

Platforma pomiarowa do badania jakości działania lamp lotniskowych

Jakub Suder, Piotr Maciejewski, Kacper Podbucki, Tomasz Marciniak, Adam Dąbrowski

Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów,
ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań

Streszczenie: W artykule przedstawiono opracowaną platformę pomiarową do badania jakości działania lamp lotniskowych. Urządzenie zostało skonstruowane w formie przyczepy dostosowanej do ciągnięcia przez samochód służb lotniskowych. Czujniki pomiarowe zabudowano jako matryce umieszczone pod spodem platformy, pod osłoną z gumy. Praca systemu jest nadzorowana przez mikrokomputer. Wyniki badania można obserwować na wbudowanym ekranie a także, dzięki transmisji bezprzewodowej, za pomocą urządzenia mobilnego. Weryfikację poprawności działania urządzenia przeprowadzono zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i podczas testów na drodze startowej oraz drogach kołowania Portu Lotniczego Poznań-Ławica.

Słowa kluczowe: badanie światłości, lampy lotniskowe, platforma pomiarowa, lotnisko, pas startowy, ILS, ICAO, PANSA, PAŻP

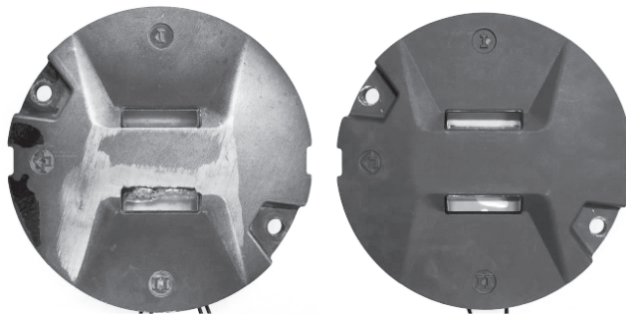
1. Wprowadzenie

Wzrost wymagań europejskich i światowych agencji zajmujących się bezpieczeństwem lotniczym od kilku lat determinuje coraz dokładniejszą kontrolę oświetlenia znajdującego się na płaszczyznach lotniskowych, czyli między innymi na drogach startowych oraz drogach kołowania [1]. Lampy lotniskowe są wyposażone w żarówki halogenowe, które mają ograniczoną żywotność [2]. Spadek sprawności świetlnej lamp jest determinowany przez zabrudzenie pryzmatów (np. przez przywierającą, sproszkowaną gumę z opon samochodów).

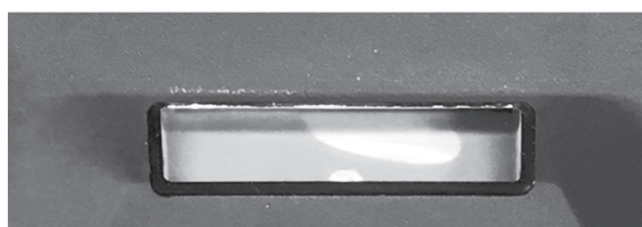
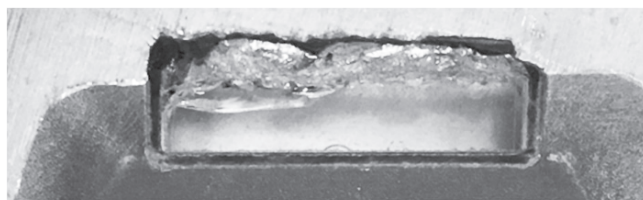
Oprawy lamp (rys. 1) oraz ich pryzmaty (rys. 2) mogą także ulegać uszkodzeniu przez maszyny utrzymujące czystość dróg startowych i dróg kołowania, zwłaszcza podczas ich zimowego odśnieżania. Metalowe szczotki zarysowują oprawy lamp i wyszczerbiają ich pryzmaty, wymuszając konieczność wymiany uszkodzonych lamp.

Codzienna inspekcja poprawności działania oświetlenia odbywa się przez ocenę wzrokową. W przypadku zauważenia nieprawidłowości działania lampy, jest ona demontowana i zastępowana inną. Okresowe oceny poprawności działania lamp lotniskowych można przeprowadzać za pomocą specjalnych urządzeń dostępnych komercyjnie, projektowanych dla konkretnych portów lotniczych.

Na przykład urządzenie oferowane przez firmę FB Technology umożliwia badanie poziomu natężenia wiązek emitowa-



Rys. 1. Lampa uszkodzona (po lewej) i nowa (po prawej)
Fig. 1. Damaged lamp (left) and factory new (right)



Rys. 2. Pryzmat uszkodzony (u góry) oraz nowy (na dole)
Fig. 2. Damaged prism (top) and factory new (bottom)

Autor korespondujący:

Tomasz Marciniak, tomasz.marciniak@put.poznan.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 30.05.2019 r., przyjęty do druku 28.06.2019 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

nego światła, zarówno opraw zagłębionych jak i naziemnych [3]. Warty uwagi rozwiązaniem jest tworzenie bazy danych z uprzednio wykonanych pomiarów, która pozwala na obserwowanie stopnia zużycia poszczególnych lamp, co w konsekwencji umożliwia dobranie właściwego sposobu konserwacji oświetlenia. Zestaw pomiarowy można zamontować na dowolnym samochodzie z przodu lub z tyłu, dzięki zastosowaniu specjalnego stelaża. Komunikacja między czujnikami a laptopem bądź tabletem odbywa się bezprzewodowo, przez sieć Wi-Fi lub, gdy nie ma takiej możliwości ze względu na procedury obowiązujące na lotnisku, za pośrednictwem kabla Ethernet. Dodatkowo producent oferuje opcjonalne zastosowanie systemu DGPS (ang. *Differential Global Positioning System*) do lokalizacji punktów pomiarowych. Wymaga to jednak ingerencji w stacjonarne instalacje lotniskowe.

Badanie lamp odbywa się w trakcie ruchu pojazdu, którego prędkość podczas pomiaru nie może przekroczyć 60 km/h. Kontrola jest realizowana niezależnie od warunków atmosferycznych i pory dnia. Poprawne zbliżenie się do opraw jest wspomagane przez obraz z kamery przekazywany w trybie on-line do kabiny kierowcy.

Firma DeWiTec ma w swojej ofercie urządzenie Dalmas AFL Analysis, które również bada oprawy zagłębione, a także naziemne [4]. Ma ono postać przyczepy mocowanej do dowolnego samochodu wyposażonego w hak holowniczy. W celu przeprowadzenia kontroli potrzebna jest jedna osoba. Pomiar może być dokonywany w dowolnych warunkach oświetleniowych i atmosferycznych. W odróżnieniu od konkurencyjnego produktu, prędkość jazdy podczas badania jest niższa i mieści się w zakresie do 25–35 km/h. Kierowca ma szereg udogodnień pozwalających na precyzyjne dokonanie przejazdu. Urządzenie prowadzi do punktu rozpoczęcia pomiaru, a następnie do każdej z kolejnych lamp. Dodatkowym udogodnieniem są dwie kamery oraz laserowa linia wyznaczająca kierunek jazdy.

Wszystkie informacje są dostępne w trybie on-line w oprogramowaniu dedykowanym konkretnemu lotnisku. Raportowanie odbywa się natychmiast po dokonaniu pomiarów wraz z zaleceniami dotyczącymi konserwacji oraz niezbędnymi danymi i wykresami. Opcjonalnie w celu lokalizacji miejsca kontroli może zostać użyty system DGPS.

Jednak aspekt wysokich kosztów przedstawionych urządzeń komercyjnych [3, 4] był motywacją do opracowania nowego, niskobudżetowego urządzenia o wysokich walorach użytkowych, dostosowanego do wymagań Portu Lotniczego Poznań-Ławica, umożliwiającego szybką, codzienną inspekcję oświetlenia dróg na płaszczyznach lotniskowych. Takim rozwiązaniem jest autorska platforma pomiarowa o walorach podobnych



Rys. 3. Widok opracowanego prototypu platformy pomiarowej
Fig. 3. View of the prototype of measuring platform

do urządzeń komercyjnych. Widok opracowanego prototypu przedstawiono na rys. 3. Wykorzystano w nim mikrokomputer Raspberry Pi [5, 6].

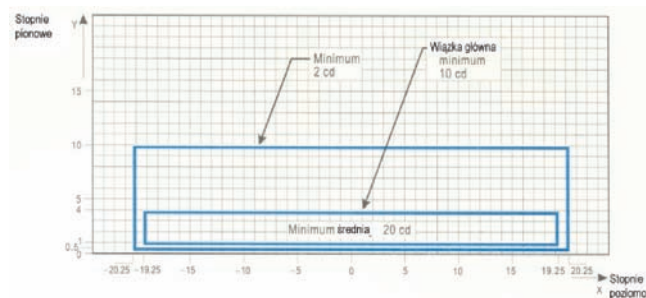
2. Charakterystyki naziemnych świateł lotniskowych

Każdy rodzaj lamp lotniskowych musi spełniać wymagania rygorystycznych norm, ściśle określone przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) w dokumencie opisującym projektowanie lotnisk [1]. Intensywność światła jest wyrażana w kandelach (cd) i zależy od kąta świecenia. Na rys. 4 pokazano przykładowy wykres izokandeli dla świateł linii środkowej drogi kołowania.

Najczęściej nowe oprawy, stosowane na drogach kołowania, znacząco wykraczają parametrami poza minimalne wartości określone przez normy (rys. 4). Wynika to przede wszystkim z wymagań co do natężenia światła na drodze kołowania, gdzie główną rolą punktów świetlnych jest nawigacja statków powietrznych już na ziemi.

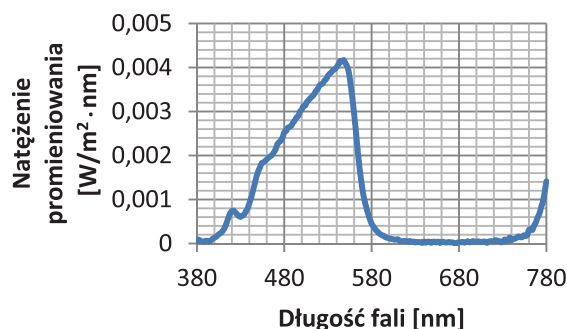
Lampy linii centralnej drogi kołowania są wyposażone w dwa niezależne obwody elektryczne, które odpowiadają za świecenie w obie strony oprawy. Światło jest emitowane przez żarówkę halogenową o mocy 40 W i białej barwie, które po przejściu przez dichroiczne filtry barwne znajdujące się przed pryzmatem zmienia kolor na zielony (rys. 5). Oprawy są montowane w płaszczyźnie drogi kołowania, jednakże wystają ponad jej powierzchnię na wysokość 6,3 mm. Lampy te są zasilane za pomocą źródła prądowego 6,6 A [7].

Normy intensywności linii centralnej drogi startowej (rys. 6) różnią się w zależności od kategorii, która jest wymagana w porcie lotniczym. Najwyższe wartości intensywności oprawy te muszą spełniać w zakresie 0° do 9° w osi pionowej oraz -5° do 5° w osi poziomej dla głównej wiązki.



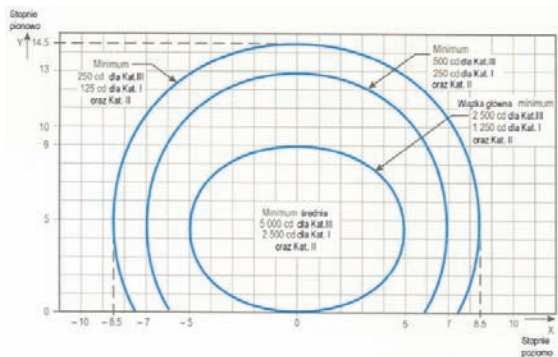
Rys. 4. Wykres izokandeli dla świateł linii środkowej drogi kołowania (rozstaw 7,5 m, 15 m, 30 m) [1]

Fig. 4. Isocandela diagram for taxiway centre line light (distance 7.5 m, 15 m, 30 m) [1]

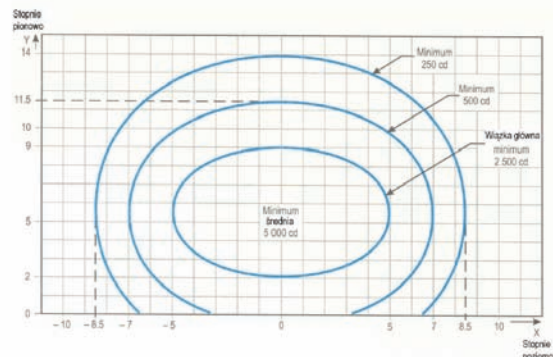


Rys. 5. Natężenie promieniowania widmowego lampy linii centralnej drogi kołowania IDM5582

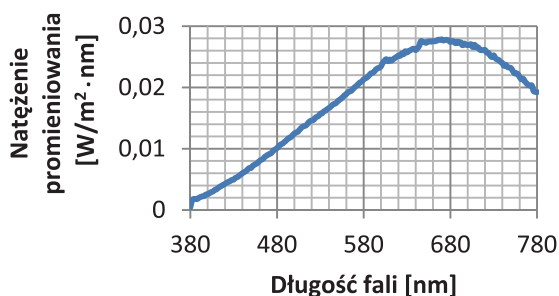
Fig. 5. Spectrum radiation intensity of taxiway centre line light IDM5582



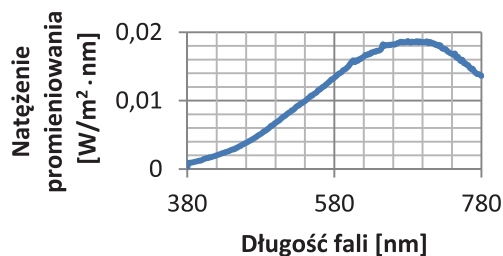
Rys. 6. Wykres izokandeli dla świateł linii centralnej drogi startowej o odstępach podłużnym 15 m (światło białe) [1]
 Fig. 6. Isocandela diagram for runway centre line light – lengthwise distance 15 m (white light)



Rys. 9. Wykres izokandeli dla świateł strefy przyziemienia (światło białe) [1]
 Fig. 9. Isocandela diagram for touchdown zone light (white light) [1]



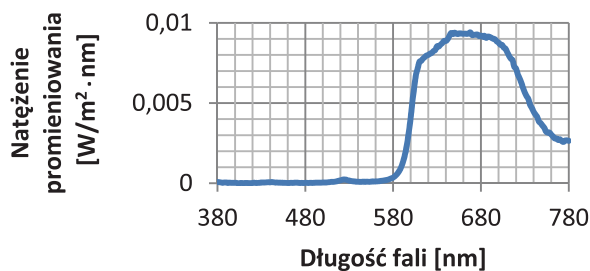
Rys. 7. Natężenie promieniowania widmowego lampy linii centralnej drogi startowej IDM4582 (białej)
 Fig. 7. Spectrum radiation intensity of runway centre line light IDM4582 (white)



Rys. 10. Natężenie promieniowania widmowego lampy strefy przyziemienia IDM4671
 Fig. 10. Spectrum radiation intensity of touchdown zone light IDM4671

Lampy linii centralnej drogi startowej mają oprawy dwukierunkowe, obustronnie emitujące światło białe (rys. 7) lub białe i czerwone (rys. 8), przy czym świecą w przeciwnych kierunkach. Podobnie jak w przypadku lamp drogi kołowania mają dwa obwody elektryczne i są wyposażone w żarówki halogenowe o mocy 48 W, emitujące światło białe. Te oprawy są zagłębione w płaszczyznę pasa startowego, jednak ich najwyższe punkty wystają ponad powierzchnię na wysokość 10 mm.

Barwa czerwona jest uzyskiwana za pomocą dichroicznego filtra barwnego zainstalowanego przed pryzmatem. Normy dla światła czerwonego stanowią 15% wartości podanych dla światła białego. Wynika to z umiejscowienia lamp i ich roli, a mianowicie oznaczenia końca drogi startowej. Oprawy te są mocowane naprzemiennie kierunkami świecenia w końcowej części pasa startowego.



Rys. 8. Natężenie promieniowania widmowego lampy linii centralnej drogi startowej IDM4582 (czerwonej)
 Fig. 8. Spectrum radiation intensity of runway centre line light IDM4582 (red)

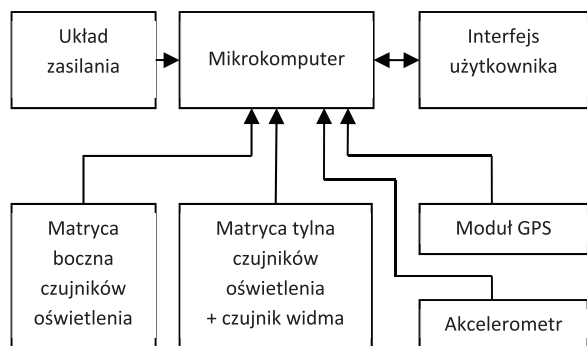
Normy jasności lamp strefy przyziemienia (rys. 9) charakteryzują się innym zakresem kątów pionowych dla wiązki głównej. Wynika to z ich roli, która polega na uwidocznieniu pilotowi miejsca na pasie startowym, w którym należy wylądować statkiem powietrznym. Kąty poziome wiązki głównej znajdują się w zakresie od -5° do 5° , natomiast pionowe – w zakresie od 2° do 9° .

Lampy strefy przyziemienia mają oprawy jednokierunkowe, emitujące światło białe (rys. 10), którego źródłem jest żarówka halogenowa o mocy 48 W. Lampy tego typu są montowane poprzecznie po obu stronach linii centralnej pasa startowego po sześć w rzędzie (trzy po lewej i trzy po prawej stronie). One także są zagłębione w płaszczyznę pasa startowego, jednak wystają nad jego powierzchnię na wysokość 10 mm.

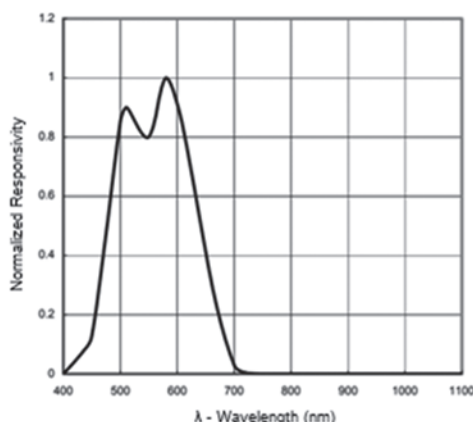
Wykresy z rys. 5, 7, 8 i 10, na których przedstawione zostały natężenia promieniowania światła o określonej długości fali, powstały w wyniku badania każdego egzemplarza lamp za pomocą spektrometru Gigahertz-Optik X4 Light Analyzer [8]. Urządzenie to pozwala na pomiar natężenia promieniowania widmowego oraz radiometrycznego natężenia napromieniowania [9]. W tym przypadku wybrana została zależność tego pierwszego względem długości fali. Wykonane przez autorów pomiary natężenia promieniowania widmowego pozwoliły ocenić wymagania odnośnie czujników natężenia światła.

3. Koncepcja i elementy elektroniczne urządzenia

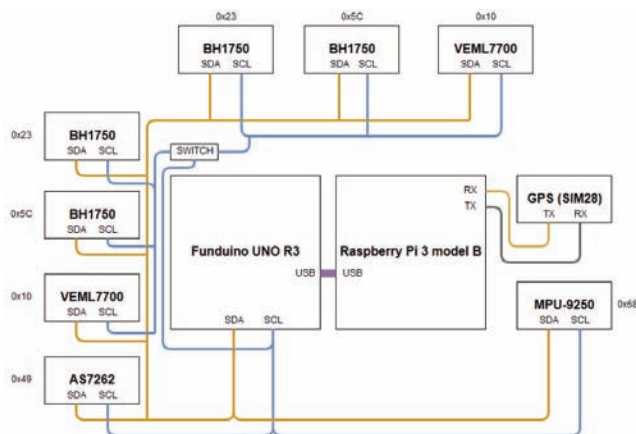
Schemat koncepcyjny urządzenia pokazano na rys. 11, natomiast schemat połączeń poszczególnych elementów elektronicznych zilustrowano na rys. 12. Zaprojektowany i zbudowany system składa się z mikrokomputera, sześciu czujników światła,



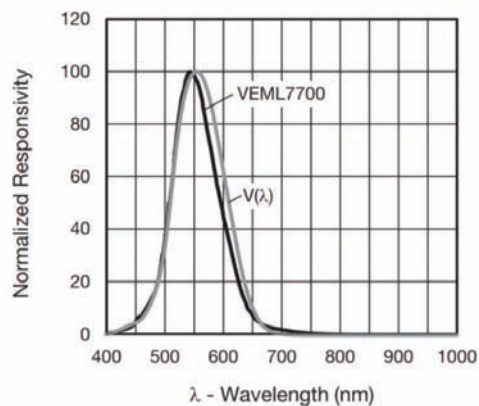
Rys. 11. Schemat ideowy platformy pomiarowej
Fig. 11. Block diagram of the measuring platform



Rys. 14. Charakterystyka czujnika BH1750 [13]
Fig. 14. BH1750 spectral response [13]



Rys. 12. Schemat połączeń elementów elektronicznych
Fig. 12. Circuit diagram of electronic components

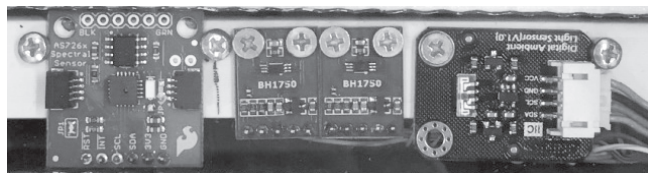


Rys. 15. Charakterystyka czujnika VEML7700 [14]
Fig. 15. VEML7700 spectral response [14]

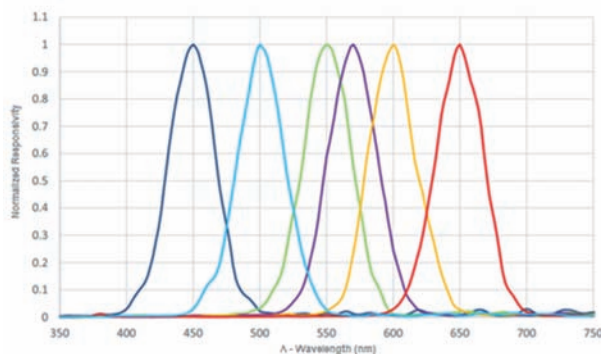
cyfrowego czujnika spektrum światła widzialnego, żyroskopu, modułu GPS oraz wyświetlacza LCD. Centralnym elementem urządzenia jest mikrokomputer Raspberry Pi 3 model B [5], który jest wyposażony w procesor quad-core 1,2 GHz 64-bit ARM-8 Cortex-A53, 1 GB RAM, wbudowany moduł Wi-Fi, Bluetooth, cztery porty USB, 40 pinów GPIO, gniazdo Ethernet oraz slot na kartę microSD. Wbudowany moduł Wi-Fi umożliwił użycie Raspberry Pi 3 model B jako punktu dostępowego.

Zaproponowane rozwiązanie pozwoliło na zdalne wyświetlanie wyników pomiarów na laptopie, tablecie lub telefonie. Oprogramowanie działa w systemie operacyjnym Raspbian Stretch. Zadania związane z analizą danych są realizowane przez program napisany w środowisku Node-RED, które pozwoliło także przygotować interfejs użytkownika [10].

Urządzeniem, które odbiera dane bezpośrednio z czujników, jest moduł Funduino UNO R3 [11], które wykorzystano ze względu na dostępność i niezawodność niezbędnych bibliotek [12]. Jest ono wyposażone w mikrokontroler ATmega 328P, ma 14 wejść/wyjść cyfrowych, 6 wejść/wyjść PWM, 6 złączy analogowych, taktowanie procesora 16 MHz, pamięć 32 kB (gdzie 0,5 kB to bootloader), pamięć SRAM 2 kB, EEPROM 1 kB.



Rys. 13. Matryca czujników pomiarowych
Fig. 13. Matrix of measurement sensors



Rys. 16. Charakterystyka czujnika AS7262 [15]
Fig. 16. AS7262 spectral response [15]

Urządzenie umożliwia komunikację po magistrali I²C oraz przez port szeregowy, co zostało wykorzystane w opracowanym urządzeniu. Poszczególne podprogramy do obsługi czujników (tworzących matrycę pokazaną na rys. 13) przygotowano w środowisku Arduino IDE.

Czujnik natężenia światła (luminancji/emitancji) BH1750 działa w zakresie od 1 lx do 65 535 lx z dwoma rodzajami rozdzielczości: co 1 lx lub co 4 lx i może określać natężenie światła w zakresie długości fali od 320 nm do 1050 nm (rys. 14) [13]. Magistralę I²C, jak wspomniano, wykorzystano do komunikacji. Dodatkowy pin ADDR umożliwia zmianę adresu modułu.

Czujnik DFRobot Gravity VEML7700 ma moduł cyfrowy o rozdzielczości 16-bitowej do pomiaru natężenia światła. Komunikacja odbywa się za pomocą magistrali I²C z zakresem pomiarowym od 0 lx do 120 000 lx w temperaturze od -25 °C do 85 °C

[14]. Ważną cechą tego modułu jest korekcja do fotometrycznej krzywej $V(\lambda)$, czyli względnej widmowej czułości oka ludzkiego (rys. 15). Krzywa $V(\lambda)$ odzwierciedla, ile razy fotometryczny strumień światła fali o długości λ jest mniejszy od strumienia światła dla długości fali 555 nm, przy takiej samej mocy źródła światła w kierunku obserwacji.

Moduł AS7262 to czujnik do badania widma światła widzialnego. Pomiar odbywa się w sześciu kanałach dla fal o długości 450 nm, 500 nm, 550 nm, 570 nm, 600 nm i 650 nm z szerokością połówkową FWTH (ang. *full-width half-max*) o wartości 40 nm (rys. 16). Komunikacja może odbywać się za pomocą magistrali UART bądź I²C. Dane są przekazywane jako 16-bitowe słowa [15].

Opracowana platforma ma możliwość geolokalizacji, dzięki zastosowaniu modułu GPS, w którym użyto układ SIM28. Zewnętrzna antena ma impedancję 50 Ω oraz wzmocnienie > 25 dB, a komunikacja z modulem odbywa się za pomocą interfejsu UART [16]. Pomiar z wykorzystaniem zastosowanego modułu GPS, zgodnie z deklaracjami producenta, umożliwia geolokalizację z dokładnością do około 2,5 m. Taka precyzja jest wystarczająca do określenia pozycji lampy, biorąc pod uwagę, że badane typy lamp lotniskowych są rozmieszczone w odległości 15 m. Dodatkowym urządzeniem, umożliwiającym np. badanie prędkości, jest SparkFun MPU-9250. Łączy on 3-osiowy akcelerometr, żyroskop oraz magnetometr. Komunikuje się za pomocą magistrali I²C [17]. Badanie lamp lotniskowych rozmieszczonych zgodnie z niezmiennym położeniem generalnie nie wymaga takich elementów, jak moduły GPS czy MPU. Mogą one jednak ułatwiać raportowanie wyników pomiaru, określając miejsce prowadzenia pomiarów.

4. Oprogramowanie

Przygotowane oprogramowanie urządzenia pozwala na pracę w dwóch trybach: manualnym i automatycznym (rys. 17).

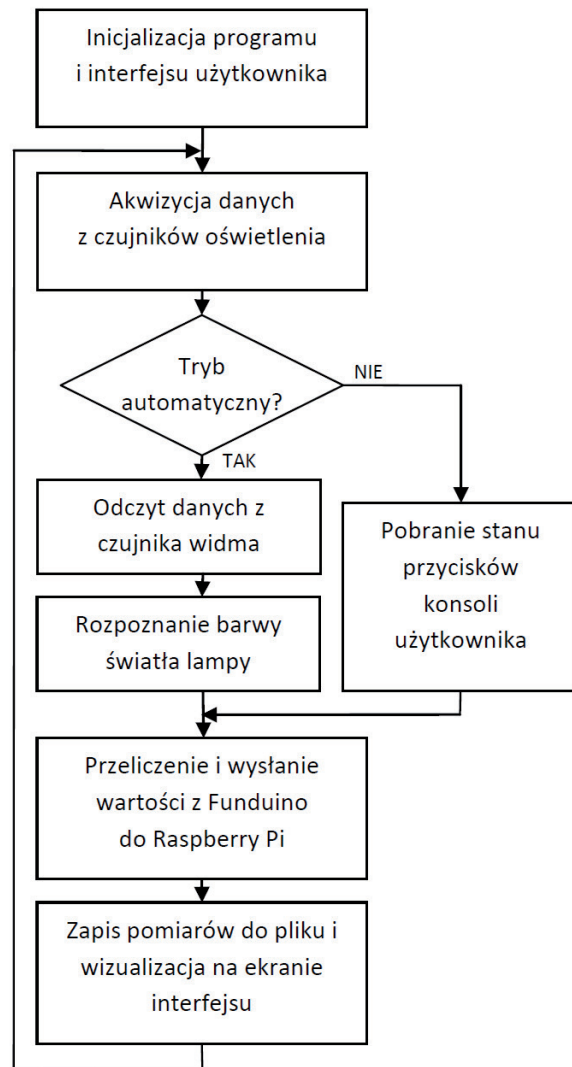
Pierwszy etap badania w trybie manualnym to odczyt natężenia światła przez czujniki BH1750 i przesłanie danych do programu, który dokonuje przekształcenia do światłości, gdyż tego wymagają normy. Równoległe do komputera przesyłane są współrzędne geograficzne z odbiornika GPS. Operator, w zależności od rodzaju i umiejscowienia lampy na pasie, musi manualnie wybrać odpowiedni tryb pracy urządzenia oraz matrycę czujników boczną lub tylną.

W trybie automatycznym najpierw jest badane spektrum światła w celu określenia odpowiednich przeliczników charakterystycznych dla konkretnych opraw, pozostałe działania są identyczne, jak w trybie manualnym.

Zaprojektowany interfejs użytkownika (pokazany na rys. 18) umożliwi sprawną i przejrzystą obsługę urządzenia za pomocą ekranu dotykowego. Na ekranie jest prezentowany wykres światłości oraz wskaźnik prezentujący obecną wartość wraz z graficznym przedstawieniem, czy norma została spełniona czy też nie (zmienia się kolor wskaźnika z zielonego na czerwony). Jak wspomniano wcześniej, istnieje także możliwość obsługi urządzenia z poziomu komputera, smartfona lub tabletu, które po połączeniu z siecią mają dostęp do aplikacji urządzenia (rys. 19).

5. Laboratoryjne badania lamp oraz testy na lotnisku

Badania związane z przygotowaniem i kalibracją systemu podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie zbadano zestaw lamp lotniskowych (nowych i zużytych) oraz czujniki natężenia oświetlenia. Te badania przeprowadzono w laboratorium optyki Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Instytutu Elektro-



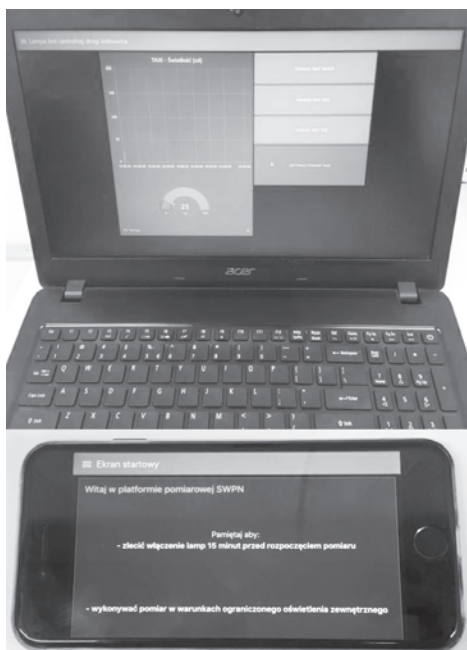
Rys. 17. Schemat blokowy programu głównego
Fig. 17. Block diagram of main program



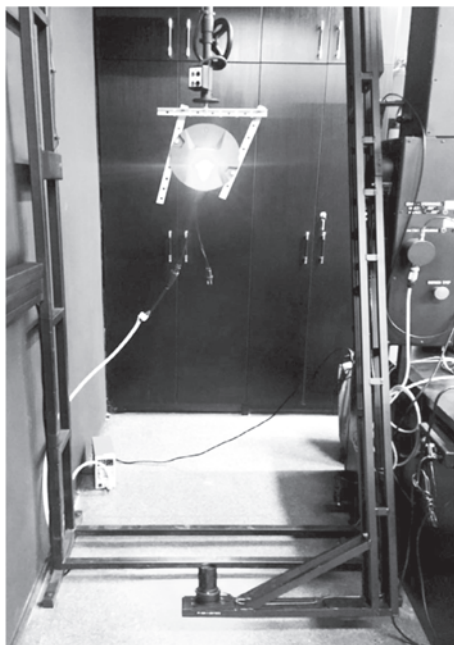
Rys. 18. Interfejs użytkownika na ekranie dotykowym
Fig. 18. User interface on touchscreen

techniki i Elektroniki Przemysłowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej.

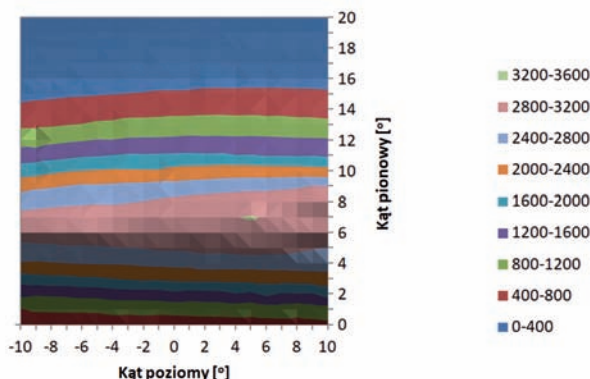
W ramach badań sprawdzono lampy linii centralnej drogi kołowania, lampy strefy przyziemia oraz lampy linii centralnej drogi startowej [18–20]. Badanie z użyciem goniometru BIG128 (rys. 20) przeprowadzono w trybie manualnym, za każdym



Rys. 19. Interfejs użytkownika na zdalnych urządzeniach
Fig. 19. User interface on remote devices



Rys. 20. Stanowisko do wyznaczania charakterystyk lamp lotniskowych
Fig. 20. Measuring stand for determining characteristics of lamps



Rys. 21. Charakterystyka światłości lampy strefy przyziemienia IDM4671 (nowej)
Fig. 21. Luminous intensity of touchdown zone light IDM4671 (factory new)

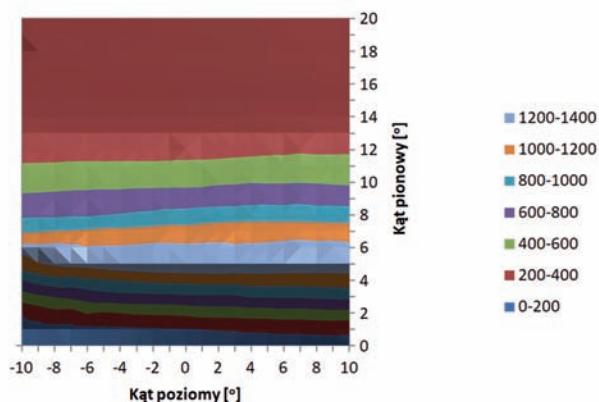
razem ustawiając wartości pożądanego kąta oraz odczytując i zapisując zmierzoną wartość natężenia światła z wyświetlacza.

Dzięki wykonanym pomiarom i otrzymanym na ich podstawie charakterystykom możliwa była kalibracja czujników zastosowanych w urządzeniu, których czułość zmienia się wraz ze zmianą długości padającej na nie fali.

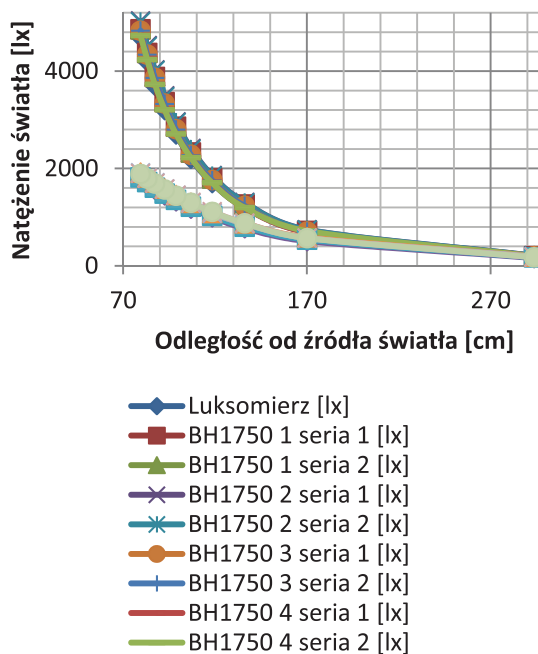
W drugim etapie dokonano montażu czujników w matrycach pomiarowych przygotowanej przez autorów przyczepy. Poprawność pojedynczych pomiarów uzyskano dzięki zastosowaniu specjalnych szyn jezdnych, umożliwiających przemieszczanie platformy nad badanymi lampami. Budowę platformy pomiarowej i jej pierwsze testy zrealizowano w Zakładzie Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Poznańskiej.

Przedstawiona na rys. 9 przykładowa norma jasności światła określa wymagane wartości światłości, które musi spełniać lampa lotniskowa, aby mogła być dopuszczona do dalszego użytku.

W niektórych przypadkach zużyte lampy charakteryzowały się znacznymi odstępstwami od normy (rys. 22). W takich przypadkach konieczna była naprawa lub wymiana lamp. Jednocześnie otrzymane wyniki badań (rys. 21) wskazały, że dla nowych lamp wartości światłości znacząco przekraczają wymagane minimum.



Rys. 22. Charakterystyka światłości lampy strefy przyziemienia IDM4671 (uszkodzonej)
Fig. 22. Luminous intensity of touchdown zone light IDM4671 (damaged)



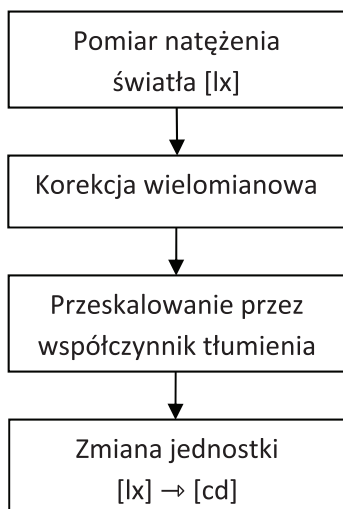
Rys. 23. Pomiar natężenia światła lampy strefy przyziemienia z użyciem różnych czujników
Fig. 23. Measurement of touchdown zone light intensity using different sensors

Na rys. 23 zostały przedstawione wyniki badań czułości czujników dla lampy strefy przyziemia. Dla każdego z czujników w platformie pomiarowej wykonano kilka serii pomiarowych za pomocą specjalistycznego luksomierza SONOPAN LUXMETER L-51. Wyniki dla każdego rodzaju czujników zostały uśrednione, co pozwoliło na zastosowanie jednego przelicznika dla każdego typu sensora.

Dane pomiarowe otrzymywane bezpośrednio z czujników wymagają dodatkowych przeliczeń (rys. 24), które umożliwiają ich poprawną interpretację. Dla różnych barw lamp błędy akwizycji są różne, w związku z czym wynik pomiaru każdorazowo musi być aproksymowany przez wielomian drugiego stopnia wyznaczony wcześniej za pomocą funkcji `polyfit` w programie MATLAB względem rzeczywistego odczytu z czujnika. Aby jednak wynik pomiaru był obliczony prawidłowo, w pierw musi zostać ustalona barwa źródła światła. Funkcja aproksymująca dana jest następującym wzorem:

$$y_0 = a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad [\text{lx}]$$

gdzie x jest wartością natężenia światła odczytaną przez czujnik, natomiast y_0 jest wartością przybliżoną przez wielomian



Rys. 24. Schemat blokowy przeliczenia pomiaru
Fig. 24. Block diagram of measurement conversion



Rys. 25. Platforma pomiarowa podczas testów na lotnisku Poznań-Ławica
Fig. 25. Measuring platform during tests on Poznań-Ławica

(wartość wskazana przez luksomierz). Jako argumenty funkcji `polyfit` podawane są wektory \mathbf{x} oraz \mathbf{y} , czyli wspomniane wcześniej wartości rozszerzone do kilku serii pomiarowych.

$$\mathbf{p} = \text{polyfit}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, 2)$$

$$\mathbf{p} = [a_2 \ a_1 \ a_0]$$

Wartości parametrów a_i , $i = 0, 1, 2$ w wektorze są współczynnikami wielomianu aproksymującego, który został poddany przeskalowaniu za pomocą ilorazu natężenia światła bez osłony ze szkła akrylowego względem wartości natężenia z zamontowaną osłoną, ze względu na tłumienie światła przez materiał osłony, co jest opisane wzorem:

$$k = \frac{y_b}{y_o} \cdot 100\%$$

gdzie y_b to wartość natężenia światła bez zamontowanej osłony, a y_o – po jej umieszczeniu.

Ponieważ w normach podane są wartości w kandelach (mierzona jest światłość końcowa), wartość natężenia po przeliczeniu przez wszystkie współczynniki i aproksymowaniu przez wielomian `polyfit` musi być jeszcze przemnożona przez kwadrat odległości $d = 0,44$ m matrycy z czujnikami od badanej lampy. Stąd końcowy wzór to:

$$y = k \cdot (a_2x^2 + a_1x + a_0) \cdot d^2 \quad [\text{cd}]$$

W związku z tym zaimplementowano 8 takich przeliczników z różnymi wartościami parametrów a_i oraz k (po jednym dla każdej kombinacji dwóch rodzajów czujników oraz czterech rodzajów lamp).

W trzecim etapie badań wykonywano kilkukrotne testy na lotnisku Poznań-Ławica. Podczas testów przyczepa była ciągnięta przez samochód Zespołu Energetycznego Portu Lotniczego. Testy przeprowadzono na pasie startowym w pełni funkcjonującego portu lotniczego (rys. 25). Kontroli dokonywano w dzień oraz w nocy, każdorazowo stosując się do wytycznych przewidzianych w normach. Sprawdzano wpływ światła dziennego oraz innych lamp lotniskowych. Lampy świeciły na najwyższym poziomie jasności. Testy były przeprowadzane przy różnych prędkościach najazdu platformy (maksymalnie 36 km/h). Duży wpływ na poprawność otrzymanych pomiarów miał odpowiedni najazd nad dany punkt świetlny. Ze względu na małe wymiary przyczepy i zastosowanie pojedynczych czujników, prędkość ograniczono do 10 km/h, aby najazd był dokładny. Wyniki były zgodne z obserwacjami czynionymi przez pracowników kontroli oświetlenia lotniskowego.

6. Podsumowanie

Opracowane urządzenie pomiarowe (przyczepa) pozwala na automatyczne testowanie poprawności funkcjonowania oświetlenia drogi startowej oraz dróg kołowania na lotnisku Poznań-Ławica. Zadanie wymagało przeprowadzenia wielu testów laboratoryjnych oraz badań, aby dokładnie poznać charakterystykę lamp, a następnie czujników. Przedstawione rozwiązanie w postaci platformy pomiarowej jest prototypem, który aktualnie jest nadal rozwijany.

Urządzenie to otrzymało I nagrodę w obszarze techniki oraz organizacji produkcji i usług w konkursie organizowanym w 2018 r. przez Federację Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT w Poznaniu a także I nagrodę w konkursie IEEE Thesis Contest w 2019 r.

Podziękowania

Składamy wyrazy podziękowania Zarządowi i Władzom Portu Lotniczego Poznań-Ławica, przy udziale których powstała ta praca: Panu Grzegorzowi Bykowskiemu, Wiceprezesowi Zarządu, Panu Marcinowi Drzycimskiemu, Dyrektorowi Strategii i Rozwoju, oraz Panu Tomaszowi Gładyszowi, Kierownikowi Działu Rozwoju i Planowania Inwestycji. Szczególnie dziękujemy za zaangażowanie w wykonanie projektu Panu mgr. inż. Bogusławowi Marciniakowi, Kierownikowi Zespołu Energetycznego Portu Lotniczego Poznań-Ławica, oraz Pani dr inż. Małgorzacie Zalesińskiej z Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej.

Bibliografia

1. *Specyfikacje Certyfikacyjne (CS) oraz Materiały Zawierające Wytyczne (GM) do Projektowania Lotnisk Wydanie 3*, Załącznik do Decyzji nr 2016/027/R Dyrektora Wykonawczego EASA, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego, 2016
2. Novak T., Dudek J., Kolar V., Sokansky K., Baleja R., *Solution of problems with short lifetime of airfield halogen lamps*, 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, 2017, 1–5, DOI: 10.1109/EPE.2017.7967298.
3. *PAC²V5 WiFi Photometric Airfield Calibration*, [www.fbtechnology.com/en/pacsv5-system.html], dostęp: 12.07.2019.
4. *DALMAS AFL Analysis* [www.dewitec.de/en/airport-technology/dalmas-afl-analysis], dostęp: 12.07.2019.
5. *Raspberry PI 3 model B*, [www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b], dostęp: 12.07.2019.
6. Strzelczyk P., Macek-Kamińska K., *Kontroler lotu dla bezzalogowych obiektów latających*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 19, Nr 4, 2015, 69–73, DOI: 10.14313/PAR_218/69.
7. Bloudicek R., *Power supply networks for the airport LED lights systems*, IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference, St. Petersburg, FL, 2017, 1–5. DOI: 10.1109/DASC.2017.8102119.
8. *X4 Light Analyzer*, [www.gigahertz-optik.de/de-de/produkt/X4], dostęp: 27.01.2018.
9. Żagan W., *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
10. *Node RED Programming Guide*. [http://noderedguide.com], dostęp: 12.07.2019.
11. *Arduino Tutorials*, [www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage], dostęp: 12.07.2019.
12. Marciniak T., Dąbrowski A., *Nauczanie zagadnień cyfrowego przetwarzania sygnałów z zastosowaniem modułów z mikrokontrolerem*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 94, Nr 9, 2018, 125–127, DOI: 10.15199/48.2018.09.30.
13. *Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI – Technical Note*, ROHM Semiconductor, 2009.
14. *High Accuracy Ambient Light Sensor with I2C Interface, VEML7700*, Vishay Semiconductors, 2016.
15. *AS7262 6-Channel Visible Spectral_ID Device with Electronic Shutter and Smart Interface*, ams, 2017
16. *SIM28 Hardware Design*, SimCOM, 2011.
17. *MPU-9250 Product Specification*, InvenSense, Revision 1.0, 2016.
18. *Oprawa osi drogi startowej IDM 4582 Opis produktu*, IDMAN, Safegate Group, wersja 1.0, 2010.
19. *Oprawa strefy przyziemienia IDM 4671 Opis produktu*, IDMAN, Safegate Group, wersja 1.0, 2010.
20. *Oprawa osi drogi kołowania IDM 5582 Opis produktu*, IDMAN, Safegate Group, wersja 1.0, 2012.

Measuring Platform for Quality Testing of Airport Lamps

Abstract: The paper presents a developed measurement platform for testing the quality of airport lamps. The device was built in the form of a trailer for pulling through the airport service car. The sensor matrixes are placed under the platform under the rubber cover. The system's operation is supervised by a microcomputer. The measurement results can be observed on the built-in screen, as well as, thanks to wireless transmission, by means of a mobile device. Verification of the correct operation of the device was carried out both in laboratory conditions and during tests on the runway and taxiways of the Poznań-Ławica Airport.

Keywords: examination of the luminous intensity, airport lamps, measuring platform, airport, runway, ILS, ICAO, PANSA

prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski

adam.dabrowski@put.poznan.pl

Zastępca Dyrektora Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Poznańskiej, Kierownik Zakładu Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów. Zainteresowania naukowe koncentrują się na: cyfrowym przetwarzaniu sygnałów (separacji, systemach wieloszybkościowych, filtrach falowych, transformacji zafalowaniowej), systemach multimedialnych, biometrii, systemach wizyjnych i architekturze procesorów. Jest autorem lub współautorem 4 książek i ponad 300 prac naukowych.



dr inż. Tomasz Marciniak

tomasz.marciniak@put.poznan.pl

Pracownik Zakładu Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Poznańskiej. Obszarem zainteresowań naukowych jest efektywna implementacja algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów. Przeważające badania naukowe uwzględniają możliwość realizacji takich algorytmów w czasie rzeczywistym, w tym z wykorzystaniem modułów wbudowanych wyposażonych w procesory sygnałowe.



mgr inż. Jakub Suder

jakub.suder@op.pl



mgr inż. Piotr Maciejewski

piotr.p.maciejewski@onet.pl



mgr inż. Kacper Podbucki

kacper.podbucki@wp.pl



Ukończyli studia inżynierskie I stopnia na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej (2018 r.). Absolwenci specjalności Systemy Wizyjne na kierunku Automatyka i Robotyka (II stopień, dyplom mgr. 2019 r.) także na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej.