspberry PI 3, Intel Edison™ oraz Arduino™, doprowadziła do wyboru platformy Arduino™ Mini. Szczegółowe opisy mikrokontrolerów można znaleźć w fachowej literaturze [Kardaś 2013; Williams 2014]. W celu ochrony przed nadmiernym rozładowaniem ogniw przewidziano zastosowanie układu, którego zadaniem jest sterowanie zasilaniem, jak również sygnalizowanie stanu akumulatora i bieżącej temperatury ogniw z wykorzystaniem diody LED RGB (ryc. 1). Celem zwiększenia efektywności pracy akumulatora zamontowano na obudowie panele fotowoltaiczne. Dla minimalizacji błędów wynikowych obudowa stacji meteorologicznej powinna być wykonana z materiału term izolacyjnego, dlatego zastosowano konstrukcję z drewna brzoźowego pomalowaną na kolor biały, odbijający promienie słoneczne. Dach klatki wykonano ze szkła akrylowego. Zastosowana obu-



Ryc. 1.

Schemat prototypu SZ/SZ 261
 Diagram prototypu SZ/SZ 261

dowa pozwala na umieszczenie w niej czujników wraz z układem sterującym (ryc. 2). Całkowita waga (około 1 kg) oraz rozmiar prototypu pozwalają na jego montaż bezpośrednio na drzewie, bez uszkodzenia kory. W dolnej części szkieletu przewidziano miejsce na akumulatory, płytkę drukowaną oraz układ odpowiedzialny za sterowanie zasilaniem. W górnej części obudowy znajduje się płytka drukowana oraz czujniki na platformie Arduino™ (ryc. 3). Stacja mocowana jest do pnia drzewa za pomocą pasów, co umożliwi dopasowanie do jego obwodu (minimalna średnica drzewa: 20 cm). Obsługa prototypu jest bardzo prosta i nie wymaga od operatora znajomości szczegółów technicznych stacji pomiarowej. Zapis danych na kartę pamięci odbywa się automatycznie. Zaletą cyfrowej wersji danych jest możliwość szybkiej analizy wyników przez przekształcenie tabeli w wykresy. Zastosowanie do budowy urządzenia powszechnych i łatwo dostępnych części pozwala na utrzymanie niskich kosztów zintegrowanego systemu. Szacunkowy koszt budowy pojedynczego urządzenia to około 500 zł (w chwili zakupu części 1 USD=4,04 zł; 21.12.2016 roku 1 USD=4,18 zł).



Ryc. 2.

Prototyp z dachem i panelami słonecznymi (kolor czarny) (a) oraz rozmieszczenie poszczególnych elementów (b)

Prototype with the roof and solar panels (black) (a) and the arrangement of individual elements (b)

1 – mocowanie zawiasu, 2 – platforma z czujnikami, 3 – kratka wentylacyjna, 4 – akumulatory
 1 – attachment hinge, 2 – platform with sensors, 3 – ventilation grille, 4 – battery



Ryc. 3.

Płytkę z czujnikami oraz Arduino™ Pro Mini (fot. M. Szymański)

Plate with sensors and the Arduino™ Pro Mini (photo M. Szymański)

Przedstawiony prototyp jest w pełni programowalny, z możliwością zaimplementowania dodatkowych modułów (np. GSM, dodatkowe pakiety energetyczne, moduły regenerujące energię itd.) oraz czujników, np. rozkładu spektralnego promieniowania, stanu sanitarnego powietrza i innych.

Główny moduł sterujący oparto na platformie Arduino™ (ryc. 1). Jest on kluczowym elementem stacji [Tuczyński 2015] – odpowiada za sterowanie zasilaniem oraz odczytanie wartości z czujników i ich zapis na karcie pamięci.

Prototyp zbudowany jest z następujących elementów:

- panel słoneczny – główne źródło zasilania,
- ładowarka – ustala parametry zasilania panel/akumulator,
- ogniwo 18650 – główne źródło energii,
- przetwornica – dopasowanie parametrów zasilania sterownika do źródła,
- serwo z odcinaniem zasilania – zabezpieczenie ogniwi przed spadkiem napięcia,
- moduł sterowania zasilaniem – sterowanie modułem zasilania oraz sygnalizacja stanu ogniwi,
- sygnalizacja LED RGB – sygnalizuje stan napięcia oraz temperaturę na ogniwach (kolor zielony: 4,2-3,6 V, 35°C; niebieski: 3,5-3,1 V, 45°C; czerwony: $\geq 3,0$ V, 50°C),
- drugi obwód zasilający – służący do zasilania głównego modułu sterującego,
- główny moduł sterujący – odpowiada za przebieg pomiarów i gromadzenie danych,
- moduł kart microSD – zapis danych,
- zegar czasu rzeczywistego – moduł uzupełniający dane o aktualny czas,
- czujnik ciśnienia – BMP085,
- czujnik temperatury i wilgotności – DHT22,
- czujnik natężenia światła – BH1750,
- sygnalizacja zapisu LED (kolor zielony) – sygnalizacja zapisu na karcie microSD.

OCENA PROTOTYPU. Ocenę dokładności pomiarowej oraz efektywności działania prototypu stacji meteorologicznej SZ/SZ 261 przeprowadzono w warunkach terenowych. Wykonano pomiary temperatury, wilgotności i ciśnienia prototypem oraz na klasycznej (standardowej) stacji meteorologicznej o wymiarach 15×15 m zlokalizowanej w Rogowie (51°49'07,0" N, 19°53'45,2" E). Dane uzyskane ze stacji w Rogowie stanowiły materiał referencyjny (ryc. 4). Test rozpoczęto 29.12.2015 roku o godzinie 13:02, przy temperaturze otoczenia $-1,4^{\circ}\text{C}$ (pomiar ze stacji meteorologicznej w Rogowie), napięciu na akumulatorach 4,18 V (mierzone w temp. 20°C), wysokości zawieszenia urządzenia 2 m nad gruntem (ryc. 4) i kierunku skierowania paneli słonecznych SW230. Prototyp wykonywał pracę na jednym cyklu ładowania do 12.01.2016 roku do godziny 20:00. Analizę działania czujnika natężenia światła przeprowadzono w otwartej przestrzeni miejskiej



Ryc. 4.

Zamocowanie prototypu urządzenia na wysokości czujników (fot. P. Szymański)
Fastening device prototype at a height of the sensors (photo P. Szymański)

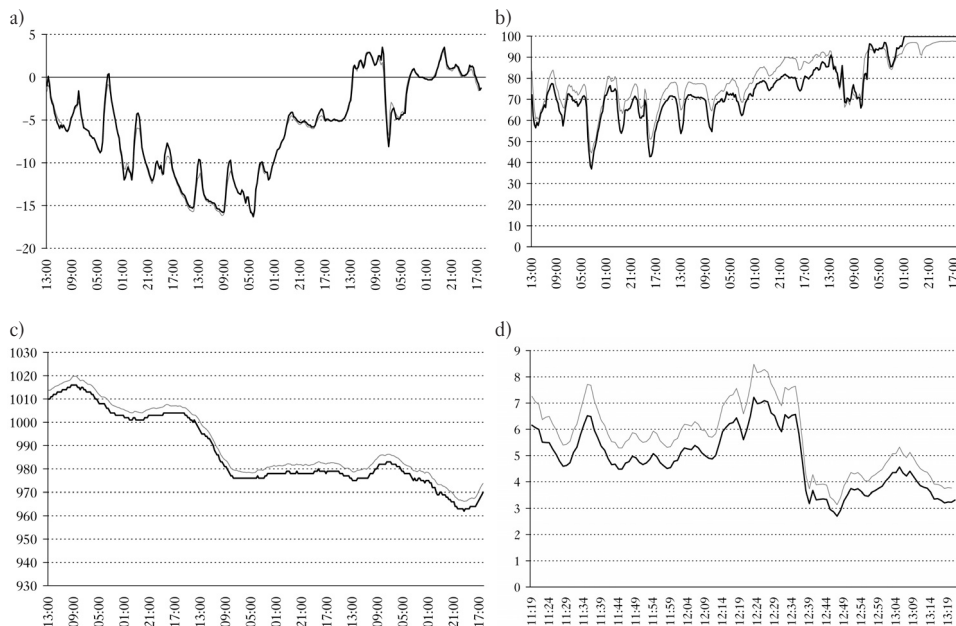
w Ostrołęce (53°04'56" N, 21°33'51" E). Dane referencyjne pomiaru natężenia oświetlenia pozyskano za pomocą luksomierza precyzyjnego L-50 firmy Sonopan posiadającego świadectwo Głównego Urzędu Miar. W dniu 30.01.2016 roku w godzinach 11:19-13:20 wykonano łącznie 122 pomiary natężenia oświetlenia.

Wyniki

Na terenie stacji meteorologicznej w Rogowie skonstruowany prototyp wykonał 345 pomiarów w godzinnej rozdzielczości czasowej. Łączny czas pracy urządzenia to około 346 godzin, głównie w temperaturze poniżej 0°C. Wyniki uzyskane za pomocą urządzenia prototypowego wskazują na silną korelację z danymi referencyjnymi ze stacji w Rogowie (tab.). Średnia różnica temperatury wynosi 0,2°C (ryc. 5a), podczas gdy wilgotność względna i ciśnienie są zaniżane przez badane urządzenie odpowiednio o -3,7% i -3,4 hPa w stosunku do pomiarów referencyjnych (ryc. 5b, 5c). Porównanie odczytów natężenia światła urządzenia testowego z odczytami profesjonalnego luksomierza L-50 wskazuje zbieżność wyników (ryc. 5d), bowiem współczynnik korelacji wynosi 0,9996, a wartość maksymalna nie odbiega istotnie od średniej wynoszącej -0,8 klx (tab.).

Dyskusja

Prototyp SZ/SZ 261 można wykorzystać do badań związanych ze strukturą wewnętrzną drzewostanu, np. nad zależnościami układu przestrzennego drzew, który mógłby warunkować odpowiednie zmiany temperatury i wilgotności w fitocenozie leśnej. Dodatkowo można badać wpływ



Ryc. 5.

Przebieg zmian w czasie temperatury powietrza [°C] (a), wilgotności względnej [%] (b), ciśnienia atmosferycznego [hPa] (c) i natężenia światła [klx] (d) według danych z aparatury profesjonalnej (szary) i urządzenia SZ/SZ 261 (czarny)

Changes of temperature [°C] (a), relative humidity [%] (b), pressure [hPa] (c) and light intensity [klx] (d) according to professional measurement station (grey) and SZ/SZ 261 device (black)

Tabela.

Średnia (M), minimalna (Min) i maksymalna (Max) różnica oraz współczynnik korelacji (r) między danymi pomiarowymi z prototypu klatki meteorologicznej i danymi referencyjnymi

Mean (M), minimum (Min) and maximum (Max) difference and correlation coefficient (r) between data from the prototype of the meteorological station and the reference data

	M	Min	Max	r
Temperatura [°C] Temperature	0,15	0,00	-2,70	0,9954
Wilgotność [%] Relative humidity	-3,73	0,00	-12,80	0,9618
Ciśnienie [hPa] Pressure	-3,37	2,10	-4,40	0,9996
Natężenie oświetlenia [klx] Light intensity	-0,82	-0,44	-1,26	0,9995

wahań temperatury i wilgotności na odnowienie drzewostanu wewnątrz gniazd, jak i w kompleksach leśnych znajdujących się wokół gniazda. Zbiór danych dotyczących wartości i rozkładu w przestrzeni obszaru leśnego temperatury, wilgotności oraz natężenia światła, które dociera do wnętrza lasu, informuje, czy na wskazanym terenie będzie możliwe naturalne odnowienie drzewostanu.

Analiza wyników pozwala na stwierdzenie, że przebiegi czasowe mierzonych wartości uzyskane z urządzenia testowego i referencyjnego są silnie skorelowane. Wszystkie odczyty danych charakteryzują się błędem typu offset. Błąd ten można relatywnie łatwo zniwelować poprzez kalibrację w oprogramowaniu urządzenia. Znając błąd urządzenia, można wykonać korektę wyników przez dodanie stałej wartości do odczytów. Miejscowe różnice odczytów w prototypie mogą być spowodowane konstrukcją dachu (szkło akrylowe) oraz panelami fotowoltaicznymi, które pod wpływem promieniowania słonecznego wykazują tendencję do nagrzewania się. Występowanie różnic zaobserwowano bowiem głównie w przedziale godzinowym 11:00-13:00, czyli w momencie największego nasłonecznienia. W końcowej części wykresu wilgotności widoczna jest znaczna zmiana wartości, co spowodowane jest dużą amplitudą temperatury w krótkim czasie (ryc. 5a). Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w topnieniu śniegu i lodu, przez co wilgotność gwałtownie wzrastała. W dalszym etapie temperatura obniżyła się wraz z wilgotnością, co wskazuje na bezwładność czujników spowodowaną szybką zmianą warunków meteorologicznych. W przypadku badań dokładności pomiaru natężenia światła również zaobserwowano istnienie błędu stałego. Uwzględnienie wielkości poprawki w postaci korekty w oprogramowaniu urządzenia SZ/SZ 261 pozwoliłoby na obniżenie maksymalnego błędu do 400 lx. W czasie trwania testu nie zaobserwowano zakłóceń zasilania, mimo że pomiary wykonywano w warunkach zimowych, przy temperaturze w większości przypadków poniżej 0°C. Czas pracy urządzenia przekroczył oczekiwania konstruktora. W warunkach letnich można założyć wielokrotnie dłuższy czas pracy urządzenia – ze względu na większą pojemność akumulatorów w temperaturze dodatniej oraz ich efektywniejsze ładowanie przez panele słoneczne.

Wykonane w warunkach rzeczywistych testy prototypu wykazują bardzo duże zbieżności w stosunku do drogiej profesjonalnej aparatury pomiarowej. Zastosowanie platformy Arduino™ jako układu zbierającego dane i sterującego zasilaniem całego urządzenia jest optymalnym rozwiązaniem technicznym. Wykorzystanie gotowych komponentów sensorycznych znacznie upraszcza konstrukcję i redukuje koszty produkcji. Obecność interfejsu USB oraz kart microSD umożliwia szybkie programowanie oraz prosty odczyt danych pogodowych przy wykorzystaniu komputera klasy PC lub MAC.

Konstrukcja układu pomiarowego ma charakter otwarty, co umożliwia jego dalszą rozbudowę, np. o czujnik zawartości CO₂ w powietrzu, pomiar temperatury gruntu na głębokości 5-10 cm, czujnik prędkości wiatru, kamerę (fotopułapka, monitoring otoczenia w barwach RGB lub IR) oraz komunikację GSM, radiową czy online. Niskie koszty finalne prototypu pozwolą w przyszłości na stworzenie sieci pomiarowej w lesie. Następnym etapem badań zakłada się rozmieszczenie docelowo około 500 analogicznych stacji meteorologicznych, które będą wysyłały dane pomiarowe do stacji głównej. Stacja centralna będzie połączona z internetem, co da możliwość śledzenia zmian na badanym obszarze w czasie rzeczywistym. Rozbudowa stacji o dodatkowe moduły związana jest ze zwiększonym poborem energii. W takim przypadku należałoby zwiększyć liczbę ogniw oraz zamontować dodatkowe alternatywne źródła energii, np. panele słoneczne (w większej liczbie i bardziej wydajne) oraz generator wiatrowy – przydatny w pochmurne dni.

Wnioski

- ✦ Na tle rozwiązań dostępnych na rynku prototyp jest wyróżniającą się platformą meteorologiczną, będącą konkurencyjną alternatywą. Jest w pełni programowalny, łatwy i tani w naprawie. Ponadto istnieje możliwość rozbudowy o dodatkowe moduły czujników środowiskowych.
- ✦ Wyniki pomiarowe uzyskane za pomocą prototypu i profesjonalnej stacji meteorologicznej są silnie skorelowane, co uzasadnia możliwość zastosowania tego urządzenia do pomiarów w środowisku leśnym, a także w innych warunkach.
- ✦ Zaproponowane rozwiązanie jest ekonomicznie uzasadnione i odporne na niesprzyjające warunki meteorologiczne (opady, temperatura), co czyni je optymalnym do zastosowań leśnych.
- ✦ Niewątpliwym atutem urządzenia jest możliwość zbierania danych o środowisku leśnym w sposób ciągły, ułatwiający prowadzenie analiz statystycznych oraz archiwizację danych.

Literatura

- Babiński S., Białkiewicz F. 1992. Deszczowanie szkółek. W: Sobczak R. [red.]. Ochrona szkółek. Szkółkarstwo leśne. Wydawnictwo Świat, Warszawa. 130-141.
- Grotjahn R., Black R., Leung R., Wehner M. F., Barlow M., Bosilovich M., Lee Y. Y. 2016. North American extreme temperature events and related large scale meteorological patterns: a review of statistical methods, dynamics, modeling, and trends. *Climate Dynamics* 46 (3-4): 1151-1184.
- Kardaś M. 2013. Mikrokontrolery AVR. Język C – podstawy programowania. Wydawnictwo Atnel, Szczecin.
- Małuja J. 1992. Ochrona przed niekorzystnymi czynnikami atmosferycznymi. W: Sobczak R. [red.]. Ochrona szkółek. Szkółkarstwo leśne. Wydawnictwo Świat, Warszawa. 150-151.
- Murat E. 2005. Poradnik hodowcy lasu. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Rożek T. 2011. Nauka po prostu. Wywiady z wybitnymi. Wydawnictwo Demart, Warszawa.
- Schnaider Z. 1992. Wprowadzenie. W: Sobczak R. [red.]. Ochrona szkółek. Szkółkarstwo leśne. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Szymański S. 2001. Ekologiczne podstawy hodowli lasu. PWRiL, Warszawa.
- Tuczyński K. 2015. Projekt i realizacja zautomatyzowanej stacji meteorologicznej. Olimpiada techniki. Plzeń. 81-86.
- Walendzik R. J. 1992. Rodzaje szkółek. W: Sobczak R. [red.]. Ochrona szkółek. Szkółkarstwo leśne. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Wiler K. 2007. Ochrona lasów przed pożarami. CILP, Warszawa.
- Williams E. 2014. Programowanie układów AVR dla praktyków, wydawnictwo Helion, Gliwice.
- Wirz V., Gruber S., Purves R. S., Beutel J., Gärtner-Roer I., Gubler S., Vieli, A. 2016. Short-term velocity variations at three rock glaciers and their relationship with meteorological conditions. *Earth Surface Dynamics* 4 (1): 103.