

miesięcznik naukowo-techniczny SITK RP sp. z o.o.

przegląd[®] komunikacyjny

2
2026
rocznik LXXXI
cena 36,00 zł
w tym 8% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Technologie kosmiczne 2

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

INFORMACJA O CYKLU „SYLWETKI”. Sektor kosmiczny w systemie obrony i bezpieczeństwa państwa. Analiza strategiczna i rekomendacje działań. Nowa dekada polskiej obecności w kosmosie. Forum Innowacji, grudzień 2025. Polska po III wojnie światowej. MIRORES: Spektrometry kosmiczne MIR/FIR do poszukiwań geologicznych na Księżycu i Ziemi. Edukacja ery kosmicznej

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

„Przegląd Komunikacyjny” publikuje artykuły związane z szeroko rozumianym transportem oraz infrastrukturą transportu. Obejmuje to zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne. Akceptowane są także materiały związane z geografią, historią i socjologią transportu.

Artykuły publikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” dzieli się na: „wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne. Prosimy Autorów o deklarację (w zgłoszeniu), do której dyscypliny zaliczyć ich prace.

Materiały do publikacji: zgłoszenie, artykuł oraz oświadczenie Autora, należy przysyłać w formie elektronicznej na adres

piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl

W zgłoszeniu należy podać: imię i nazwisko autora, adres mailowy oraz adres do tradycyjnej korespondencji, miejsce zatrudnienia, zdjęcie, tytuł artykułu oraz streszczenie (po polsku i po angielsku) i słowa kluczowe (po polsku i po angielsku). Szczegóły przygotowania materiałów oraz wzory załączników dostępne są na stronie:

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

W celu usprawnienia i przyspieszenia procesu publikacji prosimy o zastosowanie się do poniższych wymagań dotyczących nadsyłanego materiału:

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązuje odrębna numeracja ilustracji (bez rozróżniania na rysunki, fotografie itp.) oraz tabel.
2. Całość materiału nie powinna przekraczać 12 stron w formacie Word (zalecane jest 8 stron). Do limitu stron wlicza się ilustracje załączane w odrębnych plikach (przy założeniu że 1 ilustracja = ½ strony).
3. Format tekstu powinien być jak najprostszy (nie stosować zróżnicowanych stylów, wcięć, podwójnych i wielokrotnych spacji itp.). Dopuszczalne jest pogrubienie, podkreślenie i oznaczenie kursywą istotnych części tekstu, a także indeksy górne i dolne. **Nie stosować przypisów.**
4. Nawiązania do pozycji zewnętrznych - cytaty (dotyczy również podpisów ilustracji i tabel) oznacza się numeracją w nawiasach kwadratowych [...]. Numerację należy zestawić na końcu artykułu (jako „Materiały źródłowe”). Zestawienie powinno być ułożone alfabetycznie.
5. Jeżeli Autor wykorzystuje materiały objęte nie swoim prawem autorskim, powinien uzyskać pisemną zgodę właściciela tych praw do publikacji (niezależnie od podania źródła). Kopie takiej zgody należy przesyłać Redakcji.

Artykuły wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport, inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNIŚW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego oraz uwzględnić w ewaluacji jakości działalności naukowej (Dz.U. 2019 poz. 392).

Liczba uwzględnianych punktów wg listy czasopism punktowanych przez MNIŚW wynosi 20.

Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki. Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji i ewentualny formularz recenzencki są podane do publicznej wiadomości na stronie internetowej czasopisma lub w każdym numerze czasopisma. Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane.

Przygotowany materiał powinien obrazować własny wkład badawczy autora. Redakcja wdrożyła procedurę zapobiegania zjawisku Ghostwriting (z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji). Tekst i ilustracje muszą być oryginalne i niepublikowane w innych miejscach (w tym w internecie). Możliwe jest zamieszczanie artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych i podobnych (na prawach rękopisu) z zaznaczeniem tego faktu i po przystosowaniu do wymogów publikacyjnych „Przeglądu Komunikacyjnego”.

Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016) jako OPEN ACCESS. Pod koniec 2018 roku „Przegląd Komunikacyjny” rozpoczął indeksowanie artykułów angielskich z użyciem numerów cyfrowych DOI. Czasopismo ubiega się o partycypowanie w bazie SCOPUS. Rejestrowane jest w międzynarodowej bazie DOAJ <https://doaj.org/>.

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp.

Ceny zamieszczone w cenniku na stronie: www.transportation.overview.pwr.edu.pl są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

- ogłaszanie przedmiotowych inicjatyw na łamach pisma,
- zamieszczanie wybranych referatów / wystąpień po dostosowaniu ich do wymogów redakcyjnych,
- publikację informacji końcowych (podsumowania, apele, wnioski),
- kolportaż powyższych informacji do wskazanych adresatów.

