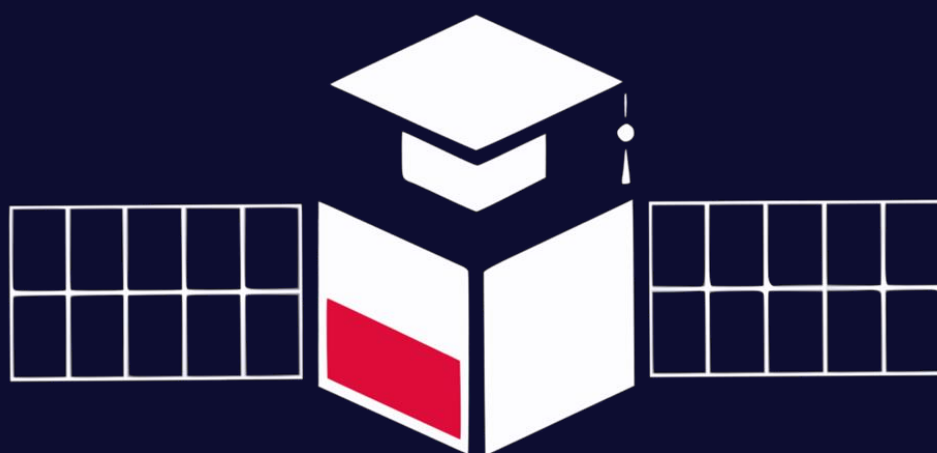


II STUDENCKA KONFERENCJA KOSMICZNA



PUBLIKACJE
KONFERENCYJNE



Ofcyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

ORGANIZATORZY



Polska Agencja Kosmiczna
ul. Trzy Lipy 3 (Budynek C), 80-172 Gdańsk



Politechnika Wroclawska,
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

WSPÓŁPRACA I PARTNERZY



Ministerstwo Rozwoju i Technologii
Pl. Trzech Krzyży 3/5, 00-507 Warszawa



Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.
ul. Nowy Świat 6/12, 00-400 Warszawa

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący:

dr hab. inż. Ziemowit Malecha, prof. uczelni

dr hab. inż. Marek Moszyński, prof. uczelni

dr inż. Piotr Felisiak

dr inż. Marek Głogowski

dr inż. Adam Jaroszewicz

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący:

dr hab. inż. Ziemowit Malecha, prof. uczelni

dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. uczelni

dr hab. inż. Marek Moszyński, prof. uczelni

dr inż. Andrzej Tatarek, prof. uczelni

dr inż. Katarzyna Strzelecka

mgr inż. Maciej Cholewiński

mgr inż. Jean-Marc Fafara

mgr inż. Michał Lepszy

mgr Barbara Karcz

Kacper Tomaszewski

mgr Przemysław Rudź

mgr Szymon Grych

mgr Roger Bachtin

**II Studencka
Konferencja Kosmiczna**

**PUBLIKACJE
KONFERENCYJNE**

Praca zbiorowa pod redakcją
Macieja Cholewińskiego, Katarzyny Strzeleckiej,
Ziemowita Malechy oraz Przemysława Rudzia



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2022

Kolegium redakcyjne:
Maciej Cholewiński, Katarzyna Strzelecka, Ziemowit Malecha, Przemysław Rudź

Opracowanie redakcyjne i korekta:
Maciej Cholewiński, Katarzyna Strzelecka

Złożono na podstawie dostarczonych materiałów

Publikacja elektroniczna dostępna na stronach www:
Polskiej Agencji Kosmicznej
<https://polsa.gov.pl/>
Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl/>
Dolnośląskiej Biblioteki Cyfrowej
<https://www.dbc.wroc.pl/>

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2022

OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>, e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl
zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-224-0
<https://doi.org/10.37190/skk2022>



OD ORGANIZATORÓW

II Studencka Konferencja Kosmiczna, której pomysłodawcą i współorganizatorem jest Polska Agencja Kosmiczna, jest jednym z wydarzeń wpisujących się w tegoroczne obchody 10-lecia przystąpienia Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej. Wydarzenie to w swoim założeniu pozwalać ma na dzielenie się wiedzą, przedstawienie realizowanych projektów, wspólne rozwiązywanie problemów i dyskusję na temat słuszności postawionych przez siebie tez w prowadzonych badaniach. Konferencja jest platformą do prezentacji pasji naukowych, kosmicznych projektów realizowanych w ramach konkursów i codziennej działalności kół studenckich, jak również okazją do wymiany doświadczeń i nawiązywania nowych, naukowych kontaktów pomiędzy młodymi naukowcami.

SKK jest organizowana przez POLSA cyklicznie, co dwa lata. Jej pierwsza edycja miała miejsce w 2020 roku, odbywając się przy organizacyjnym zaangażowaniu Politechniki Gdańskiej. Ze względu na obostrzenia pandemiczne, w całości została zorganizowana w formule on-line. Tym razem, przy owocnej współpracy z Wydziałem Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej, udało się przeprowadzić obrady w formule hybrydowej, zarówno w ramach dwudniowego spotkania na żywo, jak i transmisji w mediach społecznościowych.

Tematyka poruszana podczas SKK Wrocław 2022 była bardzo szeroka. Dotyczyła studenckich projektów kosmicznych, mechatroniki kosmicznej, przyszłościowych koncepcji w eksploracji kosmosu, badania przestrzeni kosmicznej, popularyzacji nauki, czy zagadnień prawnych związanych z eksploracją kosmosu. Pokazuje to skalę zainteresowań studentów polskich uczelni, trzymania przez nich ręki na pulsie współczesnych trendów, w stale rozwijającej się i pełnej wyzwań branży kosmicznej. Poziom naukowy kolejnych wystąpień wskazywał na wysokie zaangażowanie uczestników w ramach pracy zespołowej, starannego podziału kompetencji i weryfikacji uzyskanych wyników. Daje to uzasadnioną podstawę do uważania uczestników konferencji za nadzieję polskiego sektora kosmicznego, którzy będą stanowić o jej rozwoju i, miejmy nadzieję, istotnych sukcesach w nadchodzących latach.

Wydarzenia takie, jak tegoroczna edycja SKK 2022, wpisują się w ustawowe i statutowe działania POLSA w zakresie edukacji i popularyzacji nauki w zakresie badań, eksploracji i wykorzystania przestrzeni kosmicznej, a także aktywnego wspierania budowy kadr rodzimego sektora kosmicznego, pozyskiwania talentów i tworzenia warunków zawodowego rozwoju w ramach kosmicznych ścieżek kariery. Reprezentując Polską Agencję Kosmiczną chciałbym podziękować wszystkim uczestnikom za zaangażowanie, poświęcenie swojego cennego czasu na projekty podnoszące kompetencje, a także podtrzymywanie aktywności w ramach Rady Studentów przy Prezesie POLSA. Dzięki tym i innym aktywnościom, polski sektor kosmiczny może liczyć na stały rozwój, napływ profesjonalistów, rozpoznawalność i uznanie w oczach partnerów zagranicznych. Już teraz zapraszam na kolejną, trzecią edycję Studenckiej Konferencji Kosmicznej 2024, o której dacie i miejscu poinformujemy w nadchodzącym roku.

prof. dr hab. Grzegorz Wrochna
Prezes Polskiej Agencji Kosmicznej



OD ORGANIZATORÓW

II Studencka Konferencja Kosmiczna, której jednym z organizatorów jest Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej, jest platformą spotkań studentów, kół naukowych oraz przedstawicieli przemysłu kosmicznego. Jesteśmy bardzo zadowoleni, że tegoroczna edycja mogła odbyć się w murach naszej Uczelni, oraz że przybrała ona formułę hybrydową – możliwość bezpośredniego kontaktu to załóżek owocnych związków oraz współpracy.

Podczas konferencji SKK Wrocław 2022 zaprezentowano ponad 20 referatów, których autorzy reprezentowali wiodące krajowe ośrodki akademickie. Poruszana tematyka była w dużej mierze związana ze studenckimi projektami kosmicznymi. Mogliśmy usłyszeć o eksploracji kosmosu, badaniach przestrzeni kosmicznej oraz o zagadnieniach prawnych z tym związanych. Nie zabrakło także tematów bardziej technicznych, jak również popularyzujących naukę.

Wybór naszego Wydziału na współorganizatora SKK 2022 nie był przypadkowy. Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej, jako jeden z nielicznych w kraju, prowadzi bowiem studia na kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka, natomiast Wrocław pozostaje kluczowym miejscem na mapie Polski jeśli chodzi o dynamiczny rozwój przemysłu związanego z inżynierią kosmiczną.

W imieniu Politechniki Wrocławskiej chciałbym serdecznie pogratulować wszystkim uczestnikom za okazane zaangażowanie oraz wygłoszenie ciekawych referatów. Chciałbym także podziękować Polskiej Agencji Kosmicznej za możliwość współorganizowania tego Wydarzenia.

Podsumowując, znając poziom merytoryczny oraz organizacyjny SKK 2022, jestem przekonany, że już w najbliższej przyszłości jesteśmy w stanie osiągnąć naprawdę wiele i stać się ważnym uczestnikiem rynku kosmicznego w skali całego Globu.

dr hab. inż. Ziemowit Malecha, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny



Polska Agencja
Kosmiczna

Edukacja

Nawigacja

Badania i rozwój

Obserwacja Ziemi

Przemysł kosmiczny

Bezpieczeństwo na orbicie

Współpraca międzynarodowa

www.polsa.gov.pl

10 LAT POLSKI W ESA

SPIS TREŚCI

Co poszło nie tak tam u góry?	9
Nikodem Bartnik, Radosław Jędrzejczyk, Joanna Krzykawska-Szczepańska, Łukasz Łagosz	
Autonomiczna nawigacja łazika planetarnego Kalman	11
Szymon Bednorz, Igor Urbanik	
Badania w kierunku opracowania polskiego, miniaturowego zegara atomowego	13
Rafał Bilkowski, Paweł Knapkiewicz	
Wybrane techniki przeciwwzakłóceń w obszarze militarnego wykorzystania sygnałów GNSS	17
Marcin Boski, Piotr Mielnik	
Zarządzanie zasobami projektowymi w studenckim zespole Silesian Phoenix	21
Jakub Bręczewski, Jakub Gurgul, Andrzej Jałowiecki, Patryk Stawczyk	
Projektowanie orbit misji satelitarnych z uwzględnieniem komunikacji z siecią stacji naziemnych	23
Zofia Budzik	
Zmodyfikowany model eksperymentu NASA Mars Oxygen ISRU (MOXIE)	25
Martyna M. Czudec, Laura Mieczkowska, Tadeusz Miruszewski	
Nowatorskie systemy mechaniczne w łaziku planetarnym Kalman	27
Łukasz Gliwiński, Kacper Gładyś, Jan Brzyk	
Wpływ lepiszczy, plastyfikatorów oraz modyfikatorów szybkości spalania w paliwach zawierających chloran(VII) amonu na podstawowe parametry balistyczne silników raketowych	29
Marcin Hara, Dawid Porwański, Mateusz Szymański, Leszek Szymańczyk	
Kosmiczny Wielki Mur – kraje Trójmorza a chiński program kosmiczny	31
Krzysztof Karwowski	
Regulacje prawne dotyczące kosmicznych śmieci – błogosławieństwo czy przekleństwo?	33
Milena Kruszewska	

Porównanie metod LM i UKF w obliczaniu orientacji PW-Sat3 na podstawie danych temperatury powierzchni satelity	37
Paulina Kucharczyk, Kamil Koszarski	
Architektura sieci IoT do testów rakiet sondujących i silników raketowych	39
Damian Legutko	
Łazik Kalman - Elektronika oraz Science	41
Miłosz Łagan, Mateusz Olszewski	
Jak próżnia wpływa na wytrzymałość stwardniałego betonu?	43
Dawid Mrozek, Zuzanna Gryczyńska, Marcei Matłosz	
Co się dzieje z mieszanką betonową w próżni?	45
Magdalena Mrozek, Julia Kula, Błażej Błatoń	
Cube-satelitarny teleskop do obserwacji Ziemi	47
Jakub Orzechowski	
Object oriented pseudocode based on system engineering methodology	49
Agnieszka Pukacz, Filip Szewczyk	
Autonomiczna, skalowalna i modułarna platforma do wykonywania badań naukowych natury astrobiologicznej dedykowana dla rakiet suborbitalnych	51
Bartosz Rybacki, Wojciech Wysocki	
Projekt Space Challenge	53
Szymon Wiśniewski, Szymon Woźniak	
Ocena przydatności obrazów satelitarnych Sentinel-2 do identyfikacji nawłoci (Solidago spp.)	57
Karolina Barbara Zdunek, Bogdan Zagajewski, Marcin Kluczek	

CO POSZŁO NIE TAK TAM U GÓRY?

WHAT WENT WRONG UP THERE?

Nikodem Bartnik¹, Radosław Jędrzejczyk², Joanna Krzykawska-Szczeptańska², Łukasz Łagosz¹

¹Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska

²Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Politechnika Śląska

Adres do korespondencji: *imie.nazwisko@pwr.edu.pl*

Silesian Aerospace Technologies powstało w 2019 roku, jako pierwsze koło na Politechnice Śląskiej całkowicie poświęcone inżynierii kosmicznej.

Balon stratosferyczny, sonda typu CubeSat, stacja naziemna, rakieta — właśnie te zagadnienia członkowie koła postanowili wdrożyć w życie. Musieli się przy tym zmierzyć z ograniczeniami technologicznymi i finansowymi, szukaniem wiedzy zupełnie na własną rękę, pandemią, a także wieloma błędami początkujących. Jedną z przeszkód był na przykład brak dostępu do technologii stosowanej poza Unią Europejską, szczególnie w kontekście modelarstwa raketowego. Zmusiło to zespół do wypracowania zupełnie nowych rozwiązań i wykazania się pomysłowością. W naszej prezentacji chcielibyśmy podzielić się ze słuchaczami wynikami naszych eksperymentów oraz przyjrzeć się temu co zrobiliśmy dobrze ale przede wszystkim błędom które popełniliśmy oraz sposobom na ich uniknięcie.

W 2020 roku odbył się lot stratosferyczny drugiego balonu naszej konstrukcji. Celem eksperymentu oraz głównym payloadem naukowym był detektor mionów zbudowany i zaprojektowany przez nas na podstawie projektu CosmicWatch który powstał w wyniku współpracy Narodowego Centrum Badań Jądrowych i Massachusetts Institute of Technology. Dodatkowo OBC, system zasilania, radio do przesyłania telemetrii oraz antena zostały od podstaw stworzone przez nas i jednym z celów misji było ich przetestowanie w trudnych, stratosferycznych warunkach, jest to nasza prosta i tania alternatywa do testów środowiskowych.

Wiele kół naukowych oraz organizacji organizuje loty balonów stratosferycznych. To czym wyróżnia się nasze podejście to budowa sond w formie CubeSatów co pozwala łatwo dodawać kolejne podsystemy, testować sprzęt w stratosferze niskim kosztem oraz umożliwia naszemu zespołowi zdobycie cennej wiedzy związanej z projektowaniem i programowaniem urządzeń operujących w trudnych warunkach.

Misja zakończyła się sukcesem i wszystkie cele zostały spełnione zgodnie z założeniami. Nie obyło się jednak bez problemów. Część z nich można było przewidzieć lub wykryć za pomocą większej ilości testów.

Stacja naziemna powstała na bazie projektu SatNOGS jest częścią globalnej, otwartej sieci stacji naziemnych zdolnych odbierać dane z satelit krążących na LEO. Dla nas stacja będzie służyć również do komunikacji z przyszłymi misjami balonowymi. Otwarta natura projektu umożliwia użycie naszej stacji przez inne zespoły z całego świata do odbierania danych z satelit. Projekt ten był wymagający ze względu na wymiary, koszty oraz złożoność systemów niezbędnych do działania całości. Udało się w niego zaangażować zespół bardzo zdolnych studentów niestety pandemia mocno pokrzyżowała nasze plany i bardzo mocno wydłużyła nasz terminarz.

W 2022 roku odbyły się loty pierwszych rakiet konstrukcji koła. Celem lotów było opracowanie i przetestowanie podstawowych technologii, które umożliwiłyby dalsze rozwijanie projektów przez zespół oraz prowadzenia działań popularyzujących branżę kosmiczną w rejonie.

Pierwsza rakiet pod nazwą “Slingshot” wystartowała w maju 2022 roku. Modułowa, w pełni wydrukowana konstrukcja wzniosła się na prawie 200 metrów i była pierwszym tego typu lotem koła. Struktura rakiety nie była dość sztywna co zmusiło do wzmocnienia jej z pomocą śrub i taśmy, co w konsekwencji spowodowało zwiększenie masy rakiety oraz zauważalne obniżenie osiągniętych w stosunku do symulacji (Różnica w pułapach – około 30 metrów).

Kolejnym projektem była rakiet “Apex P”. Pracę nad nią pozwoliły zespołowi sprawdzenie się w działaniu pod presją czasu, umożliwiły przetestowanie rzadko widywanego typu spadochronu, a także zapewniły dobrą platformę testową dla innych systemów, w tym aktywnej stabilizacji. W trakcie konstrukcji pojawiają się liczne problemy, zarówno inżynierskie jak i finansowe. Podjęta zostaje decyzja o zrezygnowaniu z bardziej skomplikowanych systemów, w tym gazowego systemu odzysku, a także pomocniczych spadochronów. W nowym projekcie energia konieczna do wyrzu-

tu przechowana zostaje w naciągniętych gumkach recepturkach zablokowanych za pośrednictwem tłoka i kilku ramion o serwomotor. System przechodzi testy jedynie ze stosunkowo niewielkimi poprawkami.

Pomimo presji wprowadzone w porę awaryjne plany umożliwiły wykonanie udanych lotów i testów, mimo wielu wypadków i nieudanych testów. Lot na silniku Comet okazał się sukcesem, rakieta leciała stabilnie, dane zostały zebrane i poprawnie zapisane. Spadochron mimo, że otworzył się późno i zgodnie z przewidywaniami natychmiast wpadł w rotację, to spełnił swoje zadanie.

Przez te trzy lata, pomimo napotkanych przeszkód, udało nam się osiągnąć sukces w dziedzinie inżynierii kosmicznej. Istnienie naszego koła, jego otwartość na studentów bez żadnego doświadczenia, pozwoliło na naukowy rozwój wielu osobom, które w innym środowisku mogłyby nie mieć takiej możliwości. Silesian Aerospace Technologies działało, działa i będzie działać. Nawet, gdy tam na górze, nie wszystko idzie zgodnie z planem.

AUTONOMICZNA NAWIGACJA ŁAZIKA PLANETARNEGO KALMAN

AUTONOMOUS NAVIGATION OF THE KALMAN PLANETARY ROVER

Szymon Bednorz, Igor Urbanik

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Adres do korespondencji: sbednorz@student.agh.edu.pl, iurbanik@student.agh.edu.pl

Łazik planetarny Kalman (fot. 1.) to studencki projekt rozwijany w ramach koła naukowego AGH Space Systems. Jego konstrukcja oraz przeznaczenie inspirowane są rozwiązaniami stosowanymi obecnie w przemyśle kosmicznym. Ważnym kierunkiem rozwoju robota jest uczestnictwo w zawodach Rover Challenge, podczas których testowane są funkcjonalności wykorzystywane podczas prawdziwych misji łazików planetarnych. Do jednych z zadań należy umiejętność autonomicznego nawigowania po wymagającym terenie. Rola operatorów sprowadza się jedynie do wskazania celu, który robot ma osiągnąć. Referat ma na celu wyjaśnić sposób działania autonomicznej nawigacji.



Fot. 1. Łazik planetarny Kalman podczas zawodów European Rover Challenge 2022

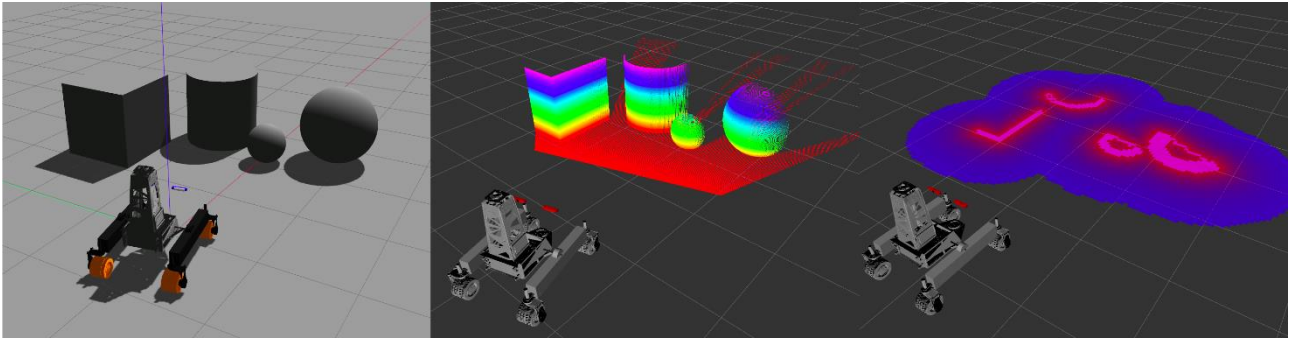
Podstawowym wymaganiem autonomicznej jazdy jest zdolność do określania pozycji względem lokalnego układu odniesienia. Metody globalnej lokalizacji na powierzchni obcych planet są utrudnione lub całkowicie uniemożliwione np. z powodu braku GPS. Wymagane jest więc zastosowanie mechanizmów lokalizacji lokalnej.

Łazik Kalman stosuje do określenia swojej pozycji kilka różnych sensorów. Głównym źródłem informacji o zmianach położenia jest odometria wizualna [1], wykorzystująca zmiany w obrazie kamery. Wykorzystywane są również dane z sensora IMU (inertial measurement unit) do określenia orientacji. Rozważane jest także zastosowanie odometrii kół.

Znaczącym problemem związanym z wymienionymi metodami jest akumulowanie błędów pomiarowych, skutkiem czego może być niepowodzenie misji. Algorytmem łączącym źródła danych, biorącym pod uwagę informacje o ich błędach pomiarowych, jest rozszerzony filtr Kalmana [2].

Do jeszcze dokładniejszego określenia naszej pozycji stosowane są techniki SLAM (simultaneous localization and mapping). Wykorzystują one szczególne elementy otoczenia o znanej wcześniej dokładnie określonej pozycji (na zawodach reprezentowane poprzez znaczniki AR/ArUco), aby odczytać dokładną lokalizację łazika na bazie odległości od nich.

Kolejnym aspektem autonomicznej jazdy jest ocena terenu pod kątem przeszkód i obszarów niedostępnych. Łazik wyposażony jest w kamery głębi, dostarczające trójwymiarową chmurę punktów, która wykorzystywana jest w niedawno wprowadzonym module różnicowej mapy kosztów. Pozwala ona na monitorowanie nachylenia terenu i uniknięcia zbyt stromych podjazdów bądź spadków (rys. 2). W przypadku gdy informacje o eksplorowanym terenie są częściowo znane, np. w postaci satelitarnej mapy wysokości, istnieje możliwość przygotowania mapy przeszkód przed rozpoczęciem misji. Przygotowane w ten sposób mapy będą wzbogacane przez dane pochodzące z czasu rzeczywistego.



Rys. 2. Detekcja przeszkód w czasie rzeczywistym; (od lewej) przykładowe środowisko w symulacji, wizualizacja chmury punktów, wizualizacja różnicowej mapy kosztów.

Logika przejazdów autonomicznych oparta jest na automacie skończonym [3]. Jego celem jest umożliwienie płynnego i bezpiecznego działania robota nawet w przypadku utraty łączności. Ponadto, w przypadku wykrycia istotnego problemu z dojazdem łazika do celu, uruchamiane są mechanizmy ratunkowe [4]. Polegają one na ponownym przeskanowaniu najbliższego otoczenia robota, wyczyszczeniu mapy kosztów, lub w najgorszym wypadku anulowaniu trasy.

Literatura

- [1] Bo H., Huang H., *Visual Odometry Implementation and Accuracy Evaluation Based on Real-time Appearance-based Mapping*, "Sensors Mater" 2020, 32, 2261.
- [2] Fuji K., *Extended Kalman Filter*, "The ACFA-Sim-J Group" 2005.
- [3] Minsky M., *Computation: Finite and Infinite Machines* (1st ed.), New Jersey: Prentice-Hall, 1967.
- [4] Fabro J. et al., *ROS Navigation: Concepts and Tutorial*, 2016, https://doi.org/10.1007/978-3-319-26054-9_6.

BADANIA W KIERUNKU OPRACOWANIA POLSKIEGO, MINIATUROWEGO ZEGARA ATOMOWEGO

RESEARCH TOWARDS THE DEVELOPMENT OF A POLISH MINIATURE ATOMIC CLOCK

Rafał Bilkowski, Paweł Knapkiewicz

Katedra Mikrosystemów, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: pawel.knapkiewicz@pwr.edu.pl

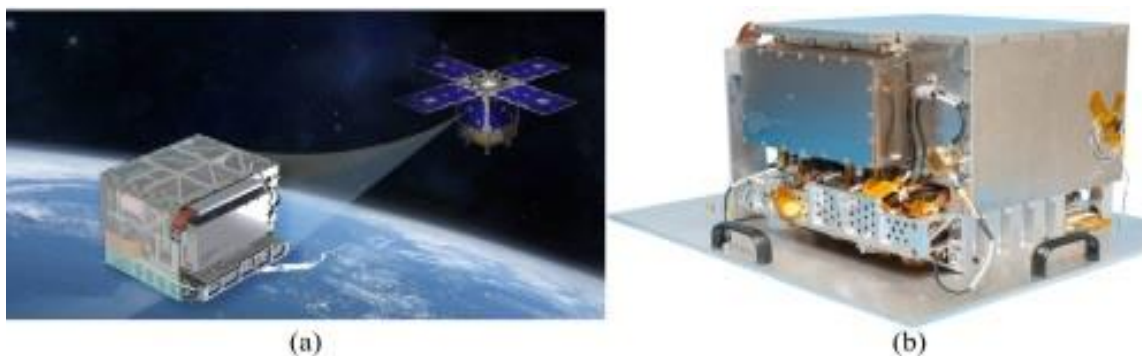
Pomiar czasu i częstotliwości jest znaczącym zagadnieniem cywilizacyjnym. Najprecyzyjniejsze urządzenia do pomiaru czasu (wzorce czasu i częstotliwości) to zegary atomowe. Pierwsze zegary atomowe powstały w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku i do dziś znajdują swoje zastosowanie jako referencje czasu i częstotliwości.

W dzisiejszych czasach istnieje wysokie zapotrzebowanie na małe oraz precyzyjne wzorce czasu i częstotliwości (zegary atomowe). Których odbiorcą jest głównie rynek teleinformatyczny, gdzie istnieje luka dla małych, precyzyjnych zegarów atomowych o niskim zapotrzebowaniu energetycznym (poniżej 100 mW), które zapewniłyby dokładność co najmniej 1000-krotnie większą od stosowanych obecnie oscylatorów kwarcowych [1].

Wszystkie precyzyjne zegary atomowe działają na tej samej podstawowej zasadzie. Po pierwsze, wykorzystują system, który wykazuje regularne zdarzenia okresowe (częstotliwość rezonansową). Do stworzenia atomowego wzorca częstotliwości należy wokół komórki zawierających w formie gazowej (gazy np. wodór czy pary metali alkalicznych np. cez) zbudować źródło sygnału wytwarzającego sygnał oscylacyjny który będzie w rezonansie z naturalnymi oscylacjami danego atomu. Kluczowe jest tu uzyskanie i utrzymanie częstotliwości sygnału ze źródła. Zliczając cykle oscylatora można przekształcić uzyskaną referencję na pożądane interwały czasowe. Wykorzystując zjawisko tego typu można uzyskać referencję czasu, która jest bardzo stabilna i precyzyjna przez okres nawet do kilkudziesięciu lat. Dokładność naziemnych zegarów atomowych jest bardzo wysoka (nawet do 10^{-18} sekundy dla zegara atomowego opartego o pierwiastki aluminium, magnezu oraz iterbu lub 10^{-15} sekundy dla fontanny cezowej), jednakże ich wielkość, energochłonność oraz wrażliwość na zmiany środowiskowe eliminują ich udział w lotach kosmicznych. Współczesne statki kosmiczne określają swoją pozycję opierając się o sygnał generowany przez zegary atomowe umieszczone na Ziemi. W celu określenia pozycji statku kosmicznego, sygnał wysyłany jest na Ziemię. Gdzie nawigator wie, że prędkość światła to około 300 000 kilometrów na sekundę. Znając czas przesyłania informacji można określić odległość obiektu A od obiektu B. Pomiar tego typu może zostać wykorzystany do dokładnego określenia kierunku, odległości i prędkości danego elementu. Problemem są loty kosmiczne w odległy kosmos, gdzie wysyłanie i odbieranie sygnału z Ziemi, może zająć kilkanaście minut. Rozwiązaniem tego problemu może być miniaturyzacja zegarów atomowych oraz poprawa ich parametrów mechanicznych, w taki sposób, aby mogły wyruszyć poza naszą planetę. Łącząc pokładowy zminiaturyzowany zegar atomowy i system nawigacji, możliwe będzie sterowanie statkiem niezależnie od sygnału pochodzącego z Ziemi. W przypadku zastosowania zegarów atomowych w przestrzeni kosmicznej muszą być one niezwykle precyzyjne, nawet do 50 razy bardziej niż ówczesnie wykorzystywane referencje kwarcowe umieszczone w satelitach, ponieważ błąd pomiaru czasu o jedną sekundę może oznaczać różnicę pomiędzy lądowaniem na Marsie a przegapieniem planety o tysiące kilometrów [2–4].

W czerwcu 2019 roku w przestrzeń kosmiczną został wystrzelony Nasa's Deep Space Atomic Clock, który został zdefiniowany jako krok milowy w kierunku umożliwienia statkom kosmicznym samodzielnej nawigacji w głębokiej przestrzeni kosmicznej. Misja kosmiczna miała na celu sprawdzenie stabilności zminiaturyzowanego zegara atomowego na orbicie, scharakteryzowanie jego stabilności długoczasowej oraz zademonstrowanie jego możliwości jako instrumentu nawigacyjnego. Na rysunku 1 przedstawiono technologię DSAC (a) oraz zegar atomowy wykonany przez NASA o wymiarach 25 x 25 x 25 cm (b). Zachowanie zegara atomowego DSAC w kosmosie nie odbiegało od jego zachowania na ziemi. W przyszłości przewiduje się, że każdy statek kosmiczny będzie wyposażony w pokładowy zegar atomowy w celach nawigacyjnych. Dane z tego niezwykle istotnego eksperymentu pomogą zbudować instrument

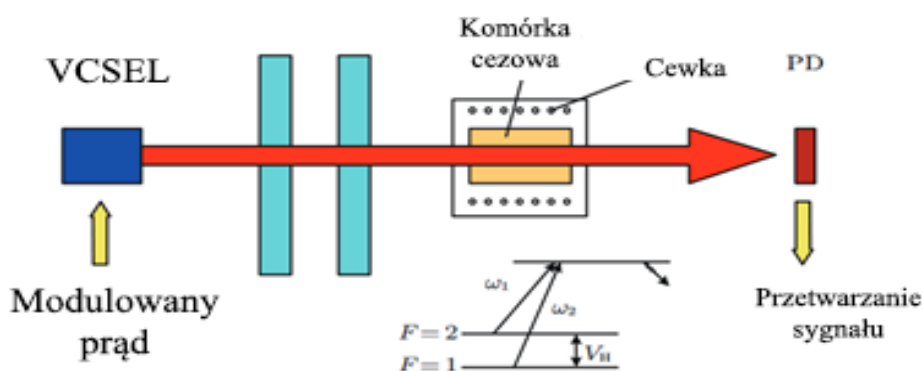
„Deep Space Atomic Clock – 2”, którego prototyp zostanie wysłany w 2028 roku na pokładzie statku VERITAS (NASA’s Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography & Spectroscopy) [5].



Rys. 1. Ilustracja przedstawiająca technologię Deep Space Atomic Clock oraz statek kosmiczny General Atomics Orbital Test Bed (a) fotografia Nasa’s Deep Space Atomic Clock (b) [5]

W Politechnice Wrocławskiej od 2008 roku trwają prace nad technologią umożliwiającą wykonanie miniaturowego zegara atomowego Chip Scale Atomic Clock (CSAC) przy wykorzystaniu technologii MEMS (Micro–Electro–Mechanical–Systems). Wiele cech zegara tego typu charakteryzuje go jako idealny do zastosowań kosmicznych, w których mała waga, rozmiar oraz moc są niezwykle istotne. Ostatni trend w kierunku budowy i umieszczania na orbicie małych satelitów typu CubeSat, które wymagają najnowocześniejszej technologii oraz szybkiego prototypowania, miniaturowe zegary atomowe CSAC są tutaj dobrym rozwiązaniem.

Optyczny zegar atomowy typu CSAC bazuje na efekcie CPT (Coherent Population Trapping). Podstawową uproszczoną zasadę działania efektu CPT przedstawiono na rysunku 2. Fala elektromagnetyczna, która zazwyczaj w zegarze atomowym CSAC emitowana jest przy pomocy diody VCSEL (Vertical–cavity–surface–emitting laser) o odpowiedniej długości fali przechodzi przez komórkę optyczną z parami alkaliów. Jeśli częstotliwość fali elektromagnetycznej przechodząca przez komórkę zostanie odpowiednio zmodulowana przy pomocy generatora RF to generowana fala oddziałuje z układem trzech poziomów energetycznych. Wskutek takiej reakcji pewna część atomów zostanie uwieczniona w stanie podstawowym, dzięki czemu można zaobserwować charakterystyczną wyraźną linię spektralną poprzez detekcję sygnału optycznego przy pomocy detektora. Wykryty sygnał może być wykorzystany jako referencja do uzyskania precyzyjnej wartości częstotliwości [6].

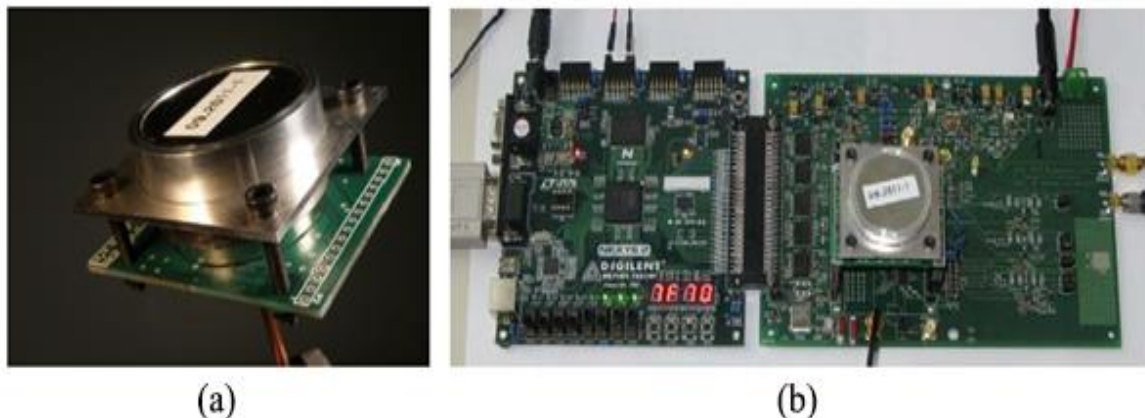


Rys. 2. Schemat poglądowy prezentujący uproszczoną zasadę działania zegara opartego o efekt CPT [6]

Uzyskanie samego efektu CPT wymaga opracowania tak zwanego „physical package” (ekranowanie zewnętrznego pola magnetycznego, zintegrowanie wokół komórki optycznej MEMS układu stabilizacji temperatury i wewnętrznego pola magnetycznego) oraz dość wyrafinowanego układu elektronicznego.

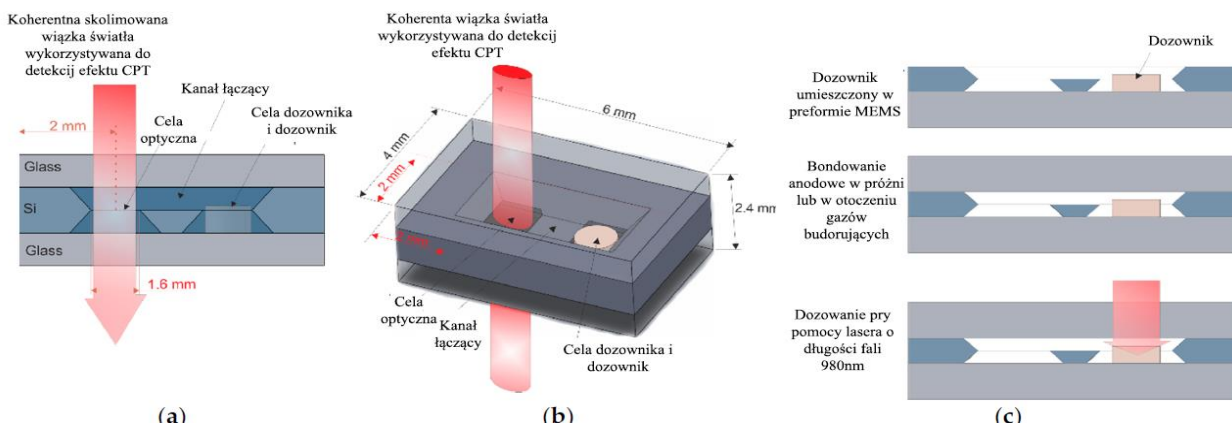
Zegar atomowy tego typu został wykonany w ramach projektu MAC–TFC gdzie Politechnika Wroclawska odpowiadała za opracowanie technologii miniaturowej komórki optycznej MEMS wypełnionej parami cezu. Na rysunku 3 przedstawiono zegar MAC–TFC zamontowany na płytce PCB oraz zegar na płytce z układami FPGA (Field Pro-

grammable Gate Arrays) gdzie zaimplementowano przetwarzanie sygnału. Efektem projektu było wykonanie w pełni funkcjonalnego miniaturowego zegara atomowego zintegrowanego z elektroniką. Zegar cechował się poziomem poboru mocy na poziomie 40 mW oraz krótko czasową stabilnością na poziomie 10^{-10} w czasie 100 sekund [7]. Niestety ten spektakularny wynik techniczno-technologiczny nie znalazł wsparcia, w postaci finansowania projektów badawczo-rozwojowych w Polsce.



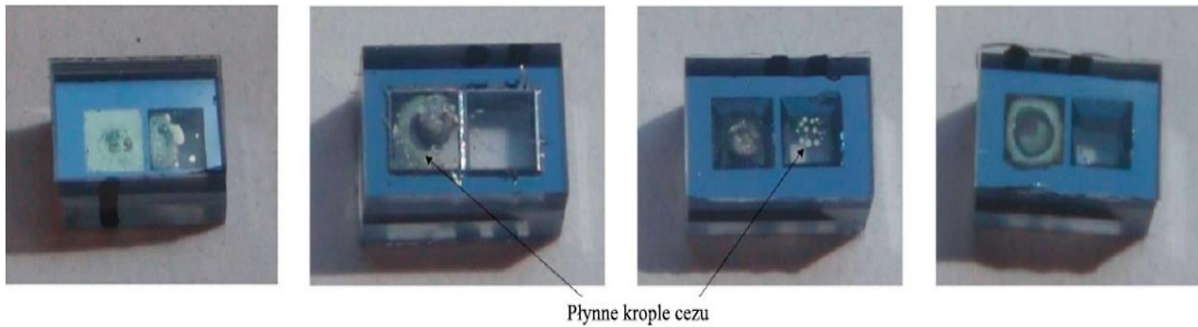
Rys. 3. Elementy zegara CSAC: a) „physical package” na płytce pcb b) „physical package” połączone z elektroniką realizującą przetwarzanie sygnału [7]

Najważniejszym oraz najbardziej krytycznym elementem układu jest komórka optyczna MEMS wypełniona parami cezu lub rubidu. Technologia komórek optycznych MEMS polega na wykonaniu miniaturowej hermetycznie zamkniętej struktury krzemowo-szklanej wypełnionej parami cezu lub rubidu (rys. 4 i rys. 5). Zaprojektowana komórka miała wymiary $4 \times 6 \times 2,6 \text{ mm}^2$ oraz długość drogi optycznej równą 0,4 mm. W zespole naukowym rozwijana jest również technologia komórek wysokopróżniowych dla zegarów atomowych na tak zwanych zimnych atomach. Komórka tego typu charakteryzuje się podobnymi elementami składowymi, jednakże posiada zintegrowaną pompę próżniową [8–10].



Rys. 4. Wizualizacja samopompującej komórki MEMS: a) przekrój b) widok 3d c) proces technologiczny [10]

W ramach prac w Politechnice Wrocławskiej opracowano i zoptymalizowano technologię miniaturowych cezowych i rubidowych komórek MEMS. Jak wspomniano wcześniej, takie komórki optyczne są kluczowym komponentem dla miniaturowego zegara atomowego, a zespół Politechniki Wrocławskiej posiada możliwości technologiczne ich wytwarzania. W ramach prac uzupełniających opracowano stanowisko do spektroskopii optycznej w tym spektroskopii nasyconej, umożliwiające szybką weryfikację technologii komórek MEMS. Aktualnie trwają prace nad zbudowaniem stanowiska do badania efektu CPT oraz budową własnego zegara atomowego.



Rys. 5. Komórki MEMS wypełnione cezem [10]

Katedra Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej jest jedynym w Polsce i jednym z niewielu ośrodków badawczych na świecie, posiadających kompetencję w zakresie technologii komórek optycznych MEMS dla zegarów atomowych. Opracowano technologie komórek MEMS dla miniaturowego europejskiego zegara atomowego i rozwijana jest technologia tak zwanych systemów wysokopróżniowych wśród których wyróżnić należy technologię komórek optycznych dla zegarów na zimnych atomach. Aktualnie planowane prace dotyczą rozszerzenia tych kompetencji i opracowanie polskiego optycznego zegara atomowego wykorzystującego efekt CPT.

Literatura

- [1] Martin V. et al., *Quantum technologies in the telecommunications industry*, “EPJ Quantum Technology” 2021, DOI:10.1140/epjqt/s40507-021-00108-9
- [2] Beloy K. et al., *Frequency ratio measurements at 18-digit accuracy using an optical clock network*, “Nature” 2021.
- [3] Ye J., *Optical atomic clock*, “American Physical Society” 2014, doi.org/10.1103/RevModPhys.87.637
- [4] Artykuł popularnonaukowy *Deep Space Atomic Clock (DSAC)* na stronie nasa.gov.pl
- [5] Artykuł popularnonaukowy *NASA’s Deep Space Atomic Clock Completes Mission* na stronie nasa.gov.pl
- [6] Shao-Liang L. et al., *Integrated physic package of a chip-scale atomic clock*, “Chinese Physical Society and IOP Publishing LTD” 2014.
- [7] Gorecki C., *Development of the first European chip-scale atomic clocks: technologies, assembling and metrology*, “Procedia Engineering” 2012, DOI:10.1016/j.proeng.2012.09.292
- [8] Grzebyk T., *MEMS Vacuum Pumps*, “Journal of Microelectromechanical Systems” 2017, DOI:10.1109/JMEMS.2017.2676820
- [9] Knapkiewicz P. et al., *MEMS Caesium Vapour Cell for European Micro-Atomic-Clock*, “Procedia Engineering” 2010, doi/10.1016/j.proeng.2010.09.210
- [10] Knapkiewicz P., *Alkali Vapor MEMS Cells Technology toward High-Vacuum Self-Pumping MEMS Cell for Atomic Spectroscopy*, “Micromachines” 2018, doi.org/10.3390/mi9080405

WYBRANE TECHNIKI PRZECIWKŁÓCENIOWE W OBSZARZE MILITARNEGO WYKORZYSTANIA SYGNAŁÓW GNSS

SELECTED ANTI-INTERFERENCE TECHNIQUES IN THE AREA OF MILITARY USE OF GNSS SIGNALS

Marcin Boski, Piotr Mielnik

Dział Badań i Rozwoju, Hertz Systems LTD Sp. z o.o.

Adresy do korespondencji: m.boski@hertzsystems.com, p.mielnik@hertzsystems.com

Popularyzacja globalnych systemów nawigacji satelitarnej GNSS (ang. Global Navigation Satellite Systems) wśród odbiorców sektora wojskowego, sektora publicznego oraz wśród użytkowników prywatnych postawiła nowe wyzwania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa i stabilności pracy tych systemów.

Istnieją dwa główne zagrożenia dla poprawnej pracy systemu nawigacji satelitarnej. Pierwszym z nich są ataki polegające na zagłuszaniu sygnałów satelitarnych (ang. jamming) [1, 2]. Niska moc odbieranego sygnału (-165dBW) sprawia, że odbiorniki nawigacji satelitarnej są podatne na przypadkowe RFI (ang. Radio Frequency Interferences) i celowe zagłuszanie. W przypadku, gdy poziom zakłóceń przekroczy pewną granicę, sygnał GNSS zostanie utracony, w wyniku czego odbiornik nie będzie w stanie wyznaczyć swojej pozycji, prędkości i czasu.

Drugim sposobem jest transmitowanie sygnałów satelitarnych imitujących sygnały nadawane z satelitów nawigacyjnych (z ang. spoofing) [1, 2]. Jeśli odbiornik nie jest w stanie odróżnić rzeczywistych sygnałów satelitarnych od sygnałów fałszywych, efektem będzie wskazywanie przez odbiornik nieprawdziwej; pozycji, prędkości i czasu. Tego typu ataki stanowią olbrzymie zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi, sprzętu a także dla poprawnej realizacji misji, o czym mogą świadczyć przykłady z niedawnej historii. Specyficznymi odmianami spoofingu są: meaconing lub retransmisja w oparciu o repeater innej pozycji. Jednym z najbardziej spektakularnych przypadków wykorzystania spoofingu sygnału GPS, było sprowadzenie na ziemi bezzałogowego samolotu RQ-170 na terenie Iranu w roku 2011 [3]. Innym przypadkiem, tym razem – nieumyślnego, zastosowania spoofingu sygnału GNSS było zdarzenie na lotnisku w Hannoverze w 2010 roku [3]. W przestrzeni medialnej w roku 2013 bardzo mocno wybrzmiało przejęcie luksusowego jachtu [4], przy czym zastosowany tam sposób oszukania pokładowych systemów nawigacji należy traktować jako bardziej medialny niż praktyczny. Widać zatem, jak ważnym aspektem jest stosowanie oraz rozwijanie metod ochrony odbiorników sygnałów nawigacji satelitarnej przed oddziaływaniem jammingu oraz spoofingu.

Stosunkowo rzadko poruszonym trzecim sposobem pogarszania pozycji użytkownika jest możliwość celowej degradacji sygnału systemu satelitarnego przez operatora systemu. Przykładowo z ang. Selective Availability (SA) dla sygnału GPS [5] była permanentnie stosowana aż do 02.05.2000 roku i w doktrynie obronnej USA możliwość jej użycia wciąż jest brana pod uwagę. Naturalnie zastosowanie techniki SA w dobie wielosystemowych, wieloczęstotliwościowych urządzeń wydaje się mało realne, niemniej jej ścisłe połączenie z jammingiem może wciąż być efektywne.

W świetle powyższych informacji celem niniejszego referatu jest zaprezentowanie działania wybranych rozwiązań dotyczących obrony przed jammingiem oraz spoofingiem, na przykładzie produktów firmy Hertz Systems LTD Sp. z o.o. (dalej: Hertz Systems).

Dział badań i rozwoju firmy Hertz Systems od wielu lat zajmuje się wojskowymi technologiami kryptograficznymi obszaru nawigacji satelitarnej. Początki sięgają lat 2006-2007, kiedy to rozpoczął się proces wprowadzania na wyposażenie polskiej armii pierwszych odbiorników z modulem SAASM (ang. Selective Availability – Anti Spoofing). Dzięki powstałemu w 2008 roku w firmie Hertz Systems odbiornikowi HGPS-T oraz wdrożeniu przez dedykowane służby procedur dystrybucji kluczy kryptograficznych Polska wkroczyła do grona niewielu państw NATO samodzielnie posiadających w pełni takie zdolności.

Wstąpienie Polski do Unii Europejskiej oraz przyspieszenie projektu GALILEO [6] otworzyły krajowym instytucjom nowe możliwości w zakresie użytkowania odbiorników tego systemu przez autoryzowanych użytkowników. Już w 2017 roku firma Hertz Systems jako pierwsza w Polsce wystąpiła z krajowym projektem, opracowania kryptogra-

ficznego odbiornika nawigacji satelitarnej GPS-SAASM/GALILEO-PRS, przeznaczonego dla służb publicznych (projekt realizowany w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Osi Priorytetowej 1 Regionalnego Programu Operacyjnego – Lubuskie 2020, nr. RPLB.01.01.00-IZ.00-08-K01/16). Z uwagi na istniejące w tym czasie ograniczenia formalne Komisji Europejskiej (KE) w zakresie integracji i rozwoju technologii PRS przyjęto w projekcie strategię stworzenia osobnych konstrukcji, gdzie odbiornik GALILEO PRS miał być konstruowany zgodnie z zaleceniami bezpieczeństwa KE.

W celu ich pozyskania firma Hertz Systems wystąpiła do KE o certyfikat (tzw. Security Accreditation Board) i po jego uzyskaniu jako jedyna polska firma rozpoczęła współpracę w konsorcjum z firmą THALES w projekcie PRISMA (edycja 4) nad produkcją odbiornika PRS. Projekt prowadzony był przez instytucję zarządzającą programem GALILEO tj. GSA (European GNSS Agency) obecnie EUSPA z siedzibą w Pradze. Zadaniem firmy było opracowanie i wykonanie: płyty elektroniki pod francuski moduł kryptograficzny, anteny na pasma E1 i E6 oraz integrację produktu wewnątrz odbiornika HGPST-T.

Powyższe doświadczenia, znajomość technologii, dostęp do norm i wytycznych umożliwiły firmie start w br. w projekcie prowadzonym przez Europejską Agencję Obrony EDA (ang. European Defence Agency) w projekcie GEODE (Galileo for EU Defence). Zadaniem firmy Hertz Systems jest samodzielne opracowanie i wytworzenie odbiornika nawigacji dla Sił Lądowych, bazującego na module kryptograficznym GALILEO PRS włoskiej firmy Leonardo, amerykańskim module kryptograficznym oraz autorskich rozwiązaniach innych podzespołów. Przekazanie w projekcie wiodącej roli polskiej firmie poprzedzone było prawie dwuletnimi rozmowami o konstrukcji, sposobach integracji podzespołów oraz metodach na wypełnienie wymaganiach bezpieczeństwa, które firma przedstawiła konsorcjum.

Odbiornik ten zawiera w sobie większość rozwiązań jakie firma rozwinęła przez ostatnie kilka lat realizując szereg przedsięwzięć z obszaru technologii anty-jamming i anty-spoofing. Są to:

- ścisła integracja z antenami CRPA (ang. Controlled Reception Pattern Antenna), pozwalająca na monitorowanie tła elektromagnetycznego na dedykowanych pasmach, dynamicznym sterowaniem programami wykrycia oraz efektywnym zarządzaniem informacją o kierunku wykrycia źródła emisji (ZE) zakłócenia w przypadku pracy systemowej nakierowanej na lokalizację tegoż ZE,
- moduł nawigacji zliczeniowej bazujący na filtrze Kalmana pozyskującego dane z systemu inercyjnego IMU (ang. Inertial Measurements Systems), cywilnego odbiornika wielosystemowego, wieloczęstotliwościowego GNSS, kryptograficznego odbiornika GNSS (PRS lub SAASM/M-code) oraz danych z pokładowych sensorów dostępnych na danej platformie lądowej lub powietrznej (odpowiednio: odometr lub wysokościomierz barometryczny, lidar, centralka aerodynamiczna, magnetometr, etc.),
- reguły decyzyjne i algorytmy pozwalające na przełączanie z precyzyjnej nawigacji GNSS cywilnej na GNSS wojskową lub autonomiczną tzw. Dead Reckoning i kontynuację misji przez okres ograniczony zastosowanym na platformie IMU, dokładnością sensorów oraz w przypadku platform powietrznych zmiennymi warunkami pogodowymi.

Podsumowując powyższe streszczenie, w ramach przygotowanego referatu zaprezentowane zostaną podstawowe zagrożenia (jamming, spoofing) oddziałujące na współczesne odbiorniki nawigacji satelitarnej oraz wybrane sposoby ochrony odbiorników przed nimi w zależności od typu platformy (lądowe/powietrzne). Szczególny nacisk zostanie położony na omówienie metod polegających na zastosowaniu odbiorników wielosystemowych, odbiorników pracujących na kodowanych sygnałach (GPS – P(Y)/M-Code oraz GALILEO PRS), antenach CRPA oraz integracji odbiorników GNSS z modułami nawigacji inercyjnej. Omówione metody zostaną zaprezentowane na przykładzie rzeczywistych projektów i produktów zrealizowanych przez dział badań i rozwoju firmy Hertz Systems.

Literatura

- [1] Rügamer A. et al., *Jamming and Spoofing of GNSS Signals - An Underestimated Risk?!*, "Proc of FIG Working Week" 2015, p. 21.
- [2] Intertanko, *Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*, dostępny <https://www.maritimeglobalsecurity.org/media/1043/2019-jamming-spoofing-of-gnss.pdf>
- [3] <https://threat.technology/top-10-gps-spoofing-events-in-history/>
- [4] <https://newatlas.com/gps-spoofing-yacht-control/28644/>

-
- [5] Liu C.J., *Effects of Selective Availability on GPS Positioning Accuracy*, “Southern Journal of Applied Forestry” 2002, pp. 140-145, doi: 140-145.10.1093/sjaf/26.3.140.
- [6] Bartolomé J.P. et al, *Overview of Galileo System*, “GALILEO Positioning Technology”, Springer, p. 2, doi: 10.1007/978-94-007-1830-2_2.

ZARZĄDZANIE ZASOBAMI PROJEKTOWYMI W STUDENCKIM ZESPOLE SILESIA PHOENIX

PROJECT RESOURCES MANAGEMENT IN SILESIA PHOENIX STUDENTS' TEAM

Jakub Bręczewski¹, Jakub Gurgul², Andrzej Jałowiecki³, Patryk Stawczyk⁴

¹ Instytut Fizyki – Centrum Naukowo Dydaktyczne, Politechnika Śląska

² Wydział Matematyki Stosowanej, Politechnika Śląska

³ Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

⁴ Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

Adresy do korespondencji: jakugur391@student.polsl.pl, andrzej.jalowiecki@polsl.pl

Silesia Phoenix jest projektem realizowanym w ramach Międzywydziałowego Studenckiego Koła Naukowego Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH działającego na Politechnice Śląskiej [1]. Zespół realizujący projekt składa się ze studentów różnych Wydziałów, wzajemnie uzupełniających się wiedzą i doświadczeniem z zakresu różnych dziedzin nauk technicznych. Celem projektu Silesia Phoenix jest zaprojektowanie, zbudowanie i oprogramowanie mobilnej platformy jezdnej do zastosowania w eksploracji planet i innych ciał niebieskich, potocznie zwanej łazikiem. W ramach wieloletniej działalności projektu, jak dotąd powstały dwie wersje łazika – Phoenix I oraz Phoenix II, a aktualnie trwają prace nad wersją trzecią. Aktualnie prowadzone są prace związane z opracowaniem kolejnej wersji łazika Phoenix III. Opracowane konstrukcje biorą udział w międzynarodowych zawodach European Rover Challenge [2], gdzie w warunkach symulujących misję na Marsie testowane jest działanie poszczególnych systemów.

Ze względu na fakt, iż Silesia Phoenix jest projektem studenckim, wiele aspektów jego realizacji znacząco różni się od standardowego podejścia realizowanego w przemyśle. Jednym z podstawowych problemów związanych z realizacją tego typu projektów jest ciągła zmienność składu osobowego. Studenci realizujący projekt są jedynie przez pewien ograniczony okres związani z projektem, co powoduje, że niezwykle istotnym staje się aspekt zarządzania zasobami projektowymi, tj. dokumentacją projektową, know-how jak również samymi osobami. Bardzo często zdarza się, że dokumentacja projektowa jest przechowywana lokalnie przez osobę odpowiedzialną za realizację danego zadania. Rodzi to problem w momencie gdy dana osoba przestaje realizować projekt i odchodzi wraz z dokumentacją oraz niezbędną wiedzą, co sprawia, że nowi członkowie zespołu muszą często zaczynać od podstaw. Aby przeciwdziałać tego typu sytuacjom, które miały również miejsce w ramach realizacji projektu Silesia Phoenix, postanowiono wykorzystać wiodące na rynku sposoby organizacji i zarządzania zasobami projektowymi. W tym celu postawiono na wdrożenie następujących narzędzi:

- Platforma Microsoft Office 365 na licencji udostępnianej przez Politechnikę Śląską służąca do organizowania ogólnej dokumentacji związanej z projektem, tworzeniem wydarzeń oraz obsługi skrzynki mailowej [3],
- Platforma 3DEXperience na licencji sponsorskiej udostępnianej przez SolidExpert, służąca do zarządzania i przechowywania dokumentacji CAD oraz ECAD związanej z realizowanym projektem, jak również do przydzielania i nadzorowania zadań [4],
- System Git na licencji otwartej oraz serwis hostingowy Gitlab na darmowej licencji, służące do zarządzania plikami związanymi z częścią programistyczną projektu [5, 6].

Sposób wykorzystania platformy Microsoft Office 365 wzorowany jest na sposobie wykorzystania go w firmach i spółkach przemysłowych oraz biznesowych. Wszystkie zasoby dostępne są dla użytkowników należących do organizacji i nie tylko. Sama platforma składa się z wielu modułów dostępnych do wykorzystania przez użytkownika oraz grup użytkowników, dostępne w ramach udostępnianej licencji. W celach organizacji, tworzenia i współpracy, redakcji, wersjonowania oraz archiwizacji wykorzystywane jest narzędzie Microsoft SharePoint, pozwalającego na łatwy dostęp do zasobów umieszczonych na serwerach Microsoftu. Mowa tutaj głównie o dokumentacji formalnej projektu, pla-

nach spotkań, listach członków, rozliczeniach okresowych i tym podobnych. Kolejnym ważnym elementem platformy są wewnętrzne metody komunikacji oraz aplikacje do tego służące. Jedną z kluczowych jest Microsoft Outlook, służący do oficjalnej komunikacji mailowej wewnątrz oraz na zewnątrz organizacji oraz planowania i powiadamiania o spotkaniach użytkownika. W przypadku spotkań zdalnych możliwe jest wykorzystanie modułu Microsoft Teams, który zintegrowany jest z całym środowiskiem Microsoft Office 365.

Platforma 3DEXperience, należąca do portfolio Dassault Systèmes, stanowi nowoczesne rozwiązanie do zarządzania plikami i danymi projektowymi wykorzystywanymi głównie w środowiskach klasy CAx takimi jak CATIA czy SOLIDWORKS. W ramach platformy użytkownicy mają dostęp do wspólnego repozytorium plików, przechowywanego na serwerach Dassault Systèmes, dzięki czemu wszyscy pracują na tych samych modelach i nie występuje problem z wersjonowaniem i nadpisywaniem plików. Wykorzystując chmurowy system zarządzania plikami możliwe jest pracowanie z dowolnego miejsca na świecie, a funkcja blokowania plików w trakcie pracy niweluje problem edycji pliku przez kilka osób w tym samym czasie. Poza funkcjonalnością oprogramowania PDM (ang. Product Data Management), platforma 3DEXperience umożliwia również zarządzanie zespołem poprzez tworzenie i przydzielanie zadań jak również udostępnia wewnętrzne narzędzia komunikacji zarówno grupowej jak i bezpośredniej.

Do obsługi projektu od strony programistycznej używany jest system kontroli wersji Git, stworzony przez twórcę systemu Linux – Linus Torvalds. System ten umożliwia programistom, pracę w grupie i uniknięcie konfliktów plikowych. Te dwa aspekty są niezwykle ważne zarówno w dużym komercyjnym projekcie jak i w studenckim kole naukowym. System ten jest u nas wykorzystywany do ujednoczenia kodu pośród wszystkich członków zespołu, przechowywania rozproszonej kopii całego repozytorium oraz testowania nowych rozwiązań programistycznych na dodatkowych gałęziach. Rozwiązanie to jest bardzo pomocne w pracy przy rozproszonym i często zmieniającym się zespole, ponieważ nowi członkowie mogą bez przeszkód testować nowe rozwiązanie oraz uzyskiwać pomoc od bardziej zaawansowanych kolegów z zespołu. Aby zwiększyć dostępność do repozytorium jest ono przechowywane na serwisie internetowym dostarczonym przez zewnętrzną firmę Gitlab. Dzięki darmowemu dostępowi do ich platformy, możliwe jest utworzenie własnej grupy projektowej oraz repozytorium dla poszczególnych modułów łazika. Pozwala to na zachowanie przejrzystości dla przyszłych oraz aktualnie pracujących nad projektem członków.

Nowo przyjęci członkowie zespołu uzyskują dostęp do projektów, przy których pracują, i mogą je dowolnie rozgłębiać, ale dzięki odpowiednio ustawionym prawom dostępu, przed ponownym scaleniem, muszą przejść przez proces konsultacji z bardziej doświadczonymi programistami w zespole. Jest to niezwykle przydatna funkcja, która jest często wykorzystywana przy naszej pracy. Kolejną ważną cechą jest możliwość przeprowadzania testów automatycznych przez serwis po odpowiednim skonfigurowaniu usługi ciągłej integracji. W ten sposób mniej doświadczone osoby mogą poddać swoje oprogramowanie testom napisanym przez starszych członków.

Tak więc, jak można zauważyć wdrożenie narzędzi zarządzania zasobami projektowymi potrafi w znaczący sposób usprawnić pracę nad projektem studenckim, który charakteryzuje się dynamicznym składem osobowym i często niestandardyzowanym sposobem zarządzania zasobami projektowymi. Głównie ze względu na tę dynamikę, niezwykle trudno jest utrzymać kontrolę nad projektem i jego zasobami, w szczególności tak rozbudowanym jak łazik międzyplanetarny, gdzie zarówno mechanicy, elektronicy i programiści muszą współdziałać i dobrze komunikować swoje działania aby osiągnąć ostateczny cel, a tworzona w trakcie projektu dokumentacja musi być przejrzysta i dostępna dla wszystkich działów. Zastosowane w projekcie platformy pozwalają również studentom na nabycie umiejętności pracowania z wiodącym na rynku oprogramowaniem, co również zwiększy ich atrakcyjność na rynku pracy, jednocześnie wprowadzając ujednoczone standardy w projekcie.

Literatura

- [1] Strona projektu Silesian Phoenix, <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).
- [2] Strona zawodów European Rover Challenge, <https://roverchallenge.eu/> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).
- [3] Microsoft Office 365, <https://www.office.com/> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).
- [4] Platforma 3DEXperience, <https://www.3ds.com/3dexperience> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).
- [5] System Git, <https://git-scm.com/> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).
- [6] Serwis Gitlab, <https://about.gitlab.com/> (data uzyskania dostępu 22/09/2022).

PROJEKTOWANIE ORBIT MISJI SATELITARNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM KOMUNIKACJI Z SIECIĄ STACJI NAZIEMNYCH

SATELLITES ORBIT DESIGN TAKING INTO ACCOUNT COMMUNICATION WITH THE GROUND STATION NETWORK

Zofia Budzik

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki Instytut Obserwatorium Astronomiczne

Adres do korespondencji: sophiebudzik@gmail.com

W skład każdej misji satelitarnej wchodzi segment naziemny składający się ze stacji naziemnych które odpowiadają za komunikację z satelitą: pobieranie zebranych danych i wysyłanie komend. Czas, w którym mogą być wykonywane takie operacje jest ograniczony do czasu, w którym satelita jest widoczny z danej stacji naziemnej. Z tego powodu wybór stacji naziemnych i ich umiejscowienia jest bardzo ważnym czynnikiem, który decyduje o potencjale misji satelitarnej. W tym celu stworzyłam narzędzie, które umożliwia obliczanie teoretycznego czasu łączności z satelitą dla różnego umiejscowienia i liczby stacji naziemnych dla dowolnego zestawu elementów orbitalnych charakteryzujących orbitę satelity. Następnie porównałam jak zmiany danych wejściowych wpływają na czas łączności. Znając inne cechy misji jak planowaną ilość zebranych danych oraz prędkość przesyłu można oszacować czy obliczony czas łączności jest wystarczający do przesyłu. W przypadku gdy czas łączności nie jest dostateczny można wprowadzić zmiany w planach misji jeszcze przez umieszczeniem satelity na orbicie. Dzięki temu można uniknąć sytuacji opisanej w analizie błędów misji KrakSat [1] gdzie błędy w planowaniu komunikacji „przyczyniły się do znacznego ograniczenia liczby wykonywanych sesji, a tym samym – zmniejszenia ilości odebranych z satelity danych”.

Moje narzędzie składa się z dwóch stworzonych przeze mnie programów: Skyfield i Z_ephem . Skyfield jest oparty na astronomicznej bibliotece Skyfield, która „umożliwia dokładne predykcje pozycji satelitów Ziemi z elementów orbitalnych z plików TLE (Two-Line Element) i przeprowadzanie ich przez procedurę propagacji satelitarnej SGP4” [2]. SGP4 jest najczęściej używanym matematycznym modelem perturbacji działających na satelitę. Program Z_ephem posiada mniejszą dokładność, ponieważ do opisanego perturbacji używane jest w nim zagadnienie główne sztucznych satelitów Ziemi. Do potrzeb statystycznych do których został stworzony takie uproszczenie jest dopuszczalne.

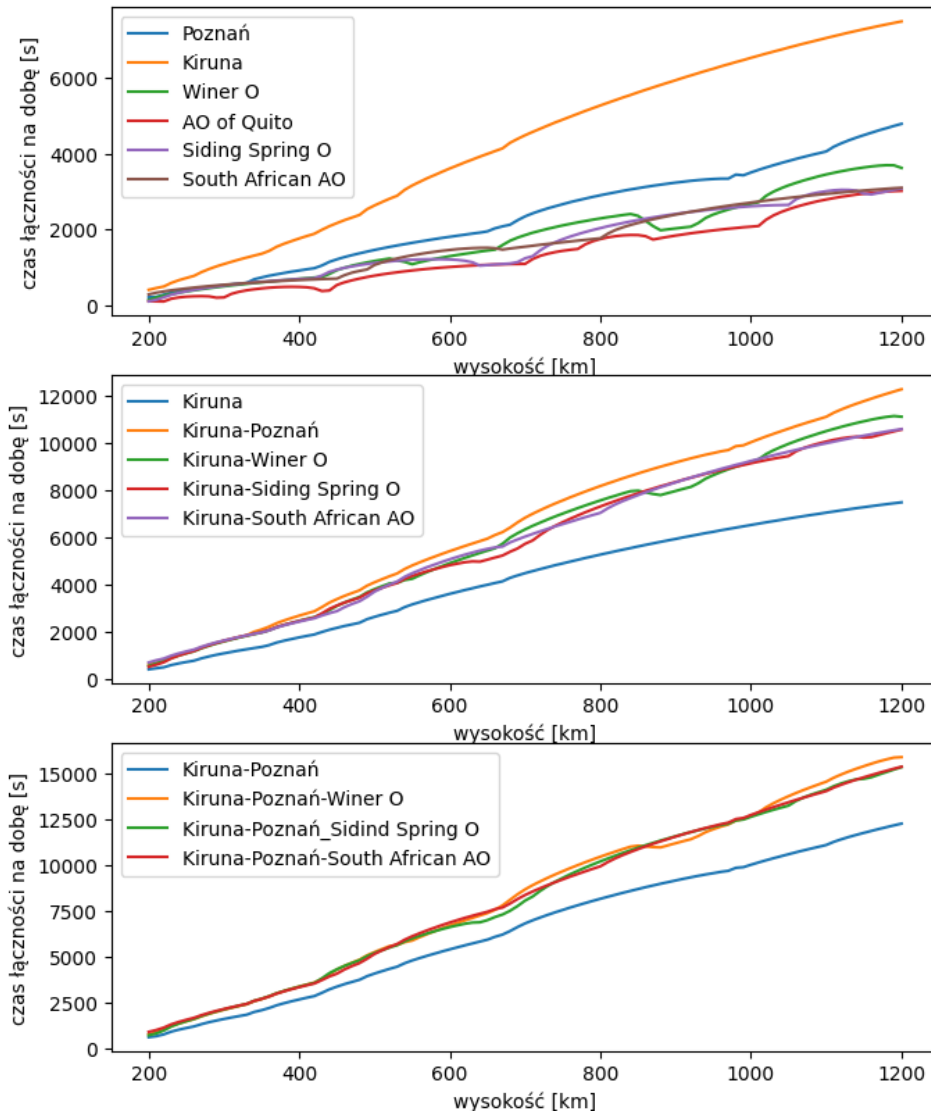
Oba programy zostały przetestowane poprzez porównanie ich z sat_ephem . Programem, który jest częścią Poznań Satellite Software Tools stworzonego przez dr Krzysztofa Kamińskiego [3] i jest regularnie używany przy planowaniu obserwacji satelitów nad obserwatorium Winer w Arizonie.

Program Z_ephem (którym uzyskałam wyniki opisane poniżej) oblicza współrzędne na których znajduje się w danym momencie satelita. Następnie razem ze współrzędnymi stacji naziemnej służą one do obliczenia ortodromy-najkrótszej drogi łączącej dwa punkty (w tym przypadku współrzędne stacji i współrzędne satelity) na powierzchni kuli. Jeśli ta odległość jest mniejsza niż połowa horyzontu satelitarnego (obszaru widocznego z satelity w danym momencie, zależnego od wysokości satelity nad powierzchnią Ziemi) oznacza to, że w tym momencie satelita jest widoczny ze stacji i można nawiązać z nim kontakt.

Jednym z rodzajów orbit jakie zbadalam są niskie, biegunowe (o nachyleniu około 90° w stosunku do płaszczyzny równika) orbity heliosynchroniczne. Charakteryzują się tym, że satelity znajdujące się na takich orbitach zawsze obserwują nasłonecznioną część Ziemi, z tego powodu są często wykorzystywane do misji których celem jest ciągła obserwacja Ziemi.

Przy jednej stacji (górną wykres na rysunku 1) najwięcej czasu łączności na wszystkich wysokościach zapewnia stacja w Kirunie w Szwecji. Jej bliskość do bieguna zapewnia trzykrotnie więcej czasu niż stacje położone bliżej równika. Stacja w Poznaniu pomimo oddalenia od Kiruny tylko o 15 stopni na południe, zapewnia prawie dwukrotnie mniej czasu. W sytuacji użycia dwóch stacji (środkowy wykres na rysunku 1) różnice zaczynają być widoczne na wysokości ok 400 km, a najlepszy wynik zapewnia kombinacja Kiruna–Poznań. Pozostałe 3 pary dają podobne wyniki aż do wysokości 600 km gdzie, Kiruna–Winer zaczyna przewyższać pozostałe 2 zestawienia aż do małego spadku i zrówna-

nia, gdy wysokość ϵ (850km, 1000km). Czas łączności przy sieci 3 stacji, w której skład wchodzi Kiruna i Poznań, nie różni się diametralnie. Lekko lepsze wyniki daje dodanie stacji w Winer. Aby otrzymać jak najlepsze rezultaty dla niskiej orbity heliosynchronicznej, należałoby wybrać stacje jak najbliżej bieguna. Z powodu biegunowego nachylenia orbity satelity więcej czasu spędza w okolicach bieguna co przekłada się na największą wydajność stacji w Szwecji i Polsce.



Rys. 1. Czas łączności w zależności od wysokości nad powierzchnią Ziemi, liczby i rozmieszczenia stacji naziemnych dla satelity na orbicie heliosynchronicznej

Literatura

- [1] Musiał, A., Markowski, D., Życzkowski, J., *Analiza błędów misji KRAKsat*, 2019, DOI: 10.13140/RG.2.2.34113.7152
- [2] Rhodes, B., *Skyfield: High precision research – grade positions for planets and earth satellites generator*, “Astrophysics Source Code Library” 2019, record ascl:1907.024.
- [3] Kamiński K., *Program sat_ephem*, Poznań Satellite Software Tools, 2022.

ZMODYFIKOWANY MODEL EKSPERYMENTU NASA MARS OXYGEN ISRU (MOXIE)

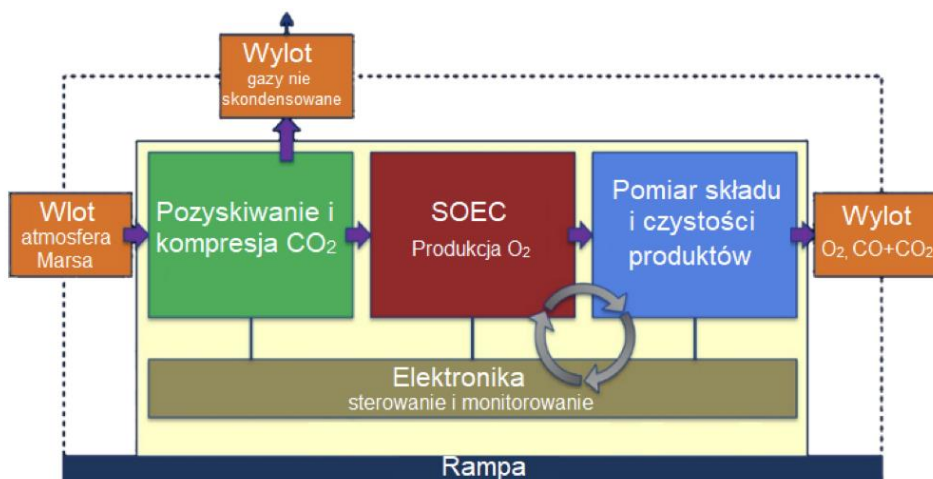
MODIFIED MODEL OF MARS OXYGEN ISRU EXPERIMENT (MOXIE)

Martyna M. Czudec, Laura Mieczkowska, Tadeusz Miruszewski

Instytut Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej,
Politechnika Gdańska

Adres do korespondencji: *martyna.czudec@pg.edu.pl*

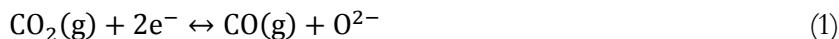
MOXIE (Mars Oxygen ISRU Experiment) stanowi niezwykle istotną część projektu Mars Rover 2020. Realizacja projektu polegała m.in. na wysłaniu w lipcu 2020 roku na pokładzie łazika Perseverance na powierzchnię Marsa elektrolizera, w celu zbadania perspektyw produkcji tlenu. Urządzenie to bazuje na elektrolizie w ciele stałym. Zasada działania elektrolizerów stałych typu SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cells) opiera się na zamianie molekularnej wody lub dwutlenku węgla w wodór lub tlenek węgla przy udziale energii elektrycznej. Schematyczną budowę eksperymentu MOXIE zaprezentowano natomiast na rys. 1.



Rys 1. Funkcjonalny schemat blokowy eksperymentu MOXIE [1]

Elektrolizery stałe typu SOEC działają w wysokiej temperaturze w celu uzyskania wystarczającego przewodnictwa jonowego elektrolitu. Para wodna lub dwutlenek węgla są podawane do katody, gdzie następuje redukcja do wodoru lub tlenku węgla. Jony tlenu przechodzą poprzez elektrolit do anody, w wyniku reakcji redox z udziałem elektronów powstaje molekularny tlen.

Równania (1) i (2) zachodzące w elektrolizerze przedstawiono poniżej.



Elektrolizery tlenkowe składają się z dwóch porowatych elektrod i gęstego elektrolitu. Materiały, z których są one wykonane muszą spełniać szereg kryteriów:

- stabilność chemiczną w atmosferze i temperaturze odpowiedniej dla warunków pracy ogniwa,
- stabilność termiczną w temperaturze pracy ogniwa,
- chemiczną i mechaniczną kompatybilność między materiałami.

Materiały elektrodowe muszą spełniać dodatkowe kryteria takie jak: wysoka aktywność elektrokatalityczna, wysokie przewodnictwo jonowe i elektronowe oraz wysoka porowatość [3, 4].



Rys. 2. Zasada działania elektrolizera stałego SOEC [2]

Materiały użyte w zmodyfikowanym modelu to dla anody LSCoF, dla katody LSCM oraz dla elektrolitu LSGM. Aktualnie, ze względu na początkową fazę wdrażania tej technologii zadaniem nadrzędnym jest właśnie znalezienie jak najlepiej nadających się do użycia w elektrolizerze materiałów. Problemy z jakimi materiały te będą musiały się zmierzyć to chociażby duża gęstość prądu oraz wysokie stężenie dwutlenku węgla przy katodzie, czy też pary wodnej w środowisku ich pracy. Celem jest znalezienie materiałów jak najbardziej odpornych na degradację, stabilnych strukturalnie oraz kompatybilnych z innymi elementami ogniwa.

Istotą pracy nad projektem jest szansa na opracowanie ekologicznej utylizacji CO₂, czyli gazu cieplarnianego powodującego globalne ocieplenie w rozważaniu przydatności na Ziemi. W przypadku badań kosmosu technologia ta ma szansę stać się krokiem milowym w kierunku zasiedlenia Marsa. Może ona umożliwić pozyskanie tlenu, niezbędnego człowiekowi, z atmosfery marsjańskiej. Bez wątpienia utworzenie środowiska przyjaznego człowiekowi z wystarczającą ilością tlenu jest podstawą planowania zasiedlenia nowej planety.

Literatura

- [1] NASA/ JPL-Caltech, *Moxie Functional Block Diagram*.
- [2] Wang Y., *Degradation of solid oxide electrolysis cells: Phenomena, mechanisms and emerging mitigation strategies – A review*, 'Journal of Materials Science & Technology' 2020, 55:35–55.
- [3] NASA, *Mars 2020 Perseverance Launch Press Kit*, 06.2020.
- [4] Meyen F.E., Hecht M.H., Hoffman J.A., the MOXIE Team, *Thermodynamic model of Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE)*, "Acta Astronautica" 2016, 129, pp. 82–87.

NOWATORSKIE SYSTEMY MECHANICZNE W ŁAZIKU PLANETARNYM KALMAN

INNOVATIVE MECHANICAL SYSTEMS IN THE KALMAN PLANETARY ROVER

Łukasz Gliwiński, Kacper Gładys, Jan Brzyk

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Adres do korespondencji: lgliwinski@student.agh.edu.pl

Tematem referatu będzie przedstawienie i przegląd ulepszeń mechanicznych podzespołów łazika planetarnego Kalman – projektu koła naukowego AGH Space Systems. Mianowicie: nowa rama robota, rozwój robotycznego ramienia, ulepszony system jezdny oraz nowy modułowy chwytak.

Urządzenia kosmiczne wyróżniają się przede wszystkim niską awaryjnością, wysoką wytrzymałością i małą masą na tle innych konstrukcji. Są to jedne z najważniejszych aspektów podczas powstawania nowych zespołów kosmicznych, dlatego też położono na nie największy nacisk podczas projektowania nowych systemów łazika „Kalman”.

Pierwszym z nich jest konstrukcja nowej ramy, gdyż poprzednia konstrukcja wykazywała szereg wad. Między innymi była to duża masa konstrukcji, miejsce mocowania manipulatora które ograniczało jego przestrzeń roboczą oraz jej sztywne mocowanie do zawieszenia co powodowało występowanie dużych naprężeń. Podczas projektowania nowej ramy główną uwagę skupiono wokół redukcji masy. Idea ta zakładała zmianę sposobu mocowania ramy do zawieszenia. Pozwoliło to na eliminację mikroodkształceń sprężystych, co przełożyło się na redukcję naprężeń i zastosowanie lżejszych elementów konstrukcyjnych. Modernizacji uległo również miejsce mocowania manipulatora, które względem poprzedniego rozwiązania jest podwyższone o około 17 cm. Całość wprowadzonych zmian przełożyła się na redukcję masy ramy o około 35%, znaczne zwiększenie przestrzeni roboczej manipulatora oraz na zwiększenie modułowości konstrukcji.

Kolejnym systemem jest nowa generacja ramienia robotycznego. Poprzednia generacja manipulatora mimo znaczącej wytrzymałości i bezawaryjności, stanowiła duże ograniczenie dla rozwoju łazika „Kalman”. Zbyt duża masa, niewystarczająco duża przestrzeń robocza, czy brak szóstego stopnia swobody okazały się katalizatorem do wytworzenia i wdrożenia nowego ramienia robotycznego. Całość prac bazowała na opracowanym wcześniej prototypie [1], którego elementy konstrukcyjne wykonane były głównie z PLA (poliaktyd) oraz włókna węglowego, co wiązało się z wytworzeniem nowych komponentów głównie z aluminium. Podczas etapu projektowania wykonano szereg analiz wytrzymałościowych MES w celu optymalizacji masy i wytrzymałości całego manipulatora, co przyczyniło się m. in. do całkowitej rezygnacji z włókna węglowego. Eksploatacja wersji prototypowej pozwoliła na wykrycie problemów konstrukcyjnych oraz stworzenie nowych wymagań projektowych mających na celu ulepszenie jego funkcjonalności. Wszystko to pozwoliło na zbudowanie manipulatora, który względem poprzedniej generacji wykazuje zmniejszenie masy na poziomie 10%, znaczne zwiększenie przestrzeni roboczej oraz uzyskanie szóstego stopnia swobody. Dodatkowo poprzez zastosowanie odpowiednich flansz montażowych oraz umożliwienie szybkiego demontażu rur łączniowych, uzyskano dużą modułowość ramienia, co ułatwia transport oraz przyszłe modernizacje.

W celu zmaksymalizowania korzyści wynikających z konstrukcji nowego ramienia został również stworzony nowy chwytak, który opiera się na prostocie i użyteczności. Składa się on z zaledwie jednego elementu ruchomego – górna szczęką – i jednej osi obrotu z napędem. Podczas czynności uchwytu dolna szczęką pozostaje nieruchoma i przykładowo może spełniać rolę haka bez obciążania wału napędowego. To kinematycznie prymitywne rozwiązanie wykazuje jednak szereg zalet, które zdecydowały o wdrożeniu tej idei: uproszczony proces projektowania, uproszczone modelowanie cyfrowe, wysoka sprawność, wysoka modułowość, łatwa serwisowalność, niska awaryjność. Wprowadzając inżynierskie założenia czynności chwytu uzyskano potrzebny moment jednostki napędowej co najmniej 1,5 Nm. Aby zapewnić taki moment obrotowy wybrano napęd z systemem monitorowania parametrów oferujący 9,2 Nm momentu utyku, co zdecydowanie wystarcza w niniejszej aplikacji. Ostateczny projekt łączy zalety drukowanych 3D w technologii FDM elementów z tworzywa Impact PLA (polilaktyd o zwiększonej udarności mechanicznej i odporności tem-

peraturowej) oraz części aluminiowych wycinanych laserowo. Aby zapewnić wysoką modulowość i serwisowalność dla obu szczęk wprowadzono wymienne końcówki, które, wytworzone z elastycznego TPU (termoplastyczny poliuretan) Fiberflex 40D, zwiększyły rzeczywisty współczynnik tarcia oraz pozwoliły dostosować sam chwytak pod konkretne zadania.

Znacznej modyfikacji uległ również sam system jezdny. Poprzednie rozwiązanie wykazywało brak zdolności do redukcji niewspółosiowości oraz drgań przekazywanych z opony na silnik, co wiązało się z szybszym zużyciem podzespołów. Było to spowodowane sztywnym połączeniem wału silnika z flanszą opony, toteż w nowym rozwiązaniu zostało skonstruowane sprzęgło umożliwiające względne przemieszczanie pomiędzy elementem czynnym i biernym. Z uwagi na to, że ograniczenia masowe oraz geometryczne dyskwalifikują sprzęgła rynkowe, wdrożono własną konstrukcję, która korzysta ze zmodyfikowanych części użytych w poprzedniej aplikacji. Rozwojowi uległy również opony łoża, w których zastosowana została nowa struktura poprawiająca jej właściwości. W poprzedniej wersji używana była struktura typu „plaster miodu”, która wykazywała dobre właściwości, natomiast jej masa była zbyt duża. Przeprowadzono szereg badań oraz doświadczeń, których następstwem było zastosowanie struktury typu „gyroid” oraz zmniejszenie liczby agresywnie zarysowanych bieżników z 14 na 12 sztuk, ze względu na brak problemów z przyczepnością w dotychczasowej eksploatacji. Do jej wytworzenia zastosowano technologię druku 3D metodą FDM oraz termoplastyczny poliuretan (TPU), który niedrogim kosztem pozwala osiągnąć bardzo dobre efekty. Uzyskano większą podatność opon, która pozytywnie wpłynęła na zdolności amortyzacyjne całego zawieszenia oraz pozwoliła na redukcję masy o 0,6 kg na każdej z 4 opon, co całościowo redukuje masę łoża o około 5%.

Przedstawione wyżej systemy mechaniczne wykazały bardzo dobre właściwości, co ma potwierdzenie w wysokich lokatach zajmowanych przez łoża „Kalman” na zawodach, m. in. 4 miejsce na University Rover Challenge 2022 [2] czy 1 miejsce na European Rover Challenge 2022 [3].



Rys. 1. Łażka Kalman podczas zawodów European Rover Challenge 2022

Literatura

- [1] Brzyk J., Olszewski M., *Łażka Kalman – technologiczne zmiany oraz rozwój mobilnego laboratorium*, 58. Konferencja Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH, Kraków 06.05.2021, Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego Kraków 2021, s. 39–45.
- [2] Tha Mars Society, wyniki zawodów University Rover Challenge 2022, <https://urc.marsociety.org/home/about-urc/history/urc2022/urc2022-scores> (dostęp 17.09.2022).
- [3] Wyniki zawodów European Rover Challenge 2022, <https://roverchallenge.eu/erc-2022-znamy-zwyczcow-kosmicznych-rywalizacji/> (dostęp 17.09.2022).

WPLYW LEPISZCZY, PLASTYFIKATORÓW ORAZ MODYFIKATORÓW SZYBKOŚCI SPALANIA W PALIWACH ZAWIERAJĄCYCH CHLORAN(VII) AMONU NA PODSTAWOWE PARAMETRY BALISTYCZNE SILNIKÓW RAKIETOWYCH

STUDY OF BINDERS, PLASTICIZERS AND COMBUSTION RATE MODIFIERS IN FUELS CONTAINING AMMONIUM PERCHLORATE ON THE BASIC BALISTIC PARAMETERS OF ROCKET ENGINES

Marcin Hara¹, Dawid Porwański², Mateusz Szymański³, Leszek Szymańczyk¹

¹ Zakład Materiałów Wybuchowych, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna

² 6. Batalion Dowodzenia, Jednostka Wojskowa 4009

³ 43. Batalion Saperów, Jednostka Wojskowa 1832

Adres do korespondencji: marcin.hara@wat.edu.pl

Najczęściej spotykaną substancją utleniającą wykorzystywaną do produkcji stałych, heterogenicznych paliw raketowych jest chloran(VII) amonu. Jest on wykorzystywany do produkcji paliw, które znalazły zastosowania m.in. jako jednorazowe silniki pomocnicze, do katapultowania foteli w myśliwcach i śmigłowcach czy też w promach kosmicznych. Charakteryzuje się on wysoką temperaturą topnienia, dodatnią wartością ciepła spalania oraz nie posiada przemian krystalograficznych do temperatury 200°C [1]. Ze względu na odpowiednio małą wrażliwość, a także prostotę wykonania takich paliw od kilkadziesiąt lat są one wykorzystywane w technice wojskowej. W trakcie procesu spalania generują one w głównej mierze produkty gazowe co w trakcie pracy silnika raketowego jest bardzo korzystne i pożądane. Dodatkowo charakteryzują się one dużo wydajniejszym spalaniem w porównaniu do dwubazowych paliw raketowych. Dzięki temu osiągają one znacznie wyższe wartości impulsu właściwego [2].

Podstawowymi czynnikami, które decydują o charakterze pracy silnika oraz jego parametrach są lepiszcza, plastyfikatory, modyfikatory szybkości spalania oraz inne dodatki. Na podstawie przeglądu literatury dotyczącej składników heterogenicznych paliw raketowych opartych na chloranie(VII) amonu udało się wytypować lepiszcza, które najczęściej można spotkać w gotowych wyrobach miotających. W głównej mierze należą do nich wszelkiego rodzaju polimery termoplastyczne, żywice, a także gumy oraz kleje. Ze względu na cenę, dostępność czy możliwość syntezy najbardziej perspektywiczne okazały się żywice: epoksydowa, poliestrowa i poliuretanowa. Ponadto wiele prac wskazywało na możliwość zastosowania gum dwuskładnikowych. Z tego powodu postanowiono również sprawdzić to lepiszcze.

W przypadku modyfikatorów najczęściej wymienianymi odczynnikami w literaturze są tlenki metali, ferrocen, kato-cen, sole metali związków wysokoazotowych (takich jak NTO – nitrotriazolon) oraz tzw. perowskitów [3]. W badaniach postanowiono zastosować katalizatory bazujące na tlenkach metali (miedzi(II), ceru(IV), tytanu(IV) i żelaza(III)) oraz ferrocen.

Składy paliw raketowych wytypowane na podstawie literatury poddano szeregowi obliczeń termodynamicznych wykorzystując w tym celu program ICT-Thermodynamic Code. Do wstępnych założeń (m.in. maksymalne ciśnienie w komorze spalania) wykorzystano ogólnodostępne dane i przewidywania innych badaczy. W trakcie obliczeń uzyskano wyniki teoretycznych impulsów właściwych, a także zawartości poszczególnych produktów rozkładu podczas pracy silnika.

Po wykonaniu wstępnej analizy właściwości reologicznych próbek paliw, perspektywiczne kompozycje zbadano przy użyciu różnicowej analizy termicznej sprzężonej z termogravimetrią (DTA/TG) oraz bomby kalorymetrycznej wyznaczając ciepło spalania. Dodatkowo wykorzystano kafar Kasta i aparat tarciovy Petersa celem wyznaczenia wraź-

liwości na bodźce mechaniczne (uderzenie oraz tarcie), a także hamownię silników raketowych do wyznaczenia podstawowych parametrów balistycznych (ciąg i ciśnienie).

Przed badaniami na hamowni należało upewnić się, że w odlanych paliwach nie utworzyły się duże kawerny powietrza, co mogłoby spowodować nagły wzrost ciśnienia podczas spalania w komorze, a w efekcie nawet wybuch. W tym celu prześwietlono wszystkie badane paliwa dzięki wykorzystaniu aparatury do rentgenografii impulsowej Scandiflash.

Wszystkie próbki paliw raketowych podczas badań były inicjowane w sposób zdalny. Dla każdego paliwa przeprowadzono dwa spalania, a wyniki następnie uśredniano. Po badaniach mających na celu ustalenie średnicy krytycznej dyszy okazało się, że najbardziej stabilna praca silnika występowała przy zastosowaniu dyszy o średnicy 5 mm.

Źródło finansowania

Badania wykonano na rzecz projektu „Opracowanie nowych składów paliw raketowych bazujących na chloranie(VII) amonu” finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach programu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje”.

Literatura

- [1] Shimizu T., *Fireworks: The Art, Science and Technique*, Third Edition, Pyrotechnica Publications, USA, Austin (Texas), 1981.
- [2] Krowicki K., Syczewski M., *State paliwa raketowe*, Wydawnictwo MON, 1964, str. 15-21, 32-36, 80-81, 138-150.
- [3] Hu Y. et al., *Thermal decomposition of ammonium perchlorate over perovskite catalysts: Catalytic decomposition behavior, mechanism and application*, “Applied Surface Science” 2020.

KOSMICZNY WIELKI MUR – KRAJE TRÓJMORZA A CHIŃSKI PROGRAM KOSMICZNY

SPACE GREAT WALL – THE THREE SEAS INITIATIVE VS. CHINESE SPACE PROGRAMME

Krzysztof Karwowski^{1,2}

¹Szkoła Doktorska SGH, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

²Zakład Sinologii, Wydział Orientalistyczny, Uniwersytet Warszawski

Adres do korespondencji: *kek1250011@doktorant.sgh.waw.pl*

Chiński program kosmiczny to nie tylko dowód na rozwijające się możliwości technologiczne Państwa Środka, ale także narzędzie budowania prestiżu państwa i platforma rozwoju globalnych systemów zbierania i przetwarzania danych o różnorodnych zastosowaniu (naukowych, gospodarczych, wojskowych...) [1]. Chiny intensywnie komercjalizują technologie i rozwiązania kosmiczne, oferują międzynarodową współpracę na poziomie rządowym i korporacyjnym, finansują projekty międzypaństwowe. Pomimo tej hojności, należy zwracać uwagę na oczywiste zainteresowanie programem struktur wojskowych: powołanie wydzielonego rodzaju wojska – Sił Wsparcia Strategicznego Armii Ludowo-Wyzwoleńczej (ang. People's Liberation Army Strategic Support Force – PLASSF) [2] oraz zastosowania technologii i danych kosmicznych przez lotnictwo i wywiad. Działalność Chin w kosmosie oraz dynamika wyścigu technologicznego w Azji i na Pacyfiku każą przyglądać się uważnie temu rejonowi świata jak i branży – nie pozostanie ona bez wpływu na świat, w tym Polskę.

Pierwszym kamieniem milowym ChRL w rozwoju kosmicznym jest wystrzelenie satelity Dongfanghong-1 w 1970 roku. Zastosowana do wyniesienia przebudowana rakiet balistyczna stała się pierwowzorem rodziny Długi Marsz (chiń. Chang Zheng) [3]. Późniejsze sukcesy reform i otwarcia lat. 80. i 90. zapewniły środowisko gospodarcze oraz możliwości intelektualne do kolejnych projektów [4]:

- lotu człowieka w kosmos w 2007 roku na pokładzie statku Boski Pojazd (chiń. Shenzhou),
- programu eksploracji planetarnej Tianwen i udanego przelotu lądownika marsjańskiego z łazikiem Zhurong na pokładzie,
- budowy systemu nawigacji orbitalnej Wielka Niedźwiedzica (chiń. Beidou) stanowiącego konkurencję dla zachodnich konstelacji satelitarnych z GPS na czele,
- cyklu misji księżycowych Chang'e prowadzonych zarówno przez próbniki orbitalne, lądowniki i łaziki. Godna wspomnienia jest tu misja Chang'e 4 – pierwsze w historii umieszczenie lądownika na niewidocznej stronie Księżyca i prowadzenie z nim efektywnej komunikacji.

Rosnące ambicje naukowców chińskich objawiają się w coraz śmielszych pomysłach i planach rozwoju w przyszłości. Pośród nich wymienić należy:

- dokończenie budowy stacji orbitalnej Niebiański Pałac (chiń. Tiangong) zapewniającej przestrzeń i warunki bytowe pod stałą obecność Chin w kosmosie,
- kontynuację programu Tianwen, w ramach którego projektowane są misje Gan De – na Jowisza i Urana, pomiary burz słonecznych przez chińsko-europejską misję SMILE czy lot chińskiego próbnika poza granice Układu Słonecznego śladami sond Voyager i Pioneer,
- plany budowy stałej bazy księżycowej.

Szereg rozwijanych w toku powyższych projektów rozwiązań klasyfikuje się jako technologie podwójnego, cywilno-wojskowego przeznaczenia. Należą do nich w szczególności napędy raketowe, bezpieczna łączność oraz obrazowanie satelitarne o wysokiej rozdzielczości.

Powołana w 2015 roku Inicjatywa Trójmorza ma ambicje i potencjał, aby pogłębiać współpracę w dziedzinie gospodarki, bezpieczeństwa oraz pokojowego zastosowania nowych technologii przez państwa Europy Środkowej. Wiele z nich cieszy się zainteresowaniem Chin w tych dziedzinach – stanowią bowiem istotny rynek zbytu, miejsce pozyskiwania współpracy naukowo-badawczej oraz istotną drogę transportową do Europy Zachodniej. Przykładem jest format współpracy 16+1 między Chinami, a regionem [5]. Mogą być np. wspólne starty misji satelitarnych, prace nad aparaturą naukową umieszczoną na chińskich statkach kosmicznych czy obróbka danych naukowych i publikacje instytucji chińskich z ekspertami z Zachodu. Flagowym z polskiej perspektywy przykładem jest kooperacja POLAR – projekt obserwacji promieniowania gamma realizowany przez partnerów z Polski, Austrii, Niemiec, Szwajcarii i Chin. Pierwszy detektor z sukcesem służył na pokładzie chińskiego laboratorium Tiangong-2, nowe urządzenie poleci na właściwą stację kosmiczną Tiangong w 2024 [6].

Trwający w czasie niniejszej konferencji XX Zjazd Chińskiej Partii Komunistycznej w Pekinie jesienią 2022 może być nie tylko okazją do docenienia osiągnięć kosmicznych Chin na forum krajowym, ale również wytyczeniem nowych kierunków i obszarów działań w tej materii przez najwyższe kierownictwo państwa. Strategiczne ambicje Trójmorza oraz poszczególnych jego krajów stwarzają szanse do skorzystania na chińskich wynalazkach.

Literatura

- [1] Łuczak M., *Chińskie programy kosmiczne*, „Lotnictwo” 2016, Nr 7–8, wyd. Magnum X, Warszawa.
- [2] Mulvarney B. et al., *PLA Aerospace Power: A Primer on Trends in China’s Military Air, Space, and Missile Forces – PLA Strategic Support Force*, Wyd. China Aerospace Studies Institute – Air University, Montgomery 2017.
- [3] Harvey B., *China’s Space Programme: From Conception to Manned Space Flight*, Praxis Publishing, Chichester 2013.
- [4] *China’s Space Program: A 2021 Perspective*, The State Council Information Office of the People’s Republic of China (2021), Preamble, <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6813088/content.html> (dostęp: 10.10.2022).
- [5] Kurecic P., *The Three Seas Initiative: geographical determinants, geopolitical foundations, and prospective challenges*, „Hrvatski geografski glasnik” 2018, Nr 80.1, s. 99–124.
- [6] Hulsman J., *POLAR-2: a large scale gamma-ray polarimeter for GRBs*, “Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray”, Vol. 11444, doi: 10.1117/12.2559374

REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE KOSMICZNYCH ŚMIECI – BŁOGOSŁAWIENSTWO CZY PRZEKLEŃSTWO?

SPACE DEBRIS REGULATIONS – BLESSING OR A CURSE?

Milena Kruszewska

Katedra Prawa Unii Europejskiej i Komparatystyki Prawniczej, Wydział Prawa i Administracji, Uniwersytet Gdański

Adres do korespondencji: milenakruszewska12@gmail.com

Na wstępie – chciałabym państwa poprosić, abyście wyobrazili sobie zwyczajne postępowanie w przypadku zatrucia środowiska naturalnego np. w Polsce. Na pewno nasuwa się państwu na myśl skandal, działania policji, raporty o stanie środowiska oraz śledztwo i pociągnięcie do odpowiedzialności osób na stanowiskach kierowniczych.

A teraz wyobraźmy sobie drugą sytuację. Załóżmy, że pracujecie państwo dla ogromnego międzynarodowego instytutu naukowego. Wkładacie państwo wszystkie swoje oszczędności i całą swoją energię, aby stworzyć nową satelitę, który zmieniłby sposób, w jaki odkrywamy kosmos dzisiaj [1]. Udaje się to państwu – ale krótko po tym, jak wynalazek dociera do stratosfery, zostaje mocno uszkodzony i dołącza do ogromnego zbioru części rakiet kosmicznych i płam oleju, które zostały zniszczone podczas testów lata temu [2].

Postępowanie w 1 przypadku jest wyjściem oczywistym, jednak w drugim mamy pewne wątpliwości, ponieważ nie mamy przepisów, które obecnie walczyłyby z zanieczyszczeniem na oraz poza orbitą ziemską.

Obecnie podstawą do zadośćuczynienia i radzenia sobie z kosmicznymi śmieciami jest traktat kosmiczny podpisany w 1967 roku. Jego artykuły VII i IX, określają podstawowe zasady dotyczące wystrzelenia obiektu w przestrzeń kosmiczną. I tutaj trzeba zaznaczyć – przedmioty, a niekoniecznie odpadki. Jak możemy przeczytać dalej, artykuły dotyczą również odpowiedzialności za szkody wyrządzone innemu Państwu Będącemu Stroną Traktatu lub jego osobom fizycznym lub prawnym przez taki obiekt lub jego części składowe na Ziemi, w przestrzeni powietrznej lub w przestrzeni kosmicznej, w tym na Księżycu i innych ciałach niebieskich. Artykuł IX stanowi za to, że prowadząc badania przestrzeni kosmicznej, w tym Księżyca i innych ciał niebieskich, oraz prowadząc ich eksplorację, strony powinny unikać ich szkodliwego skażenia i niekorzystnych zmian w środowisku Ziemi wynikających z wprowadzenia materii pozaziemskiej oraz w miarę potrzeby, przyjmują w tym celu odpowiednie środki [3]. Problem z tym traktatem polega więc na tym, że nie obejmuje ono ewentualnych szkód wyrządzonych kosmosowi i jego środowisku, ale rozstrzyga kwestię odpowiedzialności, jeśli jeden z eksperymentów się nie powiódł, a niektóre rakiety lub satelity zniszczyły inne urządzenia zainstalowane przez inne kraje. Możemy więc stwierdzić, że usuwa on ewentualne napięcia polityczne i dyplomatyczne, ale niekoniecznie pomaga, jeśli chodzi o walkę o czyste środowisko [4]. Ta podstawa prawna była wystarczająca na czasy, w których powstała jednak nie jest ona wystarczająca, aby zaradzić nowoczesnym problemom. Nie reguluje sektora prywatnego i jego inwestycji (takich jak np. program SpaceX) i nie dotyczy procesu ewentualnego „sprzątania” przestrzeni kosmicznej i utylizacji stworzonych w jej obrębie odpadów.

Obecnie nie ma przepisów bezwzględnie wiążących, które dotyczyłyby odpowiedzialności za spowodowanie szkód przez śmieci wyrzucone w kosmos. Nie ma również złożonych przepisów międzynarodowych dotyczących ochrony środowiska kosmicznego oraz jego elementów składowych. Nie mamy zobowiązania krajów podbijających kosmos do tworzenia raportów o wpływie na środowisko naturalne kosmosu oraz nie ma prawie żadnych narzędzi prawnych do dochodzenia odszkodowania lub nakładania kar za szkody spowodowane przez śmieci kosmiczne, z wyjątkiem artykułów VII i IX zawartych w Traktacie o przestrzeni kosmicznej z 1967 r., które wielu uczonych i prawników uważa za nieskuteczne i przestarzałe [5]. Nie ma też narzędzi prawnych, które nakładałyby obowiązek na przedsiębiorców sektora prywatnego prowadzących działalność w przestrzeni kosmicznej, utylizacji odpadów kosmicznych oraz minimalizacji zanieczyszczeń powstających w stratosferze [6]. Nie ma instytucji ani organizacji, która zajmowałaby się gwałtownym nagromadzeniem kosmicznych śmieci i ich usuwaniem. Dlatego w tym miejscu, chciałabym zadać pytanie: czy Traktat o Przestrzeni Kosmicznej z 1967 roku jest wystarczający, aby zachować bezpieczeń-

stwo naszego kosmicznego środowiska, a jeśli nie, to czy powinniśmy podjąć kroki prawne w celu stworzenia nowej, międzynarodowej, prawnej podstawy do rozważenia takiego zagrożenia?

Ale po pierwsze, zastanówmy się, czym dokładnie są kosmiczne „śmieci”?

Jednym z obecnych problemów, z ustanowieniem skutecznego kosmicznego prawa antyśmieciowego, jest fakt, że nie ma dosłownej i bezwzględnie wiążącej definicji „śmieci kosmicznych” [7]. Mamy tylko jedną niewiążącą [8] definicję zaproponowaną w projekcie Międzyagencyjnego Komitetu Koordynacyjnego ds. Śmieci Organizacji Narodów Zjednoczonych (IADC), która proponuje następującą definicję: „Wszystkie śmieci kosmiczne są pozbawionymi zastosowania obiektami stworzonymi przez człowieka, w tym ich fragmentami i elementami, które znajdują się na orbicie ziemskiej lub krążą wokół niej” [9]. Ale co jest najważniejsze w tej definicji? Jako kosmiczne śmieci możemy rozpoznać elementy rakiet kosmicznych, które zgubiły się po drodze, satelity, które zostały zniszczone podczas startu, resztki wyrzucanych pocisków testowych czy np. części oddzielone podczas remontu stacji kosmicznych oraz inne odpady związane z ich działalnością [10].

Chociaż jest to dokument niewiążący, który nie może być stosowany jako podstawa prawna jakichkolwiek roszczeń, definicja ta jest kluczem, jeśli chodzi o identyfikację sedna problemu i jest często używana, jeśli chodzi o pomysły tworzenia przepisów międzynarodowych dotyczących utylizacji śmieci kosmicznych. Dobrze, więc jeśli ustaliliśmy sobie czym dokładnie są śmieci kosmiczne, co dokładnie stoi na przeszkodzie stworzeniu nowej, międzynarodowej podstawy prawnej [11]?

Jeśli chodzi o tworzenie nowych, złożonych postępowań prawnych, w tym systemu odnoszenia się do praw i obowiązków eksploracji kosmosu, odpowiedzialności za produkcję odpadów i instrumentów ochrony środowiska, uczeni wskazują na pięć podstawowych problemów.

I w tym przypadku pozwolę sobie przytoczyć cytat z pracy Chelsea Muñoz–Patchen [12]: „*Najczęściej przytaczanymi kwestiami są brak wiążącej definicji śmieci kosmicznych, przeszkody w oczyszczeniu środowiska kosmicznego spowodowane obecnym systemem własności i odpowiedzialności odszkodowawczej oraz niewiążący charakter obecnych wytycznych dotyczących ograniczenia emisji śmieci*”.

Tak więc, jak możemy zauważyć, nawet jeśli mamy istniejące już wytyczne, nie wystarczą one, aby wymusić cokolwiek na kimkolwiek [13]. Nasuwa nam się też kolejne pytanie. Czy ta odpowiedzialność powinna spoczywać na każdym kraju, czy tylko na tych, którzy przyczyniają się do kolonizacji kosmosu? Jak pokazują badania, śmieci kosmiczne są w większości tworzone przez trzy wiodące kraje: Chiny, Rosję i Stany Zjednoczone Ameryki [14]. Czy w takim razie możemy niewątpliwie zapewnić, że stworzenie obowiązku, który obciążałby większość stron przechwytywaniem i niszczeniem kosmicznych śmieci, byłoby uzasadnione i sprawiedliwe? Czy też obowiązek zapewnienia bezpieczeństwa i czystości środowiska kosmicznego powinien spoczywać wyłącznie na podmiotach takiej działalności? Są to pytania, na które z pewnością trzeba odpowiedzieć i rozważyć w procesie tworzenia nowego prawa.

Chciałabym państwu również zaproponować rozwiązania z już istniejącego prawa morskiego i prawa ochrony środowiska, które mogłyby być zastosowane w tworzeniu regulacji prawnych dotyczących ochrony środowiska kosmicznego.

Po pierwsze, moglibyśmy wziąć pod uwagę zasadę ostrożności i prewencji wymagającą od podmiotu unikania ewentualnych niekorzystnych skutków dla środowiska jeszcze przed ich wystąpieniem. Zasada ta zawarta w art. 6 ustawy o ochronie środowiska (ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska) zobowiązuje uczestników do poddania się ocenie niezależnych organów oraz stworzenie dokumentu przedstawiającego wpływ na środowisko planowanych projektów [15]. Ponadto, zgodnie z tą zasadą, możliwe byłoby ograniczenie lub zakazanie określonej działalności, gdy jej negatywny wpływ na środowisko i ludzi (może lub) nie może być zidentyfikowany.

Tutaj pozwolę sobie przytoczyć jedno zdanie z wyroku Naczelnego Sądu Administracyjnego sprzed 2 lat: „*Treść zasady ostrożności definiują dwa pojęcia: ryzyko i niepewność, które wiążą się ze znaczącymi skutkami dla środowiska, które nie są jeszcze w pełni zrozumiałe. Przy wyborze projektów, których realizacja opiera się na parametrach niepewnych co do ich wystąpienia*” (wyrok Naczelnego Sądu Administracyjnego z dnia 23 stycznia 2020 r., II OSK 559/18, LEX nr 2785418).

Myszę, że właśnie to zdanie idealnie odwzorowuje, jak powinniśmy podchodzić do środowiska kosmicznego a mianowicie ostrożnie i z rozważą, ponieważ nie jesteśmy w 100% stwierdzić jak nasze działania mogą wpłynąć na środowisko kosmiczne.

Kolejnym rozwiązaniem prawa morskiego, którym moglibyśmy inspirować się przy tworzeniu regulacji jest także Międzynarodowa Konwencja o Ratownictwie, o którym wspominał niedawno pan występujący przede mną (Londyn 28 kwietnia 1989 r.) [16]. W tym przypadku art. 14 traktatu nagradza ratowanie tonącego lub uszkodzonego statku, który może spowodować znaczne szkody w środowisku przez inne statki. Statek, który wspomógł przy akcji ratunkowej, może być później uprawniony do premii lub nagrody za specjalne osiągnięcia środowiskowe. Obejmuje to na

przykład pokrycie kosztów paliwa lub rekompensatę za środki ratownicze. Taka instytucja w przypadku regulacji kosmicznych mogłaby zachęcić prywatnych inwestorów do zmniejszenia problemu śmieci kosmicznych w zamian za gratyfikację i zachęciłaby do opracowania nowszych i bardziej opłacalnych wynalazków do wychwytywania i usuwania takich śmieci [17].

Ostatnim rozwiązaniem, na które, krótko chciałabym zwrócić państwa uwagę jest konwencja narodów zjednoczonych o prawie morza. Wzoruąc się na rozwiązaniach w niej zawartych, moglibyśmy wytyczyć specjalne strefy kosmiczne wyłączone spod eksploatacji, zobowiązać podmioty eksplorujące kosmos do szczególnej ostrożności oraz nałożyć na podmioty limity działań podejmowanych w kosmosie.

Podsumowując – jak widać, istnieje ogromna potrzeba stworzenia nowych, złożonych i niewątpliwych podstaw prawnych dotyczących zjawiska śmieci kosmicznych. Nasz trudny proces kolonizacji kosmosu dopiero się zaczyna więc potrzebujemy ram prawnych dla problemów, które pojawiają się w przestrzeni kosmicznej. Aby to osiągnąć, musimy ustanowić jasną definicję śmieci kosmicznych, stworzyć ramy administracyjne dla licencjonowania i inspekcji obiektów kosmicznych oraz wdrożyć zasadę zapobiegania i ostrożności w środowisku, ponieważ nasz wpływ na kosmos nie jest wystarczająco zbadany.

Literatura

- [1] Muñoz–Patchen C., *Regulating the Space Commons: Treating Space Debris as Abandoned Property in Violation of the Outer Space Treaty*, “Chicago Journal of International Law” 2018, Vol. 19, No. 1.
- [2] Space Debris and Human Spacecraft, NASA.
- [3] Outer Space Treaty of 1967 (nasa.gov).
- [4] Szpak A., *Pravo kosmiczne w pigułce*, „EP” 2011, Nr 1, str. 18.
- [5] Space debris: The legal issues (aerosociety.com).
- [6] *The International Legal Regulation of Space Debris*, Cornell Undergraduate Law & Society Review (culsr.org).
- [7] Muñoz–Patchen C., *Regulating the Space Commons: Treating Space Debris as Abandoned Property in Violation of the Outer Space Treaty*, “Chicago Journal of International Law” 2018, Vol. 19, No. 1.
- [8] Ibid, p. 243.
- [9] IADC Space Debris Mitigation Guidelines (nasa.gov).
- [10] Space Debris (unoosa.org).
- [11] Muñoz–Patchen C., *Regulating the Space Commons: Treating Space Debris as Abandoned Property in Violation of the Outer Space Treaty*, “Chicago Journal of International Law” 2018, Vol. 19, No. 1.
- [12] *Regulating the Space Commons: Treating Space Debris as Abandoned Property in Violation of the Outer Space Treaty* (uchicago.edu).
- [13] Pema, FAQ: Frequently asked questions / Space Debris / Operations / Our Activities / ESA
- [14] Dunstan J.E., *Space Trash: Lessons Learned (and Ignored) from Space Law and Government*, “J. Space L.” 2013, 39, 23.
- [15] Gruszecki K., *Pravo ochrony środowiska. Komentarz*, wyd. VI, Warszawa 2022, art. 6.
- [16] Zużewicz–Wiewiórowska I., *Kodeks morski. Komentarz*, red. Łuczywek C., Pyć D., Warszawa 2022, art. 241.
- [17] Anzaldúa A., Hanlon M., *The Space Review: Maritime tradition can inform policy and law for commercial active debris removal*, February 19, 2018.

PORÓWNANIE METOD LM I UKF W OBLICZANIU ORIENTACJI PW-SAT3 NA PODSTAWIE DANYCH TEMPERATURY POWIERZCHNI SATELITY

COMPARISON OF LM AND UKF METHODS IN CALCULATING PW-SAT3 ORIENTATION FROM SATELLITE SURFACE TEMPERATURE DATA

Paulina Kucharczyk, Kamil Koszarski

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska

Adres do korespondencji: paulina.kucharczyk.stud@pw.edu.pl

Niniejsza praca obejmuje przedstawienie celu oraz metod określenia orientacji studenckiego satelity PW-Sat3 projektowanego przez członków Studenckiego Koła Astronautycznego na Politechnice Warszawskiej wyłącznie na podstawie danych temperatury powierzchni satelity, a także wyznaczenie dokładności wyników otrzymanych poprzez wykorzystanie dwóch wybranych metod obliczeniowych – Levenberg–Marquardta (LM) [2] i Unscented Kalman Filter (UKF) [3] oraz zbadanie wpływu wybranego algorytmu, parametrów otoczenia i ograniczeń technicznych na otrzymany błąd. Biorąc pod uwagę znikomą ilość badań w tym zakresie, celem analizy jest zbadanie możliwości oraz skuteczności wykorzystania takiego sposobu szacowania orientacji podczas misji satelity. Pozwoliłoby to na zmniejszenie masy i poboru mocy, jednocześnie zwiększając redundancję pomiarową i niezawodność wskutek ograniczenia liczby lub rodzaju czujników w porównaniu do obecnie stosowanych układów kontroli orientacji takich jak magnetometr w połączeniu z układem termometrów [4] lub panelami fotowoltaicznymi [5]. Innym kluczowym aspektem tego podejścia jest perspektywa jego rozwoju w określaniu nie tylko orientacji ale również orbity [6], oznacza to więc niezależność od infrastruktury ziemskiej, w przeciwieństwie do np. Satellite Laser Ranging (SLR).

Zmienne w czasie temperatury powierzchni satelity uzyskano na podstawie analizy termicznej uproszczonego modelu PW-Sat3, będącego satelitą klasy CubeSat o rozmiarze 3U, wykonanej w programie ESATAN-TMS. Na potrzeby analizy dokonano następujących założeń w modelu termicznym: ścianki satelity są reprezentowane przez prostokąty o jednolitych właściwościach termicznych oraz termiczno–optycznych, w satelicie brak wewnętrznych źródeł ciepła, a jedyne uwzględniane strumienie ciepła wynikają z bezpośredniego promieniowania od Słońca (\dot{Q}_s), promieniowania podczerwonego od Ziemi (\dot{Q}_e) oraz albedo Ziemi (\dot{Q}_a). Uzyskane w ten sposób dane mają stanowić substytut dla rzeczywistych pomiarów temperatury wykonywanych w trakcie misji [1]. W celu zwiększenia dokładności i zapewnienia jednoznaczności rozwiązania [2] wykorzystywane metody zakładają zbieranie danych temperatury przy użyciu czterech czujników strumienia ciepła, zamodelowanych w taki sposób aby ich bezwładność termiczna oraz gradient temperatury na powierzchni były zminimalizowane [1], co jest osiągnięte poprzez zaprojektowanie czujników o małej grubości oraz powierzchni.

W obliczeniach orientacji satelity założono, że znane jest jej położenie dla danej chwili w układzie ECI [3], a w jej określeniu posłużono się kątami Eulera. Pierwszym krokiem jest wyznaczenie sumarycznego strumienia ciepła dostarczanego do satelity na podstawie danych temperatury [1], oznaczonego jako \dot{Q} . W tym celu posłużono się równaniem (1), który opisuje wspomniany strumień ciepła jako funkcję temperatury otrzymanej w symulacji T_{exp} , temperatury przy strumieniu równym zero $T_{Q=0}$ i współczynnika opisującego szybkość zmian temperatury w zależności od zmieniającego się strumienia $\Phi = \frac{dT}{d\dot{Q}}$. Temperaturę dla $\dot{Q} = 0$ i wartość współczynnika Φ wyznaczono ze wzoru na bilans energii w stanie nieustalonym (2).

$$\dot{Q} = \frac{T_{exp} - T_{Q=0}}{\Phi} \quad (1)$$

$$m_i c_{pi} \frac{dT_i}{dt} = - \sum_{j=1}^n C_{ij} (T_i - T_j) - \sum_{j=1}^n \sigma R_{ij} (T_i^4 - T_j^4) + \dot{Q} + \dot{Q}_{diss} - \sigma \varepsilon_i A_i T_i^4 \quad (2)$$

Następnie, przy pomocy obliczonej wartości strumienia \dot{Q} , określono wektory normalne ścianek przez wykorzystanie zależności między kątem padania promieniowania na powierzchnię, a wielkością wynikającego z niego strumienia ciepła [2].

$$\dot{Q} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_a + \dot{Q}_e \quad (3)$$

$$\dot{Q}_s = S \alpha_s A_s \quad (4)$$

$$\dot{Q}_e = G \alpha A [F_h p + F_v \sqrt{1 - p^2}] \quad (5)$$

$$\dot{Q}_a = S \alpha A \cos \beta \cos \theta f_a [F_h p + F_v \sqrt{1 - p^2}] \quad (6)$$

gdzie: $p = \vec{n} \cdot \vec{r}_{\text{sat-Ziemia}}$, $s = \vec{n} \cdot \vec{r}_{\text{sat-Słońce}}$, S , G – strumień ciepła emitowany odpowiednio przez Słońce i Ziemię, A – pole elementu, F_h , F_v – współczynniki widoczności odpowiednio równoległej i prostopadłej, f_a – współczynnik albedo, α , α_s – absorpcyjność odpowiednio w zakresie podczerwonym oraz widzialnym, β – kąt między wektorem $\vec{r}_{\text{sat-Słońce}}$, a płaszczyzną orbity, θ – anomalia prawdziwa.

W wyniku podstawienia otrzymano nieliniowe równanie opisujące zagadnienie, które następnie jest rozwiązane jedną ze wspomnianych wcześniej metod – LM lub UKF. Tym samym w sposób jednoznaczny determinuje zestaw kątów określających poszukiwaną orientację.

Finalnie rozwiązania uzyskane na podstawie obu algorytmów porównano pod kątem skuteczności każdej z metod oraz zalet i wad ich zastosowania w analizowanym zagadnieniu określania orientacji satelity. W celu porównania wybrano LM oraz UKF z uwagi na ich szeroką popularność oraz łatwą implementację. Metoda LM mimo niskiego kosztu obliczeniowego nie jest preferowana ze względu na duży błąd wynikający z braku kompensacji szumu pomiarowego, w przeciwieństwie do UKF, czego skutkiem jest jej mała użyteczność w warunkach misji. Analiza otrzymanych wyników polega na sprawdzeniu wpływu położenia satelity w zacienionej części orbity na wyniki obu algorytmów oraz zaproponowaniu rozwiązania spodziewanego problemu spadku dokładności w warunkach małej zmienności strumienia ciepła i rzeczywistych ograniczeń rozdzielczości termometrów [2].

Literatura

- [1] Khaniki H.B, Hossein S.M., *Karimian Determining the Heat Flux Absorbed by Satellite Surfaces with Temperature Data*, „Journal of Mechanical Science and Technology” 2014, Vol. 28, No. 6.
- [2] Khaniki H.B, and Hossein S.M., *Karimian Satellite Attitude Determination Using Absorbed Heat Fluxes*, „Journal of Aerospace Engineering” 2016, Vol. 29, No. 6.
- [3] Labibian A. et al., *Performance of a Novel Heat Based Model for Spacecraft Attitude Estimation*, „Aerospace Science and Technology” 2017, Vol. 70.
- [4] DiMiceli J.D., *Attitude determination of a student satellite using on-orbit magnetometer and temperature data*, California Polytechnic State University, 1 June 2009.
- [5] Santoni F., Bolotti F., *Attitude determination of small spinning spacecraft using three axis magnetometer and solar panels data*, 2000 IEEE Aerospace Conference. Proceedings.
- [6] Nasihati Gourabi F. et al., *Autonomous Temperature-Based Orbit Estimation*, „Aerospace Science and Technology” 2019, Vol. 86.

ARCHITEKTURA SIECI IOT DO TESTÓW RAKIET SONDUJĄCYCH I SILNIKÓW RAKIETOWYCH

IOT NETWORK ARCHITECTURE FOR SOUNDING ROCKET'S AND ROCKET ENGINE TESTS

Damian Legutko

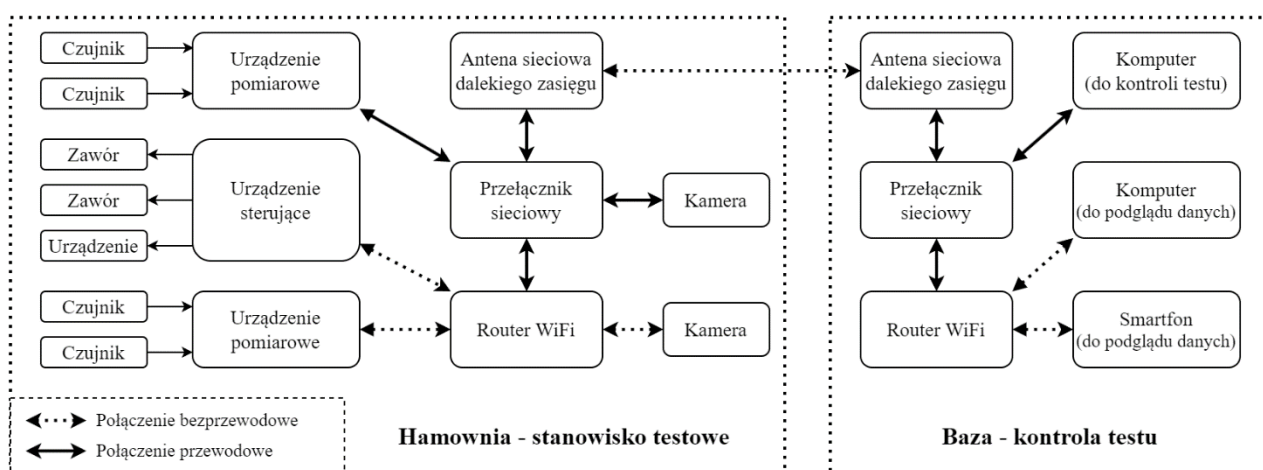
Studenckie Koło Astronautyczne, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska

Adres do korespondencji: 01161878@pw.edu.pl

Zyskująca popularność w przemyśle i urządzeniach gospodarstwa domowego technologia Internet of Things (IoT) jak się okazuje bardzo dobrze spełnia również wymagania systemu kontroli naziemnej dla testów rakiety sondujących i silników raketowych. Wykorzystanie takiej architektury pozwala zapewnić m.in. bezpieczną odległość personelu od stanowiska, niezawodność systemów akwizycji danych, odporność na warunki atmosferyczne i możliwość kontroli przez wiele osób z kilku urządzeń jednocześnie. Celem poniższej pracy jest prezentacja metod i zalet wykorzystania sieci IoT w ramach kampanii testowej rakiety Twardowsky, konstruowanej przez Sekcję Raketową Studenckiego Koła Astronautycznego Politechniki Warszawskiej.

Zastosowanie bezprzewodowych połączeń sieciowych drastycznie zmniejsza ilość przewodów na stanowisku testowym, czyniąc je łatwiejszym do montażu, modyfikacji i bardziej odpornym na zniszczenia fizyczne. Efekt jest znacząco widoczny dla skomplikowanej aparatury składającej się np. z wielu czujników. Ponieważ urządzenia są bezprzewodowe daje to możliwość ich montażu na obiekcie testowym, w efekcie redukując dystans pomiędzy czujnikiem a przetwornikiem, co w większości przypadków poprawia jakość odczytów.

Przykładowy system niezbędny do przeprowadzenia testu silnika raketowego został przedstawiony poniżej.

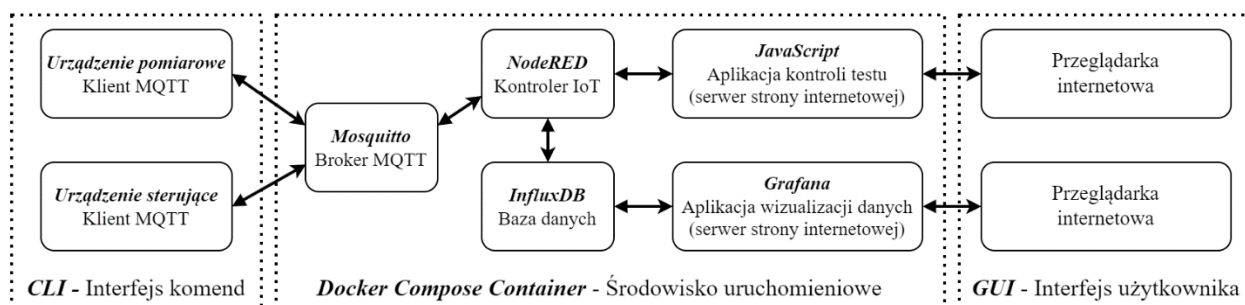


Rys. 1. Architektura sprzętowa sieci

Rekomendowana przeze mnie struktura oprogramowania sieciowego podzielona jest na trzy grupy:

- urządzenia interfejsu komend (ang. CLI) – proste urządzenia pomiarowe i sterujące (Raspberry Pi, ESP32, Arduino). Umożliwiają konfigurację, zapis i pobór danych w czasie rzeczywistym poprzez interfejs sieciowy MQTT bądź lokalny port szeregowy,

- środowisko uruchomieniowe narzędzi do obsługi sieci IoT – aplikacje uruchomione na jednym bądź wielu komputerach wewnątrz sieci (np. jako kontener Docker):
 - broker MQTT – Mosquitto – zarządza przepływem pakietów danych pomiędzy klientami,
 - kontroler IoT – NodeRED – umożliwia komunikację aplikacji sieciowych z brokerem i urządzeniami,
 - baza danych – InfluxDB – magazynuje pomiary wraz z informacją czasową o momencie ich akwizycji,
 - aplikacja wizualizacji danych – Grafana – udostępnia stronę internetową z wykresami pomiarów zawartych w bazie danych,
 - inne aplikacje sieciowe – służą do konfiguracji i sterowania urządzeniami np.: panel z przyciskami, strona kalibracji czujników,
- przeglądarkowy interfejs użytkownika (ang. GUI) – interaktywne strony internetowe za pomocą których personel kontroluje i monitoruje przebieg testu. Strony pobierają dane z jednego źródła, przez co zagwarantowanym jest, że informacje wyświetlane na każdym komputerze będą identyczne i spójne. Mogą być obsługiwane przez osoby z minimalnym przeszkoleniem.



Rys. 2. Architektura oprogramowania sieciowego

Wykorzystanie gotowych narzędzi sieciowych i tanich systemów wbudowanych umożliwiło stworzenie całego systemu w bardzo krótkim czasie i niskim kosztem. Interfejs graficzny dla testu silnika rakiety Twardowsky przedstawiony jest na rys. 3. poniżej.



Rys. 3. Przeglądarkowy interfejs użytkownika – wykresy pomiarów (Grafana) i kontrola zaworów (JavaScript)

Struktura projektu pozwala na jego bardzo łatwe rozszerzanie, zarówno od strony aparatury testowej jak i aplikacji sieciowych, przykładowo:

- rozszerzenie sieci poza sieć lokalną – łatwe do implementacji rozwiązanie umożliwi interakcję z aparaturą testową z dowolnego miejsca na świecie z dostępem do Internetu,
- obsługa aplikacji sieciowych za pomocą fizycznych paneli kontrolnych,
- integracja z systemami radiowymi podczas startów rakiety sondującej.

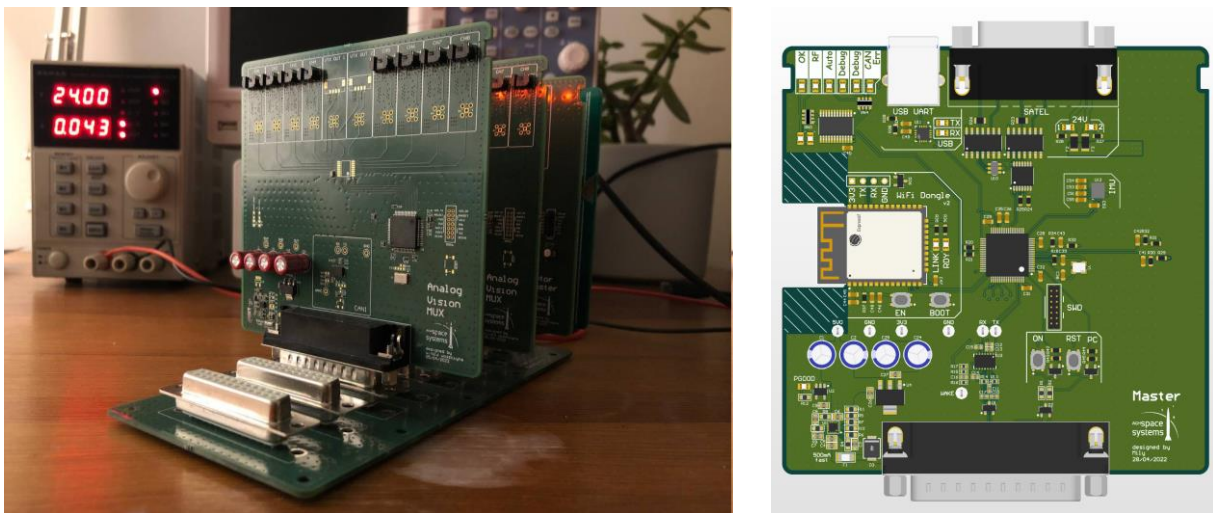
ŁAZIK KALMAN - ELEKTRONIKA ORAZ SCIENCE

KALMAN ROVER - ELECTRONICS AND SCIENCE

Miłosz Łagan¹, Mateusz Olszewski²¹Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie²Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w KrakowieAdresy do korespondencji: miłoszlagan@student.agh.edu.pl, mateusz.olszewski.iiii@gmail.com

Łazik planetarny Kalman jest robotem rozwijanym przez koło naukowe AGH Space Systems od 2017 roku. Rozwój konstrukcji ma charakter inkrementalny, cały czas dodawane i ulepszone zostają poszczególne moduły łazika. Rozwiązania są testowane podczas międzynarodowych konkursów z serii Rover Challenge, na których robot osiąga wysokie wyniki (przykładowo I miejsce na zawodach European Rover Challenge 2022, IV miejsce na University Rover Challenge 2022). Tematem referatu będzie przedstawienie i przegląd obecnego rozwoju projektu łazika planetarnego Kalman w ramach sekcji Elektroniki oraz Science, czyli zaplecza naukowego.

Część referatu poświęcona elektronice zawiera ogólne omówienie podsystemów elektronicznych zawartych w łaziku planetarnym. Z uwagi na ograniczenia wagi oraz dostępnego miejsca i wymagania dotyczące funkcjonalności, prawie wszystkie moduły zostały wykonane przez członków koła. Przedstawione zostaną zmiany w konfiguracji robota, które zostały wprowadzone na przestrzeni roku, w tym ramię robotyczne o sześciu stopniach swobody ze sterowaniem rozproszonym oraz ujednolicony standard płytek drukowanych “miniRack” zwiększających modularność konstrukcji (rys. 1).



Rys. 1. Moduły - płytki drukowane w standardzie “miniRack”

Standard został zaprojektowany z myślą o usprawnieniu i optymalizacji pracy zarówno łazika, jak i osób tworzących same układy podczas zawodów z serii Rover Challenge. Zostaną rozważone jego zalety i wady oraz oceniony wpływ na wykonywanie zadań. Także przedmiotem referatu będą różne standardy komunikacji międzyukładowej, niezbędne do zapewnienia niezawodnego sterowania o niskim opóźnieniu.

Druga część referatu obejmuje działalność sekcji Science, pełniącej funkcję zaplecza naukowego projektu. Omówiona zostanie metodyka analizy próbek gleby w celu detekcji oraz rozróżniania śladów wymarłego i nadal istniejącego życia, czyli zastosowane testy chemiczne. Są one przeprowadzane za pomocą mobilnego laboratorium (rys. 2), którego sposób działania zostanie przedstawiony. Ponadto przybliżone zostanie zagadnienie analizy geomorfologicznej

sztucznej wersji powierzchni Marsa, wykonanej w ramach zawodów European Rover Challenge 2022, oraz sposób prowadzenia badań in-situ za pomocą Łazika.



Rys. 2. Mobilne laboratorium

JAK PRÓŻNIA WPŁYWA NA WYTRZYMAŁOŚĆ STWARDNIAŁEGO BETONU?

HOW THE VACUUM AFFECTS ON THE STRENGTH OF THE HARDENED CONCRETE?

Dawid Mrozek¹, Zuzanna Gryczyńska², Marcei Matlosz²

¹Katedra Mechaniki i Mostów, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska

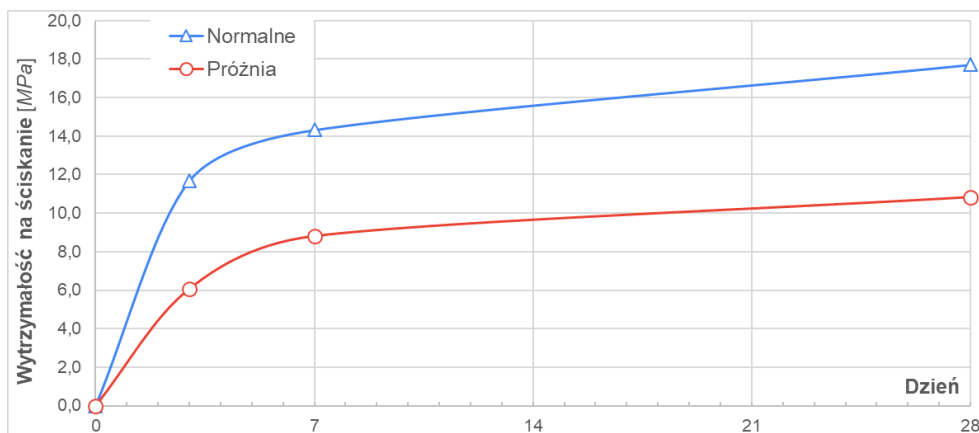
²SKN „Budownictwo Pozaziemskie”, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska

Adres do korespondencji: dawid.mrozek@polsl.pl

Zanim wybuduje się habitat na Księżycu czy Marsie, należy go odpowiednio zaprojektować. Oprócz koncepcji funkcji, wyglądu i wymiarów, należy dobrać materiał, z którego obiekt ma powstać. Budynek zlokalizowany poza Ziemią narażony jest na różne obciążenia związane chociażby z niską grawitacją, a także uderzenia meteorytów. Znaczące będzie również obciążenie termiczne oraz wszystkie oddziaływania użytkowe, aby człowiek czuł się tam bezpiecznie. Rozpoczynając projektowanie budynku, inżynier musi pamiętać o trzech niezbędnych pojęciach, takich jak stan graniczny nośności, użyteczności oraz trwałość konstrukcji. Pierwsze pojęcie wiąże się z sytuacją zagrożenia katastrofy konstrukcji i co się z tym wiąże, życia użytkownika, drugie z pojęć mówi o sytuacji mniejszego zagrożenia, ale wpływającego na komfort psychiczny użytkownika – są to wszelkiego rodzaju pojawiające się zarysowania i spękania czy przemieszczenia konstrukcji. Natomiast trwałość obiektu to projektowanie konstrukcji na konkretny czas użytkowania. Oczywiście nie oznacza to, że obiekty projektowane na 50 lat, po tym czasie ulegają zniszczeniu, ale wiemy, że przez ten czas warunki użytkowania i bezpieczeństwa konstrukcji nie powinny się zmniejszyć. Żeby wszystkie trzy warunki były spełnione, trzeba być pewnym właściwości wytrzymałościowych zastosowanego materiału. Materiały stosowane na Ziemi są dobrze rozpoznane i wielokrotnie badane, natomiast nie znamy tak dobrze wytrzymałości i trwałości materiałów, które mogą zostać użyte do budowy obiektu poza Ziemią. Skupiając się na Księżycu, można zastosować materiały używane już na Ziemi lub całkowicie nowe, które będą się składać z substancji dostępnych na naturalnym satelicie Ziemi.

Ponieważ badanie wytrzymałości materiałów na Księżycu jest raczej niemożliwe, przynajmniej na tę chwilę, można rozpocząć od badania tych materiałów na Ziemi. Idealnie byłoby zbadać materiał pochodzący z Księżyca na miejscu, jednak jest to zbyt kosztowne i trudne do zrealizowania. Dlatego na początek można zacząć od dobrego przygotowania się do takich badań i poznania, to co jest dostępne.

Nasze badania zaczęliśmy od stworzenia próbki betonu hydraulicznego, w przyszłości będziemy chcieli zastąpić go betonem na bazie regolitu księżycowego. Badania nad symulantami gruntu księżycowego trwają, przeczytać można o nich m.in. w pracach [1, 2]. Z kolei podobne badania do naszych również były już prowadzone i publikowane [3].



Rys. 1. Różnice wytrzymałości na ściskanie w zależności od miejsca dojrzewania

Beton nie uzyskuje swoich właściwości w chwili ułożenia mieszanki do formy, przyjmuje się, że beton większość swojej wytrzymałości uzyskuje po 28 dniach. W naszych badaniach porównywaliśmy przyrost wytrzymałości próbek betonowych, dojrzewających w ciśnieniu atmosferycznym z próbkami dojrzewającymi w komorach, w których wywołaliśmy ciśnienie zbliżone do próżni (obniżyliśmy ciśnienie do 70 Pa). Wyniki tych badań w postaci wykresu wzrostu wytrzymałości na ściskanie w czasie dojrzewania betonu przedstawione są na rys. 1.

Badaniu wytrzymałościowemu na ściskanie poddano cylindryczne próbki betonowe. Część próbek dojrzewała w warunkach atmosferycznych (normalne), a pozostałe w komorach (próżnia). Jakościowy wzrost wytrzymałości betonu jest zbliżony w obu porównywanych przypadkach, natomiast ostateczna wytrzymałość na ściskanie betonu w próżni jest ok 40% mniejsza. Dodatkowo w trakcie badań oznaczyliśmy konsystencję mieszanki betonowej jako K1 (mniej płynna) i K2 (bardziej płynna). Znacznie mniejszą różnicę między wytrzymałością dojrzewającego betonu na zewnątrz i w komorze uzyskaliśmy przy bardziej płynnej konsystencji (porównaj z tab. 1). Co ciekawe, w warunkach ziemskich wyższy stosunek wody do cementu (W/C) w mieszance betonowej wiąże się z niższą wytrzymałością betonu, a w naszych badaniach, dla próbek dojrzewających w próżni, uzyskaliśmy odwrotną relację. Ze względu na małą ilość próbek o różnym stosunku W/C, nie można wyciągnąć ogólnych wniosków i przyjęcie tego jako prawidłowość, jednak jest to punkt wyjścia do przeprowadzenia kolejnej analizy.

Tab. 1. Przyrost wytrzymałości próbek betonowych na ściskanie

Próbki betonowe dojrzewające	Wytrzymałość betonu po 3 dniach	Przyrost wytrzymałości po kolejnych 4 dniach	Przyrost wytrzymałości po kolejnych 21 dniach
Poza komorą (konsystencja K1)	11,04 MPa	9%	25%
W próżni (konsystencja K1)	5,27 MPa	46%	79%
Poza komorą (konsystencja K2)	12,33 MPa	34%	75%
W próżni (konsystencja K2)	6,56 MPa	35%	67%

Wytrzymałość betonu dojrzewającego w próżni po pierwszych 3 dniach jest prawie dwa razy mniejsza od tego dojrzewającego w warunkach atmosferycznych. W przypadku konsystencji K1, procentowy przyrost jest podobny, natomiast próbki o konsystencji K2 miały znacznie większy procentowy przyrost wytrzymałości, gdy dojrzewały w próżni.

Prezentowane wyniki wskazują, że próżnia istotnie obniża wytrzymałość betonu. Punktem wyjścia do kolejnych badań jest taki udział wody w mieszance, aby zwiększyć parametry fizyczne betonu dojrzewającego w próżni.

Literatura

- [1] Zarzycki P.K. et al, *A Proposition for a Lunar Aggregate and Its Simulant*, „Adv. Space Res.” 2020, 65, 2894–2901, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.03.032>
- [2] Sokolowska J. et al, *Rheological Properties of Lunar Mortar*, „Applied Sciences – Basel” 2021, Vol. 11, No. 15, 1–18, 6961, <https://doi.org/10.3390/app11156961>
- [3] Hatanaka N. et al, *Hydration Reaction and Strength Development of Lunar Concrete Under Vacuum Condition*, SAE Technical Paper 2004-01-2270, 2004, <https://www.jstor.org/stable/44737890>

CO SIĘ DZIEJE Z MIESZANKĄ BETONOWĄ W PRÓŻNI?

WHAT HAPPENS TO THE CONCRETE MIX IN THE VACUUM?

Magdalena Mrozek¹, Julia Kula², Błażej Błatoń²

¹Katedra Mechaniki i Mostów, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska

²SKN „Budownictwo Pozaziemskie” Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska

Adres do korespondencji: magdalena.mrozek@polsl.pl

Konstrukcje wykonane z betonu zmieniły krajobraz wielu miejsc na Ziemi. Wybór tego materiału wynika z łatwości konstruowania budowli różnego kształtu przy zachowaniu dużej wytrzymałości. „Wystarczy” wymieszać cement, kruszywo i wodę, a następnie poczekać, aż taka mieszanka zwiąże i stwardnieje. Otrzymujemy finalnie wytrzymały i trwały materiał, który w początkowej fazie swego istnienia jest płynny, co z kolei pozwala nadawać mu dowolny kształt. Doświadczenia w budownictwie ziemskim można wykorzystać przy tworzeniu habitatów poza Ziemią, np. na Księżycu lub Marsie. Wykonanie gotowych elementów betonowych na Ziemi i ich transport na obiekt pozaziemski (prefabrykacja) wydaje się na obecnym poziomie transportu bezzasadne. Pozostaje przygotowanie mieszanki betonowej na miejscu budowy. Pomijając sam proces kształtowania obiektu, który może zostać zrealizowany jako druk 3D w sposób bezobsługowy [1], istotnym czynnikiem, najpierw podczas projektowania, a następnie wykonywania habitatu jest wiedza na temat zachowania się zastosowanego materiału w warunkach pozaziemskich.

Mniejsza grawitacja niż na Ziemi będzie wpływała na kształt i wielkość obiektów budowlanych, ale czynnikiem decydującym zdaje się być konieczność wytworzenia i utrzymania ciśnienia umożliwiającego swobodne przebywanie ludzi bez konieczności noszenia skafandrów. Wszystkie rodzaje obciążenia zewnętrznego, wewnętrznego oraz warunki panujące na wybranej lokalizacji należy przeanalizować przy wyborze materiału i sprawdzić, jaki będą miały na niego wpływ. W ramach Studenckiego Koła Naukowego “Budownictwo Pozaziemskie” postanowiliśmy przebadać jeden z czynników wpływających na konstrukcję ułożoną poza Ziemią, a mianowicie próżnię. Na pierwsze badania postanowiliśmy wybrać materiał łatwo dostępny, czyli beton. Poznanie zachowania się “ziemskiego” betonu hydraulicznego w próżni, pozwoli nam w przyszłości na dobre przygotowanie się do badań betonu stworzonego na bazie regolitu, czyli gruntu księżycowego.



Rys. 1. Komora próżniowa wraz z pompą oraz próbki betonowe w formach przed dekompresją

Przeprowadziliśmy szereg badań z zastosowaniem gotowych mieszanek betonowych, do których wystarczy dodać wodę w ilości zalecanej przez producenta. Tak przygotowaną mieszankę umieściliśmy w formie cylindrycznej, a następnie włożyliśmy do komory próżniowej – rys.1. Aby zrozumieć, jak próżnia wpływa na mieszankę betonową

i docelowo na stwardniały beton zastosowaliśmy próbki referencyjne dojrzewające w normalnych (atmosferycznych) warunkach. Wszystkie próbki („normalne” i „próżniowe”) przebywały w tej samej temperaturze i wilgotności – przeprowadziliśmy stały monitoring warunków klimatycznych.

Przyjmuje się, że beton osiąga wystarczające parametry fizyczne po 28 dniach od zarobienia. Dlatego postanowiliśmy podobnie postąpić z naszymi próbkami, zarówno dojrzewającymi w ciśnieniu atmosferycznym, jak również, by mieć bezpośrednie porównanie, tymi dojrzewającymi w próżni. Rozpoczęcie dekompresji spowodowało, że mieszanka betonowa zaczęła pęcznieć i “wychodzić” ponad formę, przypominając rośnięcie ciasta drożdżowego. Powietrze zawarte w mieszance zostało odessane powodując wzrost próbki ponad formę. Pory, w których zlokalizowane były pęcherzyki powietrza, powiększyły się przy jego ucieczce. W efekcie końcowym otrzymaliśmy beton lżejszy oraz bardziej porowaty od betonu, który dojrzewał w ciśnieniu ziemskim, co można dostrzec na rys.2. Zaobserwowano spadek gęstości próbek dojrzewających w komorze na poziomie 15% po 28 w odniesieniu do referencyjnych. Charakterystycznym elementem była też barwa – beton dojrzewający w próżni był ciemniejszy. Wynika to prawdopodobnie z niższej gęstości próbki „próżniowej”.



Rys. 2. Zwiększenie objętości i porowatości próbki betonowej w wyniku dekompresji

Wyniki badań stanowią przygotowanie do wykonania testów na próbkach z zastosowaniem gleby księżycowej jako kruszywa. Symulanty gruntu księżycowego już powstają [2], [3], ale brak jest badań takiego betonu w próżni. Kolejnym zagadnieniem jest eliminacja „pęcznienia” mieszanki podczas dekompresji. W tym celu przygotowaliśmy odpowiednio przygotowane nakładki, które wraz z geowłókniną mają zapobiec wydostawaniu się mieszanki betonowej z formy, ale umożliwiony jest swobodny przepływ powietrza. To zagadnienie jest istotne jeżeli będziemy wykonywać obiekty budowlane w warunkach obniżonego ciśnienia poprzez druk 3D.

Literatura

- [1] Król P. et al., *Numerical analysis of flexural behavior of concrete element with 3-D printed formwork*, “AIP Conference Proceedings” 2002, 2425, 040009, <https://doi.org/10.1063/5.0081317>
- [2] Lehner P. et al., *Electrical Resistivity and Strength Parameters of Prismatic Mortar Samples Based on Standardized Sand and Lunar Aggregate Simulant*, “Buildings” 2022, 12, 423, <https://doi.org/10.3390/buildings12040423>
- [3] Sokolowska J. et al., *Rheological Properties of Lunar Mortars.*, “Applied Sciences – Basel” 2021, Vol. 11, No. 15, pp. 1–18, 6961, <https://doi.org/10.3390/app11156961>

CUBE-SATELITARNY TELESKOP DO OBSERWACJI ZIEMI

CUBE-SATELLITE TELESCOPE TO THE PURPOSE OF EARTH OBSERVATIONS

Jakub Orzechowski

Scanway sp. z o.o.

Adres do korespondencji: j.orzechowski@scanway.pl

Cubesaty to klasa nanosatelitów o ustandaryzowanych rozmiarach. Satelita taki składa się z kilku sześciątów o wymiarach 10 cm x 10 cm x 10 cm. Jeden taki sześciąt jest „jednostką”, zapisywaną jako 1U. Ich masa nie przekracza kilograma na 1U. Umieszcza się je zwykle na niskiej orbicie okołoziemskiej. Zazwyczaj tego typu satelity stanowią dodatkowy payload, umieszczany na orbicie przy okazji startu rakiety. Standaryzacja, rozmiar oraz niewielka masa cubesatów sprawiają, że umieszczanie ich na orbicie wiąże się ze stosunkowo niewielkim kosztem, dlatego satelity te realizują misje, których opłacalność nie uzasadnia kosztów wysłania dużego satelity.

Projektowanie i budowa teleskopu kosmicznego mieszczącego się w cubesacie nie jest sprawą trywialną. Przede wszystkim standaryzacja wymiarów i masy satelity oraz duża liczba systemów satelitarnych ogranicza rozmiary ładunku optycznego do centymetrów i wymusza miniaturyzację teleskopu. Miniaturyzacja ta sprawia, że znacznie łatwiej zaprojektować teleskop w oparciu o zwierciadła, niż o soczewki. Uwzględnione musi również zostać niesprzyjające środowisko kosmiczne:

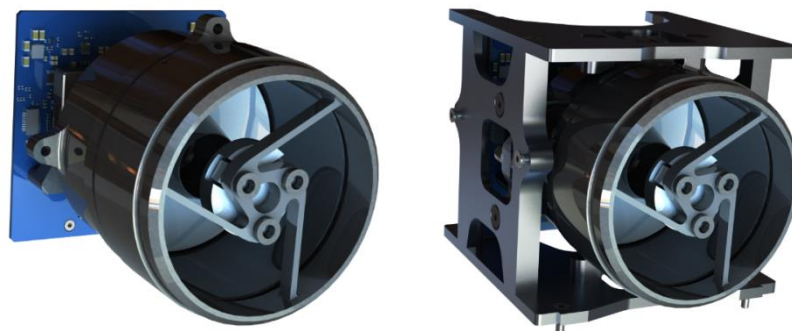
1. szeroki zakres temperatury pracy,
2. promieniowanie kosmiczne,
3. przeciążenia i drgania podczas wynoszenia satelity.

Czynniki te powodują, że układ optomechaniczny powinien być atermalny, wytrzymały na przeciążenia i odporny na promieniowanie. Od strony optycznej, największymi problemami przed którymi stoi projektant, są:

1. zmieszczenie odpowiednio długiej ogniskowej w krótkim teleskopie,
2. względnie mała średnica apertury, ograniczona wymiarami satelity,
3. ograniczenie wrażliwości elementów optycznych na temperaturę.

Teleskopy zwierciadlane cechują się względnie małym polem widzenia, ponieważ tylko dla takich pól osiągają wysoką jakość odwzorowania. Obserwacja Ziemi wymaga natomiast nieco większych pól widzenia, nieosiągalnych dla klasycznych teleskopów zwierciadlanych. Dlatego też konieczne jest wyposażenie teleskopu w korektor.

Teleskop przedstawiony w referacie został zaprojektowany w konfiguracji zmodyfikowanego Ritcheya–Chrétiena (R.Ch.). Modyfikacją jest wspomniany korektor, zbudowany z elementów refrakcyjnych, umieszczony między zwierciadłem wtórnym a detektorem. Rysunek 1 przedstawia modele teleskopu.



Rys. 1. Model teleskopu, bez i ze strukturą mocującą do satelity (Copyright by Scanway sp. z o.o.)

Teleskop ten jest zdolny do obserwacji Ziemi z rozdzielczością geometryczną 40 metrów, obejmując swoim polem widzenia prostokątny obszar o wymiarach 40 km x 30 km z wysokości 350 kilometrów. Obserwacje są prowadzone w zakresie widzialnym, w trzech kanałach spektralnych.

OBJECT ORIENTED PSEUDOCODE BASED ON SYSTEM ENGINEERING METHODOLOGY

METODYKA INŻYNIERII SYSTEMÓW OPARTA O OBIEKTOWY PSEUDOKOD

Agnieszka Pukacz, Filip Szewczyk

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Adresy do korespondencji: agnpuk77@gmail.com, filipszewczyk044@gmail.com

Object oriented pseudocode-based system engineering method (OPSE) is a currently being developed methodology. It is supposed to draw from the advantages of model-based system engineering (MBSE [1]) while keeping simplicity of modification characteristic to pseudocode.

OPSE is being introduced here as a new method for use in particular space related application [4], it is inspired by approach originally proposed by Putz and Elfving [2].

While use of MBSE and particularly object-oriented approach (Object-Oriented SE Method) is an established methodology for SE, there is a limited number of resources describing development of pseudo script for such application. Pseudo script may serve as simpler solution that does not require usage of dedicated SE software.

The aim of our presentation is to review information about, and methodology of OPSE.

In our work scripting language was created with the use of an object-based approach. As an entry point diagram representing simplified physical architecture and stakeholder or mission requirements may be used. This methodology allows for relatively easy conversion of pseudo script to activity diagram.

In our approach we suggest particular representation of mission layers described in [2]:

- Missions – their order is depicted as state machine,
- Tasks – are described as methods of objects defined in pseudocode,
- Actions – are building blocks of tasks. They are described within Action table.

We propose further development of Domier methodology designed for ESA to pseudocode with an introduction of object-based approach. Pseudocode does not only show which connections may be removed or should be added to control system block diagram but also allows for generation of mission-based block diagram. In real life approach team may discuss system functions and create structure diagram which may be presented to cooperating team or client. As it has already been stated code modification is less time-consuming than block diagram adjustment.

Tab. 1 . Outline of PMBD methodology structure

PMBD	
Requires	Generates
<ul style="list-style-type: none"> • control system block diagram, • mission requirements, • control system documentation. 	<ul style="list-style-type: none"> • control system block diagram with reference to signal table, • pseudocode defining structure for each control module, • mission described with use of pseudocode, • reference tables describing functions, signals, missions, tasks, actions and requirements.

This approach is useful especially when the number of identical modules changes, and the transmission of connections is necessary. Possibility of translation into block diagram make the concept more readable. Readability itself made rise to popularity of object-based approach. Such translation, as well as rules guiding pseudocode design will be presented in detail during presentation. This abstract provide outline of OPSE structure (Tab. 1) along with samples of

pseudocode. Pseudocode shown in Tab. 2 was designed to describe one of simplified URC competition missions that should be completed by a particular rover [3].

Tab. 2. Modules depicting samples of OPSE pseudocode

Pseudocode defining structure for main computer module	Mission described with use of pseudocode
<pre> class MainComputer: Attributes: mission phase [...] Tasks: FindNearestNewGNSS(GNSS_list): TASK_EXECUTE return target_GNSS [...] </pre>	<pre> LAUNCH_APPROACH_HDRM_RELEASE: GNSS_list.to_meet = MC.acquirePoints() MainComputer.[mission_phase] = as- sign(search) while(mission_phase == search): target_GNSS = MC.FindNearestNewGNSS(GNSS_list) MC.GotoTargetGNSS(target_GNSS) [...] </pre>

To summarize OPSE is currently being developed universal mission designing methodology, aspiring for compatibility with ESA standards, that will be applied to design of URC mission for a particular rover. OPSE modifies and expand on concept described in [1] by object-based approach to pseudocode.

Literatura

- [1] Ramos A.L., Ferreira J.V., Barceló J., *Model-Based Systems Engineering: An Emerging Approach for Modern Systems*, „IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)” 2012, Vol. 42, No. 1, pp. 101-111, doi: 10.1109/TSMCC.2011.2106495
- [2] Putz P., Elfving, A., *Control Techniques 2*, Tech. Rep. CT2/CDR/DO/BL, Domier GmbH, issue: 1.1, ESTEC Contract 9292/90/NL/JG (SC), 1991.
- [3] „Zespół Raptors – Politechnika Łódzka”, <https://raptors.p.lodz.pl/>
- [4] “TITAN – PIAP Space”, <https://piap.space/pl/projects/projekt-titan-pl/>
- [5] Raport z I edycji badań, Branżowy Bilans Kapitału Ludzkiego, Branża przemysł lotniczo-kosmiczny.

AUTONOMICZNA, SKALOWALNA I MODULARNA PLATFORMA DO WYKONYWANIA BADAŃ NAUKOWYCH NATURY ASTROBIOLOGICZNEJ DEDYKOWANA DLA RAKIET SUBORBITALNYCH

AUTONOMOUS, SCALABLE AND MODULAR PLATFORM FOR SCIENTIFIC RESEARCH OF ASTROBIOTECHNOLOGICAL NATURE DEDICATED TO SUBORBITAL ROCKETS

Bartosz Rybacki¹, Wojciech Wysocki²

¹Katedra Biotechnologii Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska

²Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska

Adres do korespondencji: bartoszrybackiscience@gmail.com

Wraz z rosnącym postępem technologii kosmicznych zwiększają się możliwości eksploracji przestrzeni kosmicznej i dostarczania odpowiedzi na nurtujące nas od stuleci pytania. Ograniczeniem często jest skala przedsięwzięcia, czas realizacji oraz uniwersalność danego układu instrumentalnego.

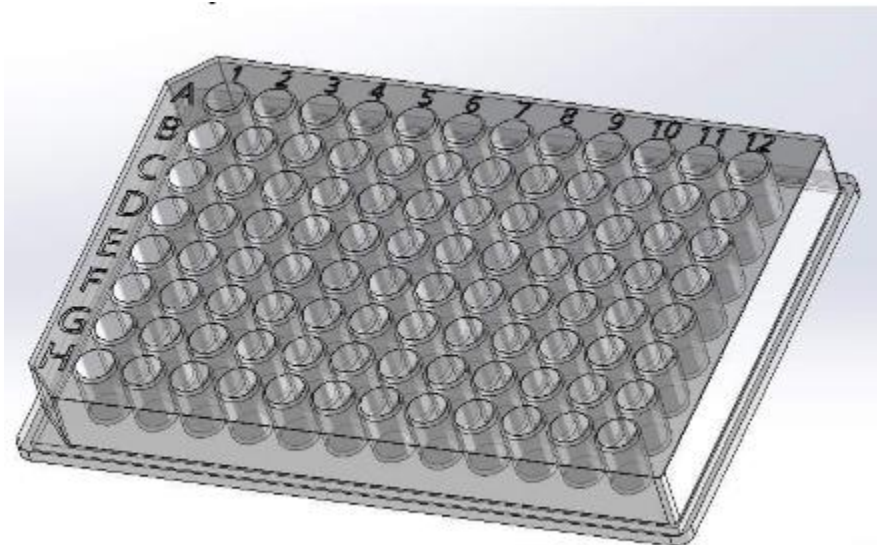
Wychodząc tym wymaganiom naprzeciw stworzyliśmy AMBER – Autonomous Modular Scalable Experiment on a Rocket (rys. 1a). Jest to platforma w formie cubesata 3U zdolna do przeprowadzania badań natury astrobiotechnologicznej. Posiada niezależne źródło zasilania, system kontroli temperatury oraz aż 192 dodatkowo uszczelnionych (rys. 1b) przestrzeni operacyjnych (rys. 2) gotowych do przeprowadzania niezależnych eksperymentów podczas jednego lotu rakiety! Jego największą zaletą jest krótki czas od startu rakiety do powrotu platformy w ręce naukowców mogących już po 15 minutach od startu wykonać operacje badawcze.



Rys. 1. Konstrukcja pierwszej iteracji projektu AMBER oraz schemat modułu uszczelniającego przestrzeni operacyjnych

Projekt powstał w odpowiedzi na zapotrzebowanie zespołu SimBa koła naukowego SimLE na ładunek wynoszony ich rakieta podczas konkursu Spaceport America Cup 2022, jednak potencjał rozwojowy szybko okazał się większy niż jednorazowy start podczas konkursu.

Projekt zakłada trzy iteracje rozwojowe. Pierwsza z nich skupiła się na badaniach nad biofilmem przy współpracy z naukowcami pracującymi dla NASA Ames Research Center, którzy to okazali sensowność naszych badań listem rekomendacyjnym.



Rys. 2. Płytki zawierająca 96 przestrzeni operacyjnych

Biofilm jest formą ugrupowania bakteryjnego zawierającą w otoczeniu substancje organiczne bądź nieorganiczne wytwarzane przez bakterie, która to struktura przylega do danej powierzchni. Jest obiektem badań między innymi NASA, zagadnieniem stosunkowo nowym, który jest dopiero odkrywany przez świat nauki, zwłaszcza w ujęciu space science. Nasze badania nad biofilmem mogą przyczynić się do poszerzenia wiedzy w zakresie leczenia chorób w podróżach kosmicznych czy astronautów na ISS. Ponadto mogą mieć istotne znaczenie przy stworzeniu mikrobiomu na Marsie bądź jego przyszłościowej kolonizacji (biofilm powstaje pod wpływem działalności degradujących czynników środowiskowych/limitujących życie bakterii). Dodatkowo jako, że niektóre formy bakteryjne mogą rozkładać polimery bądź niszczyć metale, a także prowadzić do korozji [1], mogą pomóc w istotnym problemie niszczenia materiałów, z których wykonana jest międzynarodowa stacja kosmiczna, satelity, a także innego rodzaju statki kosmiczne.

Literatura

- [1] Zea L. et al., *Potential biofilm control strategies for extended spaceflight missions*, “Biofilm” 2020, Vol. 2, 100026, <https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2020.100026>.

PROJEKT SPACE CHALLENGE

PROJECT SPACE CHALLENGE

Szymon Wiśniewski, Szymon Woźniak

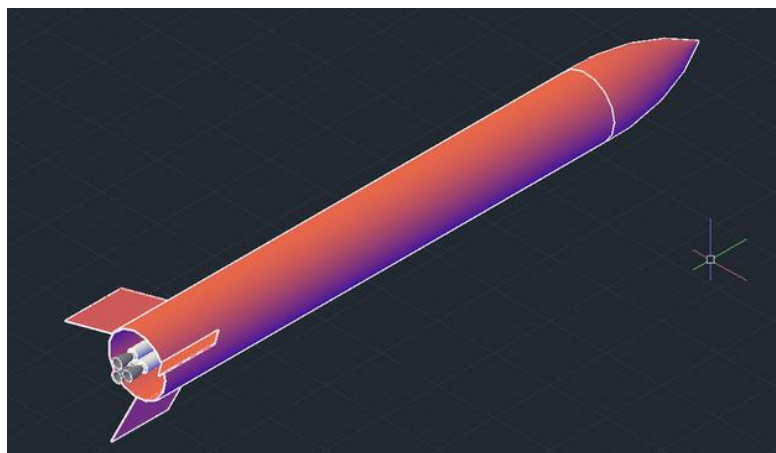
Stowarzyszenie Space Challenge ul. Cedrowa 19, 62-081 Chyby

Adres do korespondencji: kontakt@spacechallenge.pl

Stowarzyszenie Space Challenge jest projektem mającym swe początki w styczniu 2021 roku, oficjalnie rozpoczynając swoją działalność w czerwcu tego samego roku. Jest to organizacja wolontarystyczna angażująca w swoje działania osoby młode, uczęszczające do szkół średnich oraz absolwentów tych szkół. Idea stworzenia projektu powstała z inicjatywy dyrektora Space Challenge, Szymona Wiśniewskiego. Chciał realizować swoją pasję w sposób aktywny, urealnić swoje marzenia jednocześnie dając przykład innym, odnośnie do tego, jak można to zrobić. Początkowo w jego skład wchodziło 7 osób, stopniowo rozrastając się o kolejnych członków i obecnie osiągając liczbę 20 osób. Każda osoba podejmująca się wolontariatu na rzecz Space Challenge zostaje przydzielona do odpowiadającego jej działu w sposób, aby w pełni mogła wykorzystać swój potencjał odnośnie do jej zainteresowań oraz znacząco poprawić organizację działania całego stowarzyszenia.

Głównym celem Projektu Space Challenge jest potęgowanie pasji do kosmosu w najmłodszej warstwie społeczeństwa. Tworzymy grono osób zainteresowanych pracą przy technologii kosmicznej, rozwijających swoje zdolności w tej dziedzinie oraz dzielących się tymi zdolnościami z innymi, dzięki czemu jesteśmy w stanie sprawić, aby zapal do tego hobby nie minął przez potencjalne problemy w jego realizacji. Dodatkowo w projekt może zaangażować się każda osoba bez względu na umiejętności; jesteśmy świadomi tego, że jeden człowiek nie może być specjalistą w każdej dziedzinie. Uważamy to za duży atrybut, ponieważ każdy jest w stanie realizować swoje zainteresowania, często nawet niekoniecznie związane z kosmosem, jednocześnie biorąc udział w projekcie. Przykładem takiej działalności może być wykonanie przez naszych wolontariuszy prac graficznych, czy prowadzenie mediów społecznościowych. Warto dodać, że stale rozwijamy swoje umiejętności, prowadząc różnego rodzaju projekty praktyczne. Sami planujemy, projektujemy i tworzymy sprzęt kosmiczny, jednocześnie nawzajem motywując się do dalszych działań. W ten sposób powstało kilka autorskich projektów, które w tym momencie posiadają status zakończonych lub w trakcie prac.

Naszym pierwszym projektem, którego się podjęliśmy, było stworzenie rakiety Tygrys 1. Rakieta została przez nas w pełni zaprojektowana i wybudowana, niestety pojawił się problem techniczny w trakcie misji jej wystrzelenia, co skutkowało niepowodzeniem misji.



Rys. 1. Szkic rakiety Tygrys 1 [1]

Następną zakończoną misją jest projekt KLIM 1. Przy współpracy z zespołem studentów AGH z Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie wypuściliśmy balon stratosferyczny mający na celu przeprowadzenie promocji

fundacji Wyspy Szczęśliwe na rzecz dzieci z chorobą nowotworową. Dodatkowym celem było wykonanie ważnych pomiarów z pomocą odpowiednich podzespołów. Misja okazała się pełnym sukcesem.



Rys. 2. Logo projektu KLIM 1 [2]

Aktualnie Space Challenge pracuje nad znacznie większym projektem, który składa się z kilku różnych etapów. Misja New Horizon, bo tak właśnie się nazywa ten projekt, zawiera w sobie całkowite zaprojektowanie i stworzenie:

- w pełni funkcjonalnego łazika zdolnego do przemieszczania się, wykonywania skomplikowanych pomiarów i obliczeń, oraz stanowiącego centrum informacyjne dla innych dronów sterowanych zdalnie,
- dwóch rakiet testowych niskiej klasy o wysokości około 1 m,
- rakiety właściwej mierzącej 3m wysokości i o mocy 6 kN zdolnej do lotów stratosferycznych,
- balonu stratosferycznego zdolnego do wykonywania złożonych pomiarów,
- przenośnej stacji operującej systemami pokładowymi rakiet i łazika.

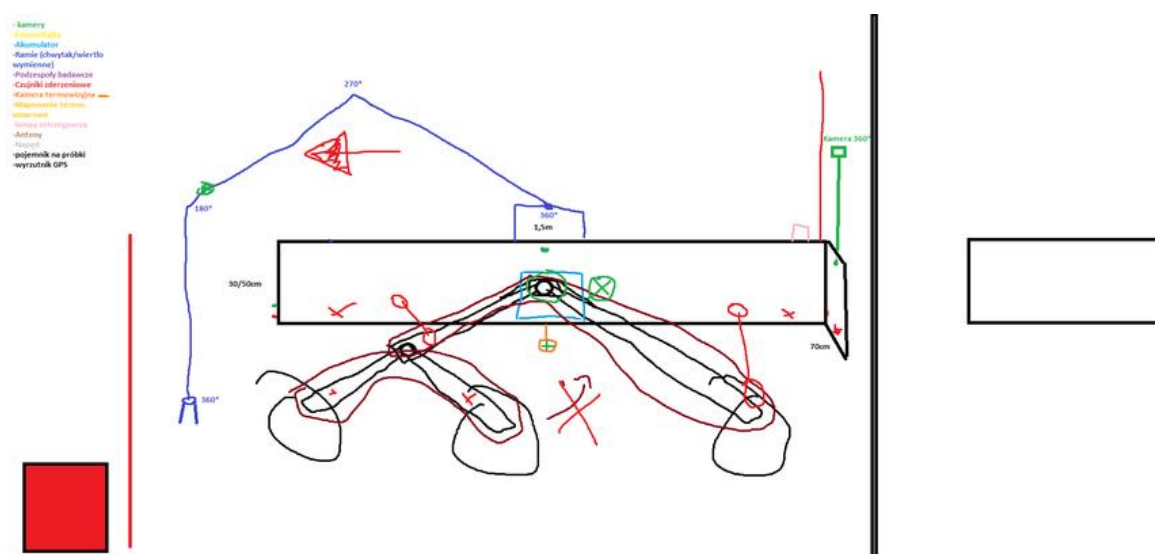


Graf. 3. Logo misji New Horizon [3]

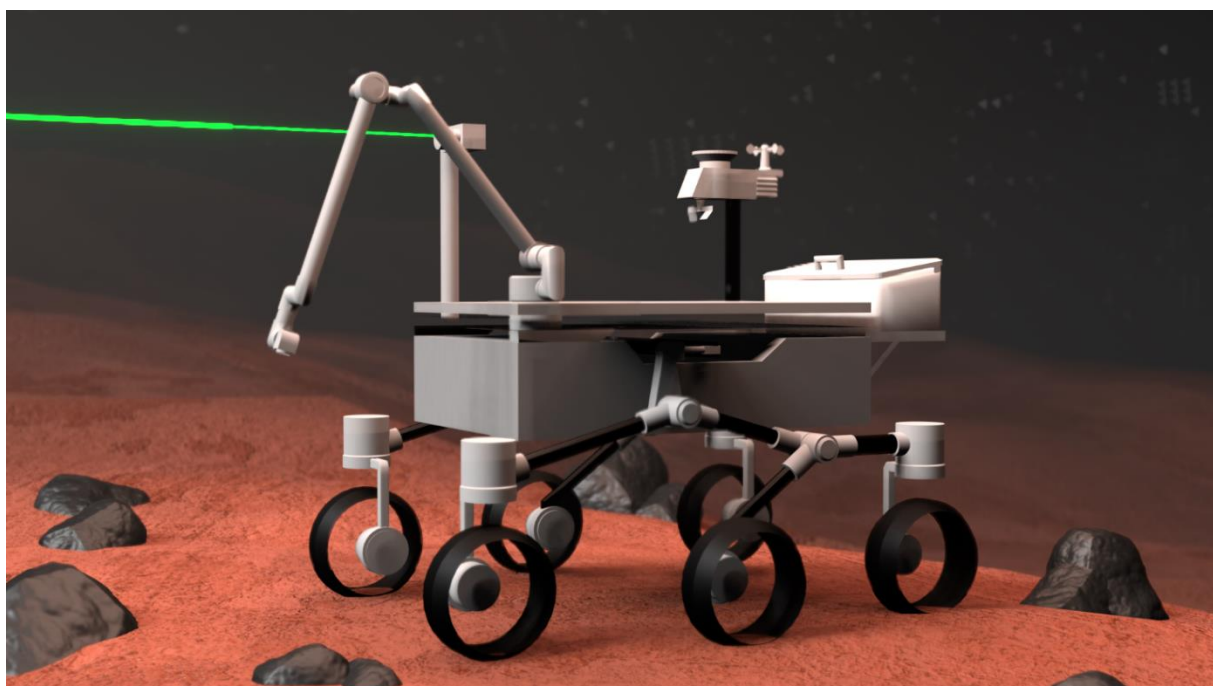
Realizacja misji New Horizon zaczęła się w czerwcu 2022 roku od prac nad walizką sterującą oraz łazikiem. Od tamtego momentu zdołaliśmy ukończyć stację sterującą, natomiast prace nad łazikiem są w zaawansowanym stadium. Aktualnie zajmujemy się zamieszczeniem w nim niezbędnej elektroniki i zaprogramowaniem jej działania w sposób, aby zmniejszyć zużycie energii do minimum przy jednoczesnym zachowaniu pełnej sprawności sprzętu.

Łazik docelowo na swoim pokładzie ma posiadać:

- kamery monitorujące oraz kamery noktowizyjne z możliwością zdalnego połączenia się z komputerem,
- ogniwa fotowoltaiczne,
- podzespoły badawcze zdolne do pobierania danych z próbek i ich przetwarzania,
- ramię typu chwytak z wymiennym wiertłem do poboru próbek,
- czujniki zderzeniowe,
- sonar z możliwością mapowania terenu,
- lampę ostrzegawczą,
- pojemnik na pobrane próbki,
- wyrzutnik GPS.



Rys. 3. Rysunek poglądowy łazika z misji New Horizon [4]



Rys. 4. Wizualizacja łazika z misji New Horizon [5]

Naszej działalności nie planujemy zakończyć na New Horizon. Po ukończeniu projektu rozpoczniemy budowę kolejnych raket, stopniowo podwyższając poprzeczkę naszych działań, ale i technologii, z którymi nie mieliśmy dotychczas dużego kontaktu. Do takich urządzeń będą należały np. własne drony, czy nawet przyrządy rolnicze mające na celu zwiększenie plonów i częściową ochronę przed ciężkimi warunkami atmosferycznymi. Co więcej, w najbliższej przyszłości będziemy brali udział m.in. w ogólnopolskim konkursie Zwolnieni z Teorii, gdzie przedstawimy autorski projekt podzespołu zdolnego do notowania wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń wody.

Literatura

- [1] Stowarzyszenie Space Challenge, *Szkielet rakiety Tygrys 1*, opracowanie własne, 2021.
- [2] Stowarzyszenie Space Challenge, *Logo projektu KLIM 1*, opracowanie własne, 2021.
- [3] Stowarzyszenie Space Challenge, *Logo misji New Horizon*, opracowanie własne, 2022.
- [4] Stowarzyszenie Space Challenge, *Rysunek poglądowy łazika z misji New Horizon*, opracowanie własne, 2022.
- [5] Stowarzyszenie Space Challenge, *Wizualizacja łazika z misji New Horizon*, opracowanie własne 2022.

OCENA PRZYDATNOŚCI OBRAZÓW SATELITARNYCH SENTINEL-2 DO IDENTYFIKACJI NAWŁOCI (SOLIDAGO SPP.)

ASSESSMENT OF SENTINEL-2 SATELLITE IMAGES FOR THE IDENTIFICATION OF GOLDENROD SPECIES (SOLIDAGO SPP.)

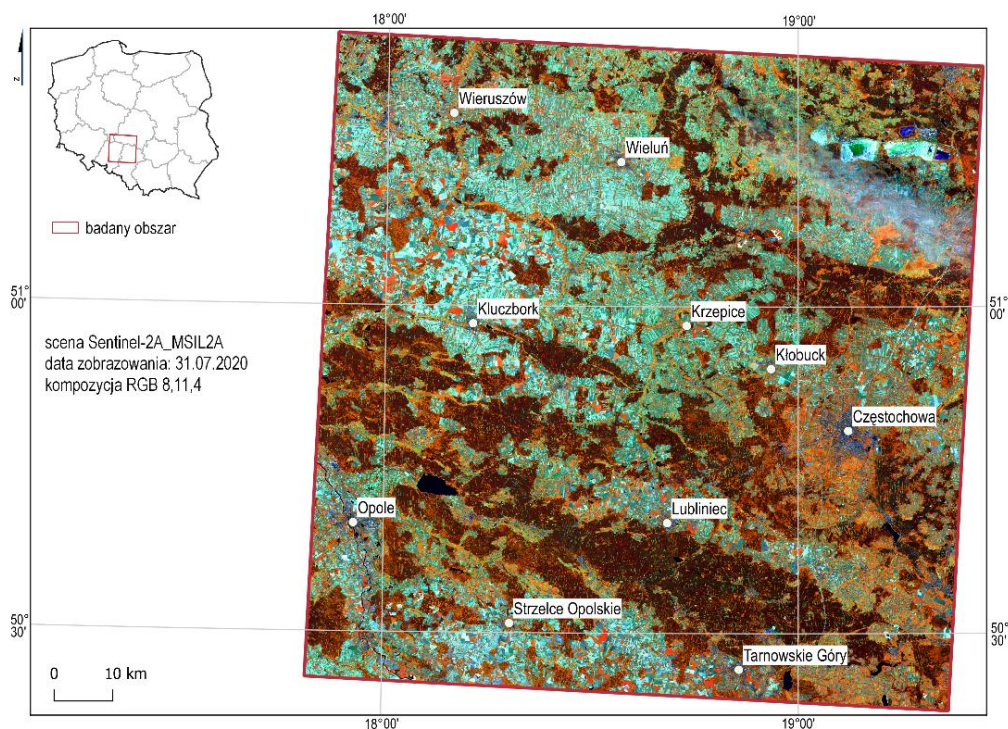
lic. Karolina Barbara Zdunek, dr hab. Bogdan Zagajewski, mgr Marcin Kluczek

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji,
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927

Adres do korespondencji: kb.zdunek@student.um.edu.pl

Zajmowanie nowych przestrzeni przez rośliny i zwierzęta stanowi jedną ze strategii rozwoju każdej populacji, niemniej proces ten ograniczany jest przez dostępność odpowiednich siedlisk oraz interakcje międzyosobnicze i międzygatunkowe [1]. Jednakże aktywność człowieka, a także zmiany środowiska naruszają naturalne bariery oraz modyfikują przebieg korytarzy ekologicznych, wpływając bezpośrednio na skalę oraz zasięg rozprzestrzeniania się gatunków inwazyjnych i ekspansywnych [2], stanowiąc tym samym jedno z największych zagrożeń dla bioróżnorodności kraju, jak i Europy [3].

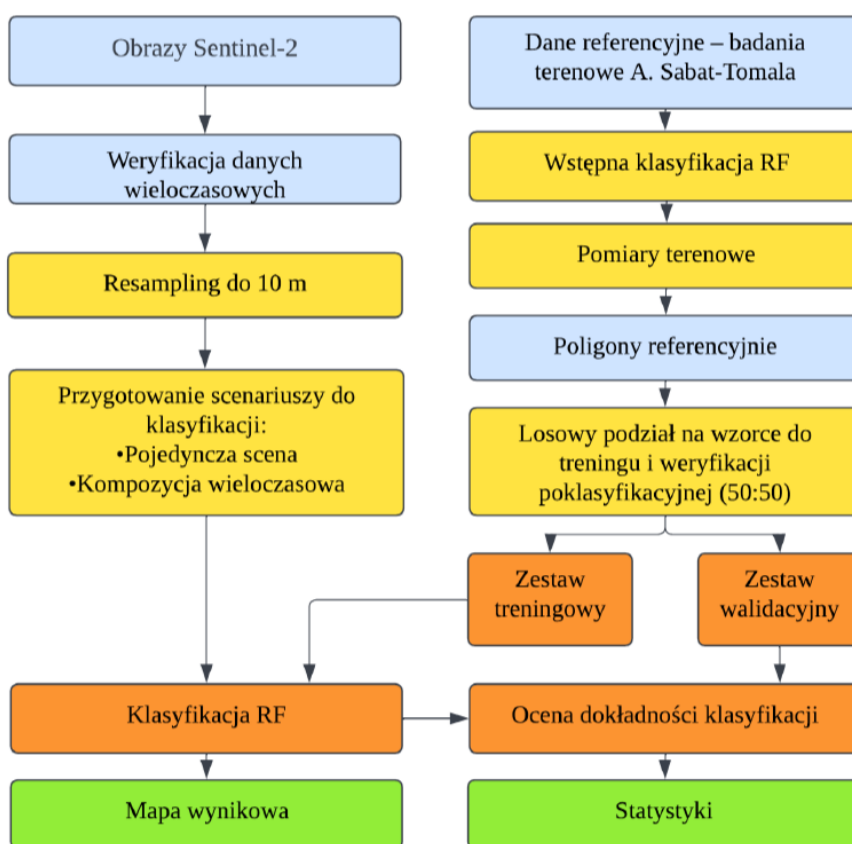
Problemem badawczym jest opracowanie metod stałego i wiarygodnego monitoringu obejmującego duże obszary w celu uchwycenia dynamiki ich rozprzestrzeniania, a także oceny powodowanych zmian. Niniejsze badania skupiają się na ocenie potencjału wielospektralnych obrazów satelitarnych Sentinel-2 do identyfikacji nawłoci (*Solidago spp.*). W tym celu pozyskane zostały zobrazowania z 31 lipca, 9 września oraz 3 listopada 2020 r., obejmujące swoim zasięgiem fragment Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (rys. 1) [3].



Rys. 1. Zasięg obszaru badań

Badani przedstawiciele gatunków inwazyjnych nawłoci wykazują szeroki zakres tolerancji na zmienne warunki środowiska, które występują na prezentowanym obszarze. Wykazano, iż dane rośliny rozprzestrzeniają się głównie za pomocą anemochorii (rozsiwania nasion przez wiatr) oraz wzdłuż szlaków komunikacyjnych, których wraz z rozwojem przemysłu na danym terenie jest coraz więcej. Nawłoc poprzez niewielkie wymagania siedliskowe chętnie zajmuje również tereny poeksploatacyjne, przemysłowe, które występują licznie w krajobrazie obszaru badań [3, 4].

Na podstawie danych Sentinel-2 przygotowano 7 scenariuszy klasyfikacji obejmujących pojedyncze sceny, jak i kompozycje wieloczasowe. Jako dane referencyjne posłużyły pomiary terenowe, które zostały przeprowadzone 3–4 września 2021 r. w celu weryfikacji uzyskanych wyników, a także wyznaczeniu 7 klas użytkowania terenu, podanych klasyfikacji algorytmem Random Forest. W oparciu o wynik działania klasyfikatora opracowano mapę występowania nawłoci oraz kilku form pokrycia terenu, statystyki dokładności, a także dokonano oceny poszczególnych okresów rozwoju wegetacyjnego względem możliwości ich wykorzystania do identyfikacji danego gatunku (rys. 2) [3].



Rys. 2. Schemat metodyki

Najlepsze wyniki uzyskano dla połączenia terminu listopadowego z lipcowym – dokładność producenta na poziomie 91,98%, dokładność użytkownika na poziomie 86,98% oraz wskaźnik F1 wynoszący 89,41%. Ponadto, stwierdzono, iż klasyfikacja pojedynczej sceny przynosiła gorsze rezultaty niż kompozycji wieloczasowych. Najniższe wyniki uzyskano dla terminu wrześniowego (F1: 69,88%, UA: 81,72%, PA: 75,34%). Otrzymane efekty pracy pokazują przydatność wielospektralnych zdjęć satelitarnych Sentinel-2 do identyfikacji nawłoci, a także innych gatunków ekspansywnych, np. trzcinnika piaskowego (*Calamagrostis.epigejos*). Szczegółowe wyniki badań zaprezentowane zostaną podczas konferencji.

Literatura

- [1] Tokarska-Guzik B. i in., *Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2012.

-
- [2] Akandil C. et al., *Mapping Invasive Giant Goldenrod (Solidago Gigantea) with Multispectral Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicle*, "Journal of Digital Landscape Architecture" 2021, Vol. 6, pp: 245–256, doi.org/10.14627/537705021
- [3] Zdunek K.B., *Ocena przydatności obrazów satelitarnych Sentinel-2 do identyfikacji nawłoci (Solidago spp.)*, maszynopis pracy licencjackiej, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa 2022.
- [4] Ruraż K., *Rozmieszczenie i oddziaływanie nawłoci kanadyjskiej (Solidago canadensis) na stan zachowania murów kerotermicznych Wzgórzy Sandomierskiej*, Różnorodność biologiczna, Rośliny i grzyby – badania środowiskowe i laboratoryjne, red. Bajguza A., Ciereszko I., Polskie Towarzystwo Botaniczne Oddział w Białymstoku, Białystok 2016.

Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej są do nabycia w sprzedaży wysyłkowej
zamawianie.książek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-224-0

<https://doi.org/10.37190/skk2022>