

# Wysoko mobilna bezzałogowa platforma do zadań obserwacyjnych przy ochronie perymetrycznej granicy państwa

Jakub Kowaliński, Tomasz Krakówka, Rafał Więckowski, Mikołaj Zarzycki

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

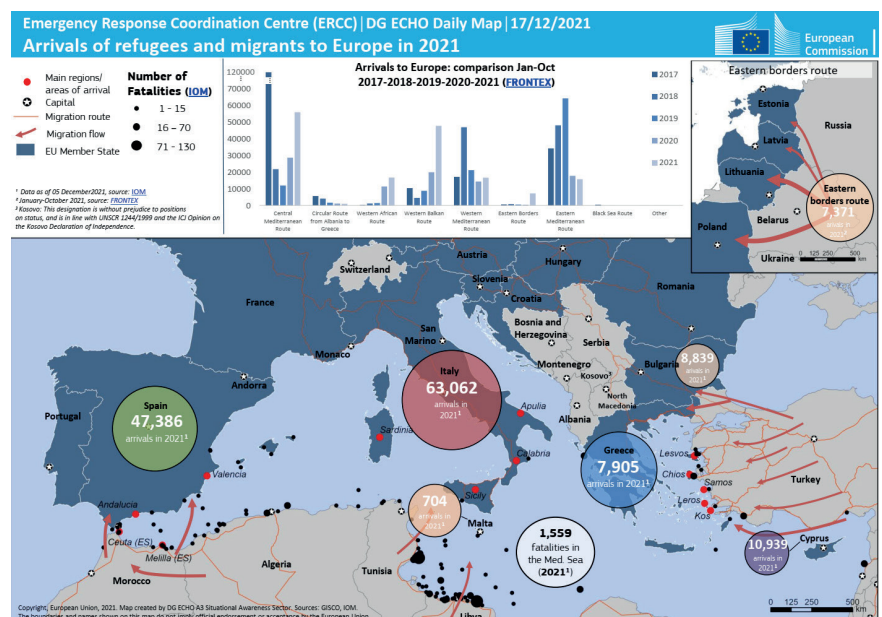
**Streszczenie:** W artykule poruszono najważniejsze aspekty projektowania pojazdu bezzałogowego do realizacji zadań obserwacyjnych przy ochronie perymetrycznej granicy państwa. Przedstawiona została analiza warunków terenowych koniecznych do pokonywania przez pojazd bezzałogowy oraz opis kluczowych podzespołów pojazdu HUNTeR odpowiedzialnych za możliwość pracy w tego typu warunkach. Zawarto też wyniki badań weryfikujących założenia podstawowe projektu w zakresie pracy z maksymalną prędkością przejazdu.

**Słowa kluczowe:** pojazdy bezzałogowe, pojazdy o napędzie hybrydowym, robotyka

## 1. Wprowadzenie

Nielegalna migracja ludzi do krajów rozwiniętych w ostatnich latach przybiera na sile. Od 2015 r., kiedy to zamknięto zewnętrzną granicę Unii Europejskiej na Węgrzech, obserwujemy wzmożony ruch migracyjny szlakiem zachodnio-bałkańskim oraz przez wschodnią granicę Unii (rys. 1). Próby przekroczenia granicy często są organizowane przez grupy przestępcze wyspecjalizowane w szmuglowaniu ludzi.

Aktualny kryzys migracyjny wskazuje, iż zachodzi konieczność uszczelnienia zewnętrznych granic. Zewnętrzna lądowa granica Unii Europejskiej będąca w obszarze Rzeczypospolitej Polskiej wynosi 1163 km. Trudno oczekiwać, iż tak rozległy teren może być chroniony wyłącznie przez zasoby ludzkie Straży Granicznej. Z pomocą przychodzą nowe techniki przeznaczone do ochrony perymetrycznej rozległych obszarów. Środkiem wspomagającym stacjonarną infrastrukturę są zrobotyzowane jednostki mobilne, m.in. bezzałogowe platformy lądowe UGV, które są obecnie wykorzystywane w sektorze obronnym oraz cywilnym. Platformy pełnią swoją służbę



Rys. 1. Kierunki migracji do Unii Europejskiej (DG ECHO A3 Situational Awareness Sector)

Fig. 1. Directions of migration to the European Union (DG ECHO A3 Situational Awareness Sector)

przy zadaniach rozminowywania, rozpoznaniu i obserwacji [1], działaniach defensywnych i ofensywnych, w rolnictwie, logistyce [2] i podczas gaszenia pożarów [3]. Prace nad wykorzystaniem UGV do ochrony granic były podejmowane wielokrotnie [4], np. w Izraelu przy pomocy robota Guardium wykorzystywanego na granicy izraelskiej [5]. Wymagania, które są stawiane platformom UGV są omawiane m.in. w [6].

Wymagania dla UGV w kontekście prowadzenia rozpoznania i obserwacji oraz patrolowania granic są następujące: dzielność terenowa umożliwiająca poruszanie się po nieutwardzonych dro-

**Autor korespondujący:**

Tomasz.Krakówka@piap.lukasiewicz.gov.pl

**Artykuł recenzowany**

nadesłany 08.11.2021 r., przyjęty do druku 15.02.2022 r.



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



**Rys. 2. Widok platformy mobilnej oraz platformy wraz z UAV na uwięzi** (zdjęcie S. Puchalski, PIAP)

Fig. 2. View of the mobile platform and the platform with a tethered UAV (photo by S. Puchalski, PIAP)

gach przygranicznych, które okresowo mogą być trudno przejezdne. Wysoka prędkość poruszania się platformy umożliwia szybkie przemieszczanie się do punktu prowadzenia obserwacji. Inne wymagania to wysoka mobilność, możliwość cichej pracy, długi czas działania (autonomia energetyczna), możliwość prowadzenia obserwacji, możliwość sterowania w trybie teleoperacji oraz w trybie autonomicznym.

W Łukasiewicz – PIAP prowadzone były prace nad opracowaniem platformy robotycznej (UGV) o masie około 3 ton, dedykowanej do wspierania działań patrolowych, np. na granicy państwa. Platforma wyróżnia się wysoką mobilnością, prędkością do 50 km/h oraz napędem hybrydowym. Platforma wyposażona jest w moduł sterowania autonomicznego oraz została wyposażona w UAV, który może być zasilany przewodowo i który pozwala na prowadzenie obserwacji w trybie cichym z wykorzystaniem wirtualnego masztu.

Projekt platformy HUNTeR rozpoczęto od analizy terenów, w których robot ma wykonywać zadania. Zdefiniowano rodzaje terenów oraz wielkości i rodzaje przeszkód, które mogą się znajdować w terenach przygranicznych, w których założono wykorzystanie pojazdu. W terenie zdefiniowane zostały możliwe przeszkody piaszczyste, strome wzniesienia, położone drzewa na drogach gruntowych, grząskie błoto. Wzięto również pod uwagę warunki atmosferyczne, w których platforma ma pracować, włączając w to różne pory roku, czyli możliwość wystąpienia wysokich opadów deszczu oraz śniegu oraz możliwą jazdę po terenach śnieżnych oraz po pokrytych lodem drogach. W artykule zawarto krótką charakterystykę budowy kluczowych komponentów platformy mobilnej HUNTeR (rys. 2).

## 2. Budowa pojazdu

### 2.1. Założenia do budowy pojazdu

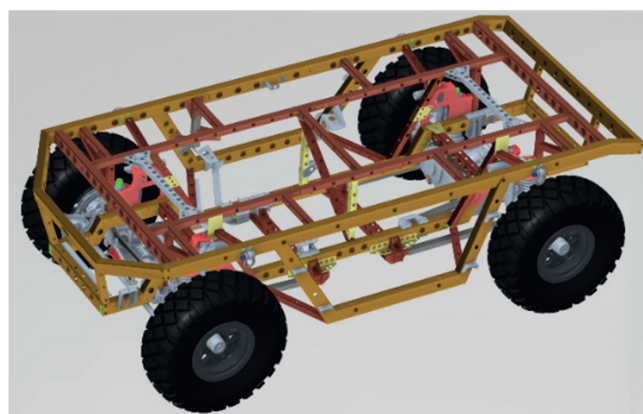
Przed opracowaniem modelu pojazdu wyznaczono najważniejsze parametry, którymi miał cechować się opracowywany UGV HUNTeR. Do najważniejszych należało zachowanie wysokiej mobilności platformy, szczególnie w obliczu założonego systemu autonomii jazdy. Konieczne było zastosowanie wysokiego prześwitu pojazdu, co umożliwi pokonywanie powalonych drzew o średnicach 30–45 cm. Podstawowym zagadnieniem była również decyzja o rodzaju napędu zastosowanego w platformie, zdecydowanie o wykorzystaniu napędu kołowego czy też gąsienicowego. Jednym z założeń podstawowych było zapewnienie możliwości jazdy pojazdu w trybie cichym, co oznaczało konieczność jazdy wyłącznie za pomocą silników elektrycznych, więc w obliczu bilansu strat energetycznych zdecydowano

o wykorzystaniu napędu kołowego, z zastrzeżeniem konieczności najwyższej możliwej zwrotności pojazdu. Wynikiem tej analizy było również założenie, że pojazd powinien się cechować co najmniej możliwością skręcania kół na każdej osi. Kolejnym efektem analizy była możliwość zaprojektowania wysokiej autonomii energetycznej pojazdu, założono więc, że pojazd powinien być wyposażony w generator energii elektrycznej zasilany szeroko dostępnym paliwem, przy założeniu, że pojazd będzie stosowany w terenach o ograniczonym dostępie do sieci elektrycznej. Ostatnim kluczowym zagadnieniem było opracowanie, jak szybko pojazd powinien się poruszać, przanalizowano scenariusze użycia platformy HUNTeR.

W ramach jednego z założonych scenariuszy platforma UGV ma zbadać teren, w którym doszło do wykrycia anomalii, w przypadku podejrzenia wykrycia nielegalnej działalności, czas dotarcia na miejsce jej potencjalnego wykrycia jest kluczowy do zebrania materiałów dowodowych. Zdecydowano więc, że w założonych warunkach dróg gruntowych pojazd powinien się charakteryzować osiąganiem możliwie jak największej prędkości. Założono więc prędkość maksymalną na poziomie 50 km/h. W wyniku analizy terenu, w którym pojazd ma się poruszać oraz powyższych założeń zdecydowano o masie własnej pojazdu do 3,5 t przy założeniu co najmniej 1 t możliwego dodatkowego wyposażenia lub ładunku.

### 2.2. Rama platformy mobilnej

Konstrukcja pojazdu opiera się na przestrzennej ramie (rys. 3) ze stali o wysokiej wytrzymałości. Zdecydowano zbu-



**Rys. 3. Model ramy wraz z zawieszeniem**

Fig. 3. Mechanical model of the UGV frame with the suspension

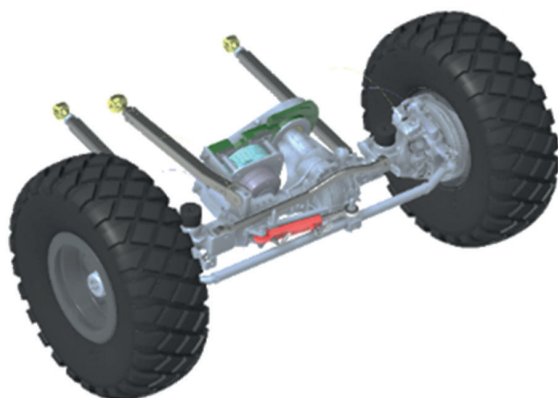
dować pojazd w oparciu o konstrukcję ramową, ze względu na dostępne technologie i założenia produkcji małoseryjnej. Budowa ramowa dodatkowo zapewnia stosunkowo szybką modyfikację projektu w zakresie długości pojazdu oraz w zakresie dostosowania konstrukcji do konkretnych specyficznych akcesoriów, w które pojazd może być wyposażony (lemieszce, łyżki, żurawie itp.).

### 2.3. Napęd hybrydowy

Napęd platformy HUNTeR to hybryda szeregową łącząca zalety silnika spalinowego, zapewniająca możliwość długiej pracy oraz silników elektrycznych zapewniających cichą pracę i precyzyjne sterowanie. Wysoka autonomia energetyczna pojazdu zapewniana jest dzięki generatorowi spalinowemu na olej napędowy. Długość autonomicznej pracy pojazdu oraz jego zasięg na etapie projektowania może być dostosowywany przez dobór odpowiedniej wielkości zbiornika paliwa. W przedmiotowym modelu pojazdu HUNTeR jego pojemność to 100 l oleju napędowego. Układ napędowy pojazdu wyposażony jest w dwa silniki elektryczne o momencie obrotowym do 500 Nm i łącznej mocy ciągłej do 180 kW oraz do 440 kW mocy chwilowej. Przełożenia układu napędowego dobierane są tak, aby platforma mogła rozpędzić się do maksymalnej prędkości 50 km/h przy zachowaniu momentu obrotowego wystarczającego do poruszania się w terenie, bez konieczności używania skrzyni biegów. Do hamowania platformy służą trakcyjne silniki elektryczne umożliwiające rekuperację energii oraz hydrauliczne hamulce tarczowe, które znajdują się na wszystkich kołach. Dodatkowo podczas postoju napęd jest blokowany.

### 2.4. Mobilność platformy mobilnej

Podczas projektowania analizowana była możliwość rozwiązania napędu gąsienicowego lub kołowego o czterech lub sześciu kołach. Temat wyboru między napędem gąsienicowym a kołowym był analizowany [7, 8]. W projekcie o wyborze rozwiązania kołowego z dwiema osiami zdecydowało: możliwość wykorzystania dostępnych handlowych komponentów do pojazdów terenowych, obniżenie środka ciężkości przez korzystniejsze ułożenie komponentów pojazdu, zapewnienie płaskiej, przestrzeni ładunkowej z najbardziej wygodnym dostępem oraz możliwość zachowania masy w założonym limicie. W pojeździe jest zawieszenie zależne, które w przypadku pojazdu terenowego, który porusza się z niskimi prędkościami ma wiele zalet. Wykorzystano dwa wzmocnione sztywne mosty napędowe (rys. 4) kompatybilne z samochodem Jeep Wrangler, wyposażone w pneumatycznie blokowany mechanizm różnicowy. Na obu mostach napędowych zostały zintegrowane silniki



Rys. 4. Widok mostu napędowego  
Fig. 4. View of the drive axle

trakcyjne i przekładnie z łańcuchem zębatym. Jako silniki trakcyjne zastosowano chłodzone wodą silniki elektryczne PMSM o osiowym strumieniu magnetycznym. Z silnikiem trakcyjnym zintegrowano luzownik elektromagnetyczny.

Pojazd wyposażony jest w zawieszenie terenowe zależne, ze sztywnymi trójwahaczowymi osiami z drążkiem Panharda, sprężynami śrubowymi o skoku 20 cm oraz amortyzatorami o regulowanym tłumieniu. Zastosowano komercyjne dostępne felgi terenowe i opony 40". Obie osie skrętne zapewniają promień skrętu wynoszący około 3 m. Kątem skrętu kół sterują silowniki hydrauliczne zamontowane na obu osiach. Operator pojazdu może wybrać napęd na obie osie lub na jedną – przednią lub tylną. Dodatkowo w trudnych warunkach operator może zablokować dyferencjały obu osi.

## 3. Badania prędkości platformy mobilnej

Jednym z założeń projektowych była maksymalna prędkość pojazdu wynosząca 50 km/h. Sprawdzenie osiągnięcia tego parametru było wykonane na poligonie badawczym. Przejazdy były zrealizowane na płaskiej nawierzchni nieutwardzonej oraz na piasku. Rysunek 5 pokazuje przebieg testu, polegającego na rozpędzeniu robota do maksymalnej prędkości.

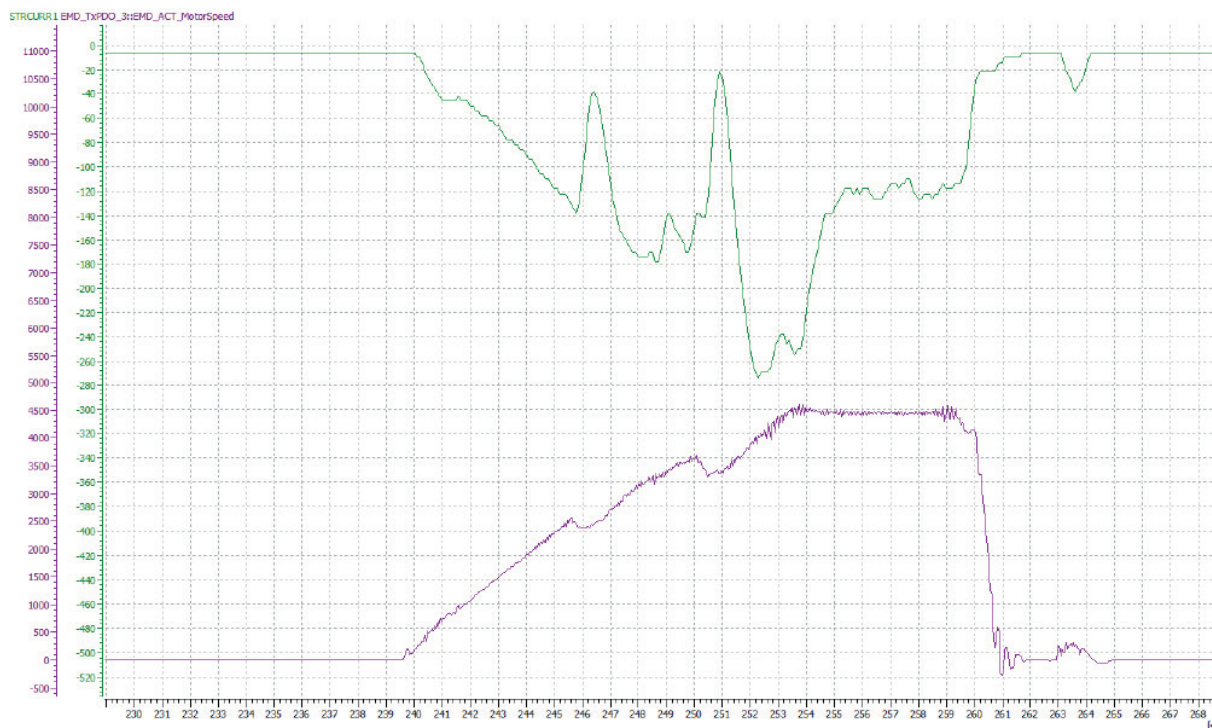


Rys. 5. Platforma mobilna podczas sprawdzania prędkości maksymalnej (zdjęcie S. Puchalski, PIAP)

Fig. 5. Mobile platform during the maximum speed test (photo by S. Puchalski, PIAP)

Na rysunku 6 pokazany jest przebieg prędkości i pobieranego z akumulatora prądu podczas rozpędzania robota. Prędkość obrotowa 4500 rpm odpowiada prędkości 50 km/h. Test potwierdza, że projekt pod względem mechaniki – rama, zawieszenie, układ napędowy pozwala na osiągnięcie wymaganej prędkości. Prąd baterii, jak widać na wykresie nie przekracza wartości 300 A. Potwierdza to, że dobór baterii oraz pozostałych kluczowych komponentów (silniki, sterowniki silników, układy chłodzenia) został wykonany odpowiednio.

Początkowo podczas prowadzenia testów platforma sterowana była za pomocą joysticków konsoli sterowania. Przy jazdach z większymi prędkościami sterowanie wymagało od operatora dużej precyzji ruchu i było trudne. Konsola sterowania została przystosowana do współpracy z kierownicą, co bardzo ułatwiło kontrolę nad platformą. Dodatkowo została zaimplementowana funkcja automatycznie zmniejszająca prędkość podczas skręcania. Funkcja działa niezależnie od sposobu sterowania i ma na celu ułatwienie kierowania i zabezpieczenie platformy przed przewróceniem podczas jazdy z większymi prędkościami. Wstępne testy wykazały przydatność tej funkcji, jednakże jeszcze wymaga ona dodatkowych badań i regulacji dla pełnego zakresu parametrów prędkości.



Rys. 6. Wykres przebiegu prędkości i pobieranego z akumulatora prądu podczas rozpędzania do 50 km/h, kolor fioletowy – prędkość [rpm], kolor zielony – prąd akumulatora [A]  
 Fig. 6. Graph of the speed and the current drawn from the battery during acceleration to 50 km/h, purple color – speed [rpm], green color – battery current [A]

### 3.1. Badania zdolności terenowych

Przeprowadzono testy UGV HUNTeR w różnych warunkach terenowych oraz próby przejazdów przez różnego rodzaju przeszkody na poligonie badawczym. Na rysunku 7 przedstawiono platformę podczas realizacji wybranych testów. Przeprowa-

dzono testy platformy w terenie błotnistym, w którym testowano system blokady mostów oraz napęd 4 × 4. Platforma została przetestowana również w terenie piaszczystym oraz na wzniesieniach o kącie nachylenia do 30°.



Rys. 7. Pojazd HUNTeR podczas testów na poligonie badawczym  
 Fig. 7. HUNTeR vehicle during tests at the test area

## 4. Podsumowanie

W pracy została zaprezentowana platforma mobilna przeznaczona do zadań patrolowych, prowadzenia rozpoznania i obserwacji. Przedstawione zostały wymagania odnośnie wykorzystania urządzenia do patrolowania granic. Przedstawiono sposób realizacji rozwiązania ze szczególnym uwzględnieniem napędu i mobilności platformy. Przeprowadzone badania wskazują, że zdolności terenowe platformy są odpowiednie dla wykonywania zadań związanych z ochroną granic, jednak część funkcjonalności należy poddać dodatkowym badaniom. Dalsze przewidziane prace nad platformą obejmują kolejne badania i optymalizację pojazdu.

## Podziękowania

Projekt „Opracowanie wysoko mobilnej bezzałogowej platformy hybrydowej do zadań szybkiego reagowania” akronim HUNTeR, realizowany był w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju numer 4/1.2/2016, Działanie 1.2 „Sektorowe programy B+R” Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020, współfinansowanego w Środków Europejskiego Fundusze Rozwoju Regionalnego.

## Bibliografia

1. Chun W.H., Papanikolopoulos N., *Robot surveillance and security*, Springer Handbook of Robotics, 2016, 1605–1625, DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1\_61.
2. Typiak A., *Bezzałogowe platformy do realizacji zadań transportowych*, „Logistyka”, Nr 3, 2012.
3. *The first firefighting robot in America is here – and it has already helped fight a major fire in Los Angeles*, <https://edition.cnn.com/2020/10/21/business/first-firefighting-robot-in-america-lafd-trnd/index.html>.
4. Sprońska A., Głowska J., Maciaś M., Rokosz T., *TALOS – Mobile surveillance system for land borders and large areas*, Adv. Intell. Syst. Comput., Vol. 267, 2014, DOI: 10.1007/978-3-319-05353-0\_45.
5. *Digital Infantry Battlefield Solution. Introduction to Ground Robotics*. <https://liia.lv/en/publications/digital-infantry-battlefield-solution-introduction-to-ground-robotics-562>.
6. Typiak A., *Requirements for mobility of platforms and power supply system for unmanned ground vehicles*, “Journal of KONES”, Vol. 16, No. 9, 2009.
7. Wong J.Y., Huang W., “Wheels vs. tracks” – A fundamental evaluation from the traction perspective, “Journal of Terramechanics”, Vol. 43, No. 1, 2006, 27–42, DOI: 10.1016/J.JTERRA.2004.08.003.
8. Bruzzone L., Quaglia G., *Review article: Locomotion systems for ground mobile robots in unstructured environments*, “Mechanical Sciences”, Vol. 3, No. 2, 2012, 49–62, DOI: 10.5194/MS-3-49-2012.

# Support for Perimeter Border Protection Using Unmanned Ground Vehicle UGV

**Abstract:** The article concerns the most important issues of designing an unmanned vehicle for the implementation of observation tasks in the protection of the perimeter of the state border. An analysis of the terrain conditions necessary for the unmanned vehicle to overcome and a description of the key components of the HUNTeR vehicle responsible for the ability to work in such conditions was presented. Also included were tests verifying the basic assumptions of the project in the field of operation at the maximum speed of travel.

**Keywords:** UGV, hybrid vehicle, robotics

### inż. Jakub Kowaliński

[jakub.kowalinski@piap.lukasiewicz.gov.pl](mailto:jakub.kowalinski@piap.lukasiewicz.gov.pl)  
ORCID: 0000-0002-8364-4340

Ukończył studia na kierunku elektronicznym na Wydziale Elektryki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej, uzyskując stopień inżyniera. W Łukasiewic – PIAP zatrudniony od 2019 r. Zajmuje się projektowaniem systemów elektronicznych oraz tworzeniem oprogramowania w robotach mobilnych. Rozwija również systemy autonomiczne w robotach.



### mgr inż. Tomasz Krakówka

[tomasz.krakowka@piap.lukasiewicz.gov.pl](mailto:tomasz.krakowka@piap.lukasiewicz.gov.pl)  
ORCID: 0000-0002-0004-835X

Absolwent Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, Zatrudniony w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, gdzie zajmuje się pracami badawczo rozwojowymi w zakresie bezzałogowych platform mobilnych i manipulatorów przeznaczonych dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i obronność. Od 2020 r. uczestnik programu doktoratów wdrożeniowych w Szkole Doktorskiej Wojskowej Akademii Technicznej.



### mgr inż. Rafał Więckowski

[rafal.wieckowski@piap.lukasiewicz.gov.pl](mailto:rafal.wieckowski@piap.lukasiewicz.gov.pl)  
ORCID: 0000-0003-2952-4775

Absolwent Politechniki Warszawskiej, uzyskał stopień magistra inżyniera w 2017 r., starszy specjalista w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP oraz członek Grupy Badawczej Łukasiewicz Inteligentna i Czysta Mobilność. Związany z Łukasiewic – PIAP od 2014 r., gdzie zajmuje się systemami autonomii jazdy dla bezzałogowych pojazdów lądowych i innymi technologiami z zakresu robotów mobilnych. Od 2018 r. kierownik projektów z obszaru bezpieczeństwa i obronności państwa. Od 2020 r. uczestnik programu doktoratów wdrożeniowych w Szkole Doktorskiej nr 4 Politechniki Warszawskiej gdzie prowadzi badania dotyczące oceny przejezdności trasy w systemach autonomicznej jazdy lądowych platform lądowych pracujących w terenach przygodnych.



### mgr inż. Mikołaj Zarzycki

[mikolaj.zarzycki@piap.lukasiewicz.gov.pl](mailto:mikolaj.zarzycki@piap.lukasiewicz.gov.pl)  
ORCID: 0000-0003-3987-3995

Absolwent Politechniki Poznańskiej, uzyskał stopień magistra inżyniera w 2010 r., zastępca kierownika Działu Systemów Mobilnych w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP. Wcześniej zatrudniony m.in. w Zakładzie Systemów Bezpieczeństwa, Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Zawodowo związany z pracami badawczymi i rozwojem bezzałogowych platform mobilnych przeznaczonych dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i obronność. Autor artykułów w czasopismach naukowych, raportów dotyczących wykorzystania robotyki mobilnej oraz aktywnych systemów obrazowania. Od 2021 r. uczestnik programu doktoratów wdrożeniowych w Szkole Doktorskiej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prace badawcze ukierunkowane na wykorzystanie hybrydowych źródeł energii z uwzględnieniem ogniw paliwowych dla bezzałogowych platform lądowych.