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada Zarząd Oddziału SITK RP sp. z o.o. Wrocław. Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

- zamieszczenie logo sponsora w każdym numerze,
- zamieszczenie reklamy sponsora w jednym, kilku lub we wszystkich numerach,
- publikacja jednego lub kilku artykułów sponsorowanych,
- publikacja innych materiałów dotyczących sponsora,
- zniżki przy zamówieniu prenumeraty czasopisma.

Możliwe jest także zamieszczenie materiałów od sponsora na stronie internetowej czasopisma.

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie.

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

Małgorzata Skowronek

malgorzata.skowronek@pwr.edu.pl

Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 41, 50-370 Wrocław, tel.: +48 71 320 35 45

Cena za świadczenia na rzecz sponsora uzależniana jest od uzgodnionych szczegółów współpracy. Zapłata może być dokonana jednorazowo lub w kilku ratach (na przykład kwartalnych). Część zapłaty może być w formie zamówienia określonej liczby prenumerat czasopisma.





Na okładce: "technologie kosmiczne"

W tym numerze

W pierwszym numerze „Przeglądu Komunikacyjnego” poświęconego technologiom kosmicznym (nr 7-8, 2025) przedstawiliśmy genezę, cel działania oraz aktywność, która doprowadziła do utworzenia Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych. Ten numer miesięcznika zawiera teksty strategiczne dotyczące sektora kosmicznego. Z uwagi na turbulentną sytuację międzynarodową oraz rosnącą rolę zagadnień kosmicznych w aktualnych konfliktach zbrojnych numer otwiera tekst Pana Generała Lecha Majewskiego związany z zagadnieniami wojskowymi, co jest oczywiste z uwagi na fakt powiązania autora między innymi z Akademią Obrony Narodowej oraz Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych. Drugi tekst strategiczny jest autorstwa Pana Profesora Grzegorza Wrochny, aktualnego Dyrektora Creotech Instruments. Teksty napisane przez wybitnych ekspertów są godne szczególnej uwagi tym bardziej, że obaj autorzy zarządzali w przeszłości Polską Agencją Kosmiczną. Rozwój krajowego przemysłu dyskutowany był na ostatniej branżowej konferencji w roku 2025 - Forum Innowacji, która odbyła się we Wrocławiu 3-4 grudnia z udziałem m.in. Pana Artura Chmielewskiego z JPL/NASA. W numerze jest także tekst geopolityczny wybiegający jeszcze dalej w przyszłość. Temat był przedstawiany podczas Forum G2 w latach 2019-2025, w panelu kosmicznym, podczas którego wykazano konieczność ścisłej współpracy państw Trójmorza oraz skandynawskich, co się teraz rozpoczyna. Kolejny tekst przedstawia prace zespołu związanego z Polską Akademią Nauk nawiązujący do praktycznych zastosowań i komercjalizacji wiedzy. Niniejszy numer kończy opis edukacji na poziomie szkolnym w zakresie robotyki i technologii kosmicznych, co jest od lat realizowane na terenie Dolnego Śląska. W numerze zaprezentowano także dwie osobowości branży kosmicznej.

Piotr A. Wrzecioniarz

W numerze

INFORMACJA O CYKLU „SYLWETKI”	2
Sektor kosmiczny w systemie obrony i bezpieczeństwa państwa. Analiza strategiczna i rekomendacje działań Lech Majewski	7
Nowa dekada polskiej obecności w kosmosie Grzegorz Wrochna	14
Forum Innowacji, grudzień 2025 Robert Rajkowski, Artur Chmielewski	16
Polska po III wojnie światowej Piotr A. Wrzecioniarz	18
MIRORES: Spektrometry kosmiczne MIR/FIR do poszukiwań geologicznych na Księżycu i Ziemi Jakub Ciążela, Jarosław Bąkała, Mirosław Kowaliński, Natalia Zalewska, Marta Ciążela, Ireneusz Badura	22
Edukacja ery kosmicznej Piotr A. Wrzecioniarz	28

Wydawca:

Zarząd Oddziału, ul. Marszałka Józefa Piłsudskiego 74, pok. 216, 50-020 Wrocław
Leszek Krawczyk - Prezes
sitk.pkpik.pl

Partner:

Adam Bisek: konstruktor, wynalazca, przedsiębiorca i autor wielu innowacyjnych technologii i wdrożeń, wizjoner z wielką pasją lotnictwa i kosmonautyki, laureat wielu prestiżowych nagród i odznaczeń m. in. Wybitny Inżynier, Honorowy Złoty Inżynier, Błękitne Skrzydła, Złota Lotka, Brylantowa Lotka - delegat Polski w ONZ ds. zagospodarowania przestrzeni kosmicznej, organizator 5 zjazdów kosmonautów.

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

Maciej Kruszyna (Z-ca Redaktora Naczelnego), Agnieszka Kuniczuk - Trzcinowicz (Redaktor językowy), Piotr Mackiewicz (Sekretarz), Wojciech Puła (Redaktor statystyczny), Eryk Mączka (obsługa techniczna, strona internetowa), Krzysztof Gasz, Jarosław Kuźniewski, Łukasz Skotnicki, Bartłomiej Krawczyk, Igor Gisterek, Karina Korycka (obsługa anglojęzyczna)

Adres redakcji do korespondencji:

Pocztą elektroniczną:
piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl
Pocztą tradycyjną:
Piotr Mackiewicz, Maciej Kruszyna
Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Faks: 71 320 45 39

Rada naukowa:

Antoni Szydło (Wrocław), Grzegorz Brychczyński (Warszawa), Marek Ciesielski (Poznań), Sylvia Capayowa (Bratysława), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Jacek Sebastian Paś (Warszawa), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Tomasz Siwowski (Rzeszów), Jiri Straský (Brno), Piotr Wrzecioniarz (Wrocław), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

Główną wersją czasopisma jest wersja elektroniczna. Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016). Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania zmian w materiałach nie podlegających recenzji.

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych oraz są indeksowane w bazach:

BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>
Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>
Międzynarodowa baza DOAJ <https://doaj.org/>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:
<http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl>

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi poczynawszy od 4/2010. Numery archiwalne z lat 2004-2009 można zamawiać w Oddziale krakowskim SITK, ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków, tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

Grupa Intromax Sp. z o.o., ul. Biskupińska 21, 30-732 Kraków, <http://www.intromax.com.pl/>
Nakład: 800 egz.

Reklama:

Dział Marketingu:
malgorzata.skowronek@pwr.edu.pl

INFORMACJA O CYKLU „SYLWETKI”

W cyklu „Sylwetki” będziemy przedstawiali wybranych przedstawicieli naszej branży. Opisy będą przygotowane przez bezpośrednio zainteresowanych. W opisach szczególny nacisk będzie skierowany nie na osiągnięcia naukowe lecz praktycznie wdrożenia, oddziaływanie na środowisko lokalne i regionalne a także krajowe i w miarę możliwości międzynarodowe a także wpływ na społeczeństwo.

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonania stosownych skrótów. W drugim numerze przedstawiamy sylwetki Generała Lecha Majewskiego oraz Prof. Jana Dziubana.



Generał broni w st. spocz., pilot Lech Majewski

*Akademickie Centrum Analiz Strategicznych
Akademia Sztuki Wojennej*

Absolwent Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej, Akademii Lotniczej, Akademii Sztabu Generalnego WP, Narodowego Uniwersytetu Obrony w Waszyngtonie w Stanach Zjednoczonych oraz krajowych i zagranicznych specjalistycznych kursów i szkoleń. Wykonywał loty na samolotach MiG-29, MiG-21, MiG-15, TS-11, TS-8, M-28 oraz loty zapoznawcze na F-18, F-16, Mirage -2000, Mirage - 2005, T-38, M-346.

Były dowódca Generalny Rodzajów Sił Zbrojnych, Polskich Sił Powietrznych, Centrum Operacji Powietrznych w Warszawie, 3 Korpusu Obrony Powietrznej we Wrocławiu, 1 pułku lotnictwa myśliwskiego, Wiceprezes Polskiej Agencji Kosmicznej, Dyrektor Pionu Eksportu w ELEKTROTIM S.A., Pełnomocnik MON ds. Lotnictwa, Dyrektor Departamentu Przemysłu Obronnego w MRiT, Radca Rektora ASzW. Obecnie pracuje w ASzW w Warszawie w Akademickim Centrum

Analiz Strategicznych oraz jako wykładowca w AWSB na kierunku Bezpieczeństwo Narodowe. Wiceprezes SSLW RP.

Pełniąc przez wiele lat kierownicze funkcje w Siłach Zbrojnych oraz w strukturach rządowych państwa, nabył duże umiejętności i doświadczenie w dowodzeniu i zarządzaniu lotnictwem oraz sektorem kosmicznym jak i w kształtowaniu systemu szkolenia i zasad bezpieczeństwa lotów polskiego lotnictwa na wszystkich szczeblach kierowania i dowodzenia Sił Zbrojnych RP.

Aktualne przesłanie

Szanowni Państwo,

zapraszam i namawiam do współpracy w zakresie rozwoju polskiego sektora kosmicznego – obszaru o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa narodo-

wego i suwerenności technologicznej państwa.

Dostęp do niezależnych danych satelitarnych stanowi obecnie jeden z filarów obronności państwa. Polska musi jak najszybciej zbudować kompetencje w tym obszarze – to nasza racja stanu. Konieczne jest przejście od dyskusji do działania: do realizacji projektów, które przyspieszą transformację technologiczną i wzmocnią nasz przemysł obronny.

Inwestycje w satelity wojskowe, systemy łączności, obrony przeciwrakietowej i monitorowania przestrzeni kosmicznej muszą być integralną częścią modernizacji Sił Zbrojnych RP. Tylko nowoczesna, mobilna i elastyczna armia, wsparta własnym zapleczem technologicznym, będzie zdolna skutecznie reagować na zagrożenia i chronić bezpieczeństwo Rzeczypospolitej.



Prof. dr hab. inż. Jan Andrzej Dziuban

Professor Magnus Politechniki Wrocławskiej

Główne informacje zawodowe

Prof. dr hab. inż. Jan Andrzej Dziuban urodził się 05.05.1951 w Sanoku, gdzie ukończył szkołę podstawową nr 2 (1965) jako laureat olimpiady matematycznej dla szkół podstawowych (w owym czasie był to najwyższy szczebel olimpiad tematycznych w Polsce).

W 1969 roku, ukończył Liceum Ogólnokształcące imienia Świętej Zofii w Sanoku gdzie zdał maturę z wyróżnieniem.

W roku 1969 rozpoczął studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, które ukończył w 1974 roku.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych otrzymał w 1978 za badania nad wpływem światła na właściwości struktury MOS (PWr).

Stopień doktora habilitowanego uzyskał w roku 2002 za badania nad technologią i łączeniem anodowym mikromechanicznych struktur krzemowych i krzemowo szklanych oraz ich zastosowaniem w technice MEMS. Od 2008 jest profesorem tytularnym. Postępowanie przeprowadzone było w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie.

Kolejne stanowiska zawodowe i funkcje na Politechnice Wrocławskiej:

- adiunkt w Instytucie Technologii Elektronowej Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (przekształconym w Instytut Techniki Mikrosystemów a następnie w Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, obecnie Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów) 1978-2007;
- profesor nadzwyczajny na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej 2007-2010;
- profesor zwyczajny, a następnie profesor (2010-2021)

- Professor Magnus Politechniki Wrocławskiej (od 2023).

Działalność naukowa i związana z komercjalizacją wiedzy

Kierownik Wydziałowej Pracowni Mikromechaniki i Mikroinżynierii (2006-2009).

Kierownik Wydziałowego Zakładu Mikroinżynierii i Fotowoltaiki (2009 do 2016).

Wiceprzewodniczący Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej.

Przewodniczący Kapituły Nagrody imienia profesora Dionizego Smoleńskiego.

Aktualnie jest kierownikiem Centrum Badań Kosmicznych Politechniki Wrocławskiej działającym przy Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów.

Praca poza Politechniką Wrocławską

Zatrudnienie na etacie docenta (2005-2008) a następnie prof. nadzwyczajnego (2009-2010) w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie.

W latach 2004-2006 pracował na stanowisku profesora badawczego (directeur de recherche) w Institute FEMTO ST należącym do CNRS we Francji, a następnie na pozycji profesora w Université Franche Comte w Besancon.

W latach 1991-1994 został oddelegowany przez władze Politechniki Wrocławskiej do polsko-austriackiej spółki Kowary sp. z o.o., którą uratował przed bankructwem, pełniąc funkcję pełnomocnika Rektora, prezesa i jej likwidatora.

Był prezesem zarządu spółki Ophta-Lab, należącej do Fundacji Rozwoju

Politechniki Wrocławskiej i Państwowego Funduszu Osób Niepełnosprawnych.

Działał jako członek zarządu Dolnośląskiej Fundacji na Rzecz Zapobiegania Ślepotcie.

Z ramienia Akcji Wyborczej Solidarność działał w Komisji Gospodarki Komunalnej Rady Miasta Wrocławia. Jest członkiem-założycielem Polskiego Towarzystwa Techniki Sensorowych, gdzie od 1991 roku był członkiem zarządu a następnie prezesem zarządu.

Jest członkiem założycielem Krajowego Komitetu Technologii Kosmicznych NOT i wiceprezesem tego komitetu ds. naukowych.

Wyróżnienia i nagrody krajowe i zagraniczne: nagroda zesp. Ministra Edukacji Narodowej za osiągnięcia w pracach na rzecz przemysłu - 1997; Nagroda zesp. (II miejsce) za najlepszą pracę Europejskiej Konferencji Eurosensors (European International Sensors and Transducer Conference) - 1997 (Warszawa); Nagroda zesp. za najlepszy cykl artykułów SEP - 1997; Nagroda zesp. konferencji IMAPS (International Microelectronics Packaging Society Conference) - 1997; Nagroda zesp. konferencji ELTE (Technologie Elektroniczne) - 1997; Nagroda ind. (III miejsce) Europejskiej Konferencji Eurosensors za najlepszy referat naukowy - 1999 (Holandia); Nagroda zesp. za najlepszą pracę Mixdes - 2008; Nagroda zesp. za najlepszą pracę IMAPS - 2009; Nagroda zesp. za najlepszą pracę IVNC - 2009 (Japonia); Nagroda zesp. za najlepszą pracę FBMT (Fundamental Bases on Nanomechanics chemistry) - 2009 (Rosja); Nagroda zesp. (III miejsce) za najlepszą prezentację Europejskiej Konferencji Eurosensors 2010 (Austria), Nagroda zesp. (III miejsce) za najlepszą prezentację Europejskiej Konferencji

Eurosensors 2011 (Grecja) (jest jedynym poczwórnym laureatem nagrody Eurosensors); Nagroda zespołowa konferencji na temta mikro i nano systemów z konwersją energii Power MEMS 2016, 2022, IVNC 2017, ELTE 2018.

Jan Dziuban pełni wiele zaszczytnych funkcji na rzecz rozwoju badań naukowych. Był członkiem Komitetu Sterującego Konferencji Eurosensors (od 1994 do 2018, obecnie w Komitecie Honorowym). Jest członkiem Komitetu Konferencji Mikro/Nano Elektroniki Próżniowej IVNC (wybieranym co 4 lata od 1999); jest członkiem Komitetu Sterującego Konferencji Power MEMS (dwukrotny wybór od 2018).

Był członkiem Sekcji Nano i Mikro Technologii Komitetu Budowy Maszyn PAN, sekcji Mikrosystemów i Czujników Pomiarowych Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej, Sekcji Mikroelektroniki Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji. Był ekspertem w zakresie mikrosystemów gazowych firmy Schlumberger (F) (2000-2001); ekspertem Programu Foresight Polska 2020.

Prof. Jan Dziuban współorganizował Konferencję Eurosensors XI (1997) w Warszawie; był współprzewodniczącym konferencji IVNC (1999) w Darmstadt/Wrocław; współorganizatorem konferencji COE (Czujniki Optyczne i Elektroniczne) 1994, ELTE 2000; przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego konferencji COE'04 we Wrocławiu; członkiem Komitetów Naukowych konferencji COE; członkiem Komitetów Naukowych Szeregu światowych Konferencji Eurosensors; Konferencji IVMC (i IFES), konferencji Komercjalizacja Mikrosystemów COMS, konferencji na temat nano i mikrosystemów NAMIS, konferencji Power MEMS. Wielokrotnie obejmował funkcję recenzenta w komitetach nagród wiodących światowych konferencji i kongresów takich jak Eurosensors, Transducer, MicroTotal Analysis, IVNC, IFES.

Był przewodniczącym konferencji IVNC 2008 (Wrocław), Eurosensors 2012 w Polsce, vice-przewodniczącym konferencji COMS 2015, NAMIS 2015, oraz PowerMEMS 2019. Na szczególną uwagę zasługuje rozwijanie obecności polskiej myśli technologicznej w dziedzinie mikrosystemów analitycznych na kongresach Achema, gdzie często,

grupa prowadzona przez prof. Dziubana była jedynym wielokrotnym wystawcą i prezydentem naukowym na tym trudnym do przecenienia światowej rangi zdarzeniu gospodarczo-naukowym.

Prof. Jan Dziuban brał udział w powstawaniu i realizacji rozlicznych krajowych i międzynarodowych projektów naukowych w dziedzinie mikrosystemów. Do najważniejszych należą prekursorskie projekty naukowe z lat 90tych ubiegłego stulecia nad rodziną mikroczujników krzemowych ciśnienia zakończone wdrożeniem przemysłowymi w Zakładach TEWA-CEMI, oraz przełomowe projekty naukowe skupione na podstawach technologicznych mikrosystemów MEMS i lab-on-chip, w których powstały podstawy polskiej technologii takich mikrosystemów, wykorzystywanych w kraju i za granicą przez następne dekady. Niestety, pseudoreformy gospodarcze lat 90-tych zniszczyły polski przemysł mikroelektroniczny a produkcja czujników i rozwój produkcji innych mikrosystemów MEMS została tym samym uniemożliwiona. Między innymi z tych powodów prof. Dziuban skoncentrował się na współpracy zagranicznej.

Jako polski naukowiec, został zaproszony do dwóch projektów PR6 powiązanych z rozwojem mikrosystemów fluidycznych. Był to projekt NEPUMUC PR6 (lider ICT Fraunhofer Institute, Niemcy) – którego celem było opracowanie mikroreaktorów do wytwarzania materiałów wybuchowych (doktorat Pana Dra. inż. Pawła Knapkiewicza), wyniki wykorzystane w praktyce. W projekcie PR6 LABCARD PR6 (lider Ikerlan, Hiszpania) pełnił funkcję kierownika, wykonawcy prac realizowanych w Polsce (ITE Warszawa). Celem projektu było opracowanie pierwszego europejskiego instrumentu analitycznego wykorzystującego lab-chipy do szybkiej detekcji patogenów bakteryjnych metodą PCR-DNA. Pionierskie wyniki jakie tu otrzymano umożliwiły rozwój rodziny instrumentów, wykorzystujących lab-chipy polimerowe (projekt PR6 Lab-on-Foil), a następnie – niejako zwieńczenie linii badawczej – opracowanie instrumentu do prenatalnego wykrywania mutacji chorobotwórczych u płodów ludzkich metodą badania DNA wydzielonego z krwi

obwodowej ciężarnej (projekt PR7 Angel-Lab). Wyniki tych prac stały się znaczącym przyczynkiem w habilitacji pana prof. dra. hab. inż. Rafała Walczaka.

W 2004 prof. Dziuban zainicjował (wspólnie z prof. Ch. Goreckim z FEMTO ST CNRS) powstanie europejskiego projektu MAC-TFC (PR7 lider CNRS FEMTO ST Francja, 2008-2012). W projekcie tym, realizowanym z udziałem Wydziału Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej, kierował pracami nad mikrokomórkami optycznymi MEMS dla cezowego mikrozegara atomowego CSAC (Chip-Scale Atomoc Clock) wykorzystującego efekt CPT (Coherent Phase Trapping). Długoletni wysiłek badawczy doprowadził do powstania takiego zegara (prototyp w doktoracie pana dra inż. Piotra Dziubana), a technologia tzw. dispenzingu laserowego, „dopracowana” na Politechnice Wrocławskiej (2008-2016) istotna dla wytwarzania cezowych optycznych MEMS dla mikrozegarów atomowych jest obecnie stosowana przez ośrodki naukowe i produkcyjne na całym Świecie. Brak prawidłowych relacji pomiędzy ośrodkami naukowymi i przemysłowymi z obszaru tzw. Starej Unii Europejskiej uniemożliwił wdrożenie produkcyjne opracowanego w projekcie MAC-TFC europejskiego mikrozegara atomowego, co z ubolewaniem zauważono po prawie 20 latach od rozpoczęcia tego projektu w Komisji Europejskiej. Było by wspaniale gdyby taki temat podjęto ponownie w Polsce.

Kolejnym zagadnieniem zainicjowanym przez prof. Dziubana była koncepcja przenośnych, walizkowych, autonomicznych instrumentów analitycznych lab-on-chip do wykrywania ataków biologicznych na polu walki i w zagrożeniach terrorystycznych, koncepcja zrealizowana w projekcie na rzecz obronności SFORA, gdzie prof. Dziuban pełnił funkcję kierownika naukowego, koordynatora projektu i współrealizatora prac naukowych i rozwojowych. W badaniach otrzymano m.inn. super-wysokoczułą metodę elektroforezy kapilarnnej DNA umożliwiającą identyfikację pojedynczej mutacji DNA (doktorat pana dra. Inż. Wojciecha Kubickiego) Zakończony z sukcesem projekt otrzymał nagrodę

DEFENDER (2014), ale polskie czynniki wojskowe zmarnowały to osiągnięcie, mimo, że mogło ono rozwiązać problem masowych badań PCR-DNA w czasie epidemii COVID 19, a w dalszym ciągu jest ważne w rozpoznawaniu różnorodnych emisji zakażeń bakteryjnych i wiralnych u zwierząt dzikich i hodowlanych, pomijając aspekty bio-militarne.

Prof. Dziuban zainicjował i koordynował projekt ERA-NET, którego celem było opracowanie (wspólnie z CNRS LAAS w Tuluzie, Francja) mikrodozymetru MEMS do pomiaru wysokich dawek promieniowania jonizacyjnego, powyżej 10 MGray, co jest niezwykle istotne w awariach instalacji atomowych, atakach jądrowych oraz w konstrukcji stosów atomowych nowej generacji. Taki czujnik opracowano (doktorat pani dr inż. Izabeli Augustyniak).

Prof. Dziuban zainicjował i koordynował naukowo projekt przemysłowy tzw. szybkiej ścieżki NCBiR nad „inteligentnym” gazomierzem przydomowym (projekt na rzecz firmy ELEKTROMETAL w Cieszynie), zdolnym do metrologicznej oceny jakości dostarczanego gazu ziemnego. Prace nad wdrożeniem tego rozwiązania są kontynuowane.

W międzyczasie, prof. Dziuban zainicjował badania nad instrumentem lab-chip do metrologicznej oceny potencjału biologicznego oocytów i zarodków zwierząt hodowlanych w celu wspomoczenia techniki transferu zarodków, ważnej techniki wspomagania jakości stad hodowlanych. W powołanym z inicjatywy prof. Dziubana projekcie APOZAR POIG, opracowano nowatorski instrument oraz metodę tzw. pola jakości, umożliwiającą klasyfikację materiału na podstawie badań spektrum absorpcji VIS/NIR (doktorat pani dr inż. Patrycji Śniadek). Równolegle rozwinął badania nad rodziną instrumentów lab-chip do prowadzenia mikro-skalowych eksperymentów bio-medycznych z różnorodnymi technikami detekcji sygnałów biologicznych (doktorat pani dr inż. Agnieszki Krakos).

W 2015 roku prof. Dziuban wygłosił referat zaproszony na konferencji Fly me to Mars zorganizowanej we Wrocławiu,

gdzie przedstawił wizję rozwoju mikrosystemów analitycznych do zastosowań kosmicznych. Tezy wykładu zostały pozytywnie skomentowane przez między innymi Klub Jagielloński, w środowisku sektora kosmicznego zostały niezauważone.

W 2017 prof. Dziuban włączył się w prace nad Strategią Rozwoju Dolnego Śląska (2017), w wyniku inicjatywy jego oraz prof. Anny Chełmońskiej-Soyty z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu ujęto bio-medycynę mikrograwitacyjną. Nawiązał współpracę z trzema ośrodkami naukowymi z Wrocławia (Uniwersytet Przyrodniczy, Instytut Immunologii i Terapii Eksperymentalnej PAN, Akademia Medyczna) oraz z firmą SatRevolution w wyniku czego ustanowiono projekt naukowo-przemysłowy skupiony na opracowaniu pierwszego nanosatelitarnego, biomedycznego mini laboratorium kosmicznego wraz z przeprowadzeniem testu pracy w kosmosie na LOE. Projekt ten zaakceptowano w NCBiR. Prof. Dziuban pełni w nim rolę kierownika naukowego i wykonawcy badań. Celem szczegółowym projektu było przeprowadzenie wybranych badań cytometrycznych w automatycznym subminiaturowym laboratorium chipowym (pierwsze rozwiązania takiego laboratorium powstały w pracach własnych zespołu kierowanego przez prof. Dziubana, na terenie PWR), które to laboratorium jest tzw. payloadem nanosatelity lab-sat 3U. Ten projekt zakończono z sukcesem; w styczniu 2022 wprowadzono laboratorium na orbitę gdzie potwierdzono prawidłowe działanie sprzętu i przeprowadzono pierwszy europejski eksperyment biologiczny na orbicie z użyciem techniki nanosatelitarniej (doktorat pani dr inż. Adrian Graji). Na bazie tych rozwiązań jest obecnie realizowany projekt ESA budowy przenośnego walizkowego instrumentu kosmicznego do badań około-onkologicznych na pokładzie ISS. Trwają również prace nad koncepcją i realizacją zestawu instrumentów lab-chip do misji satelitarnej 2028 przygotowywanej wspólnie z Tajwanem.

W międzyczasie, prof. Dziuban wraz z zespołem rozpoczął prace nad rodziną mikrospektrometrów jonowo-atomowych MEMS w ramach współdziałania

z Narodowym Uniwersytetem w Singapurze NUS, przy polsko-singapurskim finansowaniu projektu na linii NCBiR-A*STAR, w którym opracowano subminiaturowy analizator gazów przemysłowych MEMS. To rozwiązanie, posiadające cechy nowości w wymiarze światowym, zostało dostrzeżone przez ESA. Zainicjowane przez prof. Dziubana starania zespołu o uzyskanie projektu ESA, którego celem było udoskonalenie spektrometru i wytworzenie wersji zdolnej do analizy mas ładunków jonów zostały uwieńczone sukcesem. Wynikiem jest subminiaturowy spektrometr mas jonów o cechach umożliwiających zastosowania kosmiczne. Obecnie trwają prace nad mikrospektrometrem mas jonów MEMS do badania termosfery na LOE od 500 do ok.1000 km, dla polskiego satelity pogodowego (lider Creotech, Warszawa) w ramach projektu Space Weather finansowanego przez ESA.

Równolegle prof. Dziuban zainicjował i koordynował prace nad wysokoczułym mikrospektrometrem jonowym MEMS do analizy metanu biotycznego na Marsie w ramach współdziałania z JPL (Jet Propulsion Laboratory). Otrzymano modele takich instrumentów, które spełniają założenia aplikacyjne, ale przyszłość projektu jest niepewna ze względu na znaczne ograniczenia współdziałania JPL z ośrodkami poza-amerykańskimi wprowadzone niedawno.

Zespół prowadzony przez prof. Dziubana opracował koncepcję instrumentu MEMS do analizy aerosoli siarkowych dla misji wenusjańskiej podjętej przez MIT (prof. Sara Seager). Uwarunkowania wewnątrz amerykańskie spowodowały przerwanie prac w MIT nad tą misją.

Rozwijana jest koncepcja autonomicznych instrumentów dla przyszłych misji księżycowych Artemis III i IV. Przewiduje się zbudowanie autonomicznego małego pojazdu księżycowego z trzema analizatorami MEMS składu gazów i ciał stałych (spektrometr jonowy z ablacją laserową, spektrometr masowy i analizator X-ray). Dzieło to będzie realizowane wspólnie z Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (CBK PAN) i – być może – z zespołami zagranicznymi.

Prof. Dziuban jest współautorem koncepcji polskiej misji nanosatellarnej na Marsa, był wśród założycieli konsorcjum złożonego z wiodących polskich uczelni wyższych oraz przedstawicieli polskiego i amerykańskiego sektora kosmicznego (była firma Virgin Orbit oraz JPL). Wysokozaawansowane prace nad misją zostały przerwane przez epidemię COVID19. Szkoda, bo taki „target” kosmiczny byłby integratorem i dźwignią rozwoju dla polskiego sektora kosmicznego oraz współpracy polsko-amerykańskiej, co wymaga bardzo poważnej zmiany wektorów politycznych i gospodarczych w Polsce.

Prof. Dziuban jest autorem rozlicznych prac naukowych (ponad 500 artykułów, około 1200 cytowań, posiada kilkanaście patentów, jest autorem uznanej na rynku międzynarodowym książki na temat roli bondingu w technice mikrosystemów (Bonding in microsystem technology, Springer) oraz współautorem kilku książek w dziedzinie. Wypromował wielu magistrów i doktorów, niektórzy z nich uzyskali samodzielność naukową i tytuły profesorskie.

Jest namiętym żeglarzem jachtowym i motorowodnym oraz skutnikiem jachtowym. Odnawia samochodowe i motocyklowe old-timery. A jak się nudzi w zimie, to buduje redukcyjne modele samolotów i łódek.

W podsumowaniu można stwierdzić, że prof. Jan Andrzej Dziuban jest w dużej twórcą techniki mikrosystemów, o znaczącym wkładzie w ujęciu krajowym i międzynarodowym w rozwój sensoryki zintegrowanej, mikro i nano technologii MEMS oraz w pionierskie działania w zakresie granicznych technologii do podwójnego zastosowania, w tym na Ziemi i w Kosmosie. Dla ilustracji powyższych stwierdzeń, w kilku tabelach zestawiono zbiorczo najważniejsze fakty z zawodowego życia prof. Dziubana.

W opinii Profesora wiele lat zmarnowano przez reżim Jaruzelskiego a także walkę ze skutkami tzw. reform Balcerowicza z lat 90-tych ubiegłego stulecia. Lata nie mogą być cofnięte. Gdzie byłaby Polska jeśli historia była łaskawszą dla nas wszystkich?

Tabela 1. Wybrane wyróżnienia i nagrody

1997 Nagroda Ministra Edukacji Narodowej za osiągnięcia w pracach na rzecz przemysłu **1997, 1999, 2010, 2011 (Warszawa, Twente, Ateny, Linz) 4 nagrody za najlepszą pracę Europejskiej Konferencji Eurosensors** (European International Conference on Sensors and Transducers) (J.A Dziuban jest jedynym czterokrotnym laureatem tej konferencji)
1997, Nagroda zesp. za najlepszy cykl artykułów w wydawnictwach Stowarzyszenia Elektryków Polskich SEP
1997, 2009 2 Nagrody zesp. Konferencji IMAPS (Intern. Conf. of Microelectronics Assembly and Packaging Society); **Nagroda zesp. konferencji ELTE** - 1997;
2008, 2010 2 Nagrody zesp. za najlepsze prace konferencji Mixdes (International Conference on Mixed Design and Integrated Circuits and Systems)
2009, 2017 (Osaka, Freiburg) 4 nagrody zesp. za najlepsze prace konferencji IVNC (International Vacuum Nanoelectronics Conference) (J.A Dziuban jest jedynym poczwórnym laureatem nagród IVNC)
2016, 2019, 2022 (Paryż, Kraków, Salt Lake City) 3 Nagrody zespołowe konferencji Power MEMS (International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation, Conversion and Application)
2017 Nagroda Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej 2017
2018 i 2019 Nagrody konferencji ELTE i COE, nagroda kongresu astronautycznego Paryż 2022
 Laureat nagrody DEFENDER XXI Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego

Tabela 2. Osiągnięcia

- Opracowanie **mikrochromatografu gazowego** (wspólnie z EMAG Katowice, finansowanie KBN)
- Opracowania mikroreaktorów do prowadzenia nitracji węglowodorów (PR6, wspólnie z Fraunhofer Institut ICT Niemcy)
- Opracowanie **europejskich instrumentów DNA rtPCR** do wykrywania patogenów żywności (PR6, wspólnie z IKERLAN, Hiszpania)
- Opracowanie **europejskiego mikrozegara atomowego MEMS z efektem CPT** (PR7, wspólnie z Universite Franche Comte i FEMTO ST Francja)
- Opracowanie **zestawu przenośnych laboratoriów genetycznych** do wykrywania **ataku biologicznego** (NCBiR wspólnie z WIHiE Warszawa/Puławy)
- Opracowanie **spektrometru masowego MEMS** do wykrywania skażeń industrialnych (NCBiR/A*STAR Singapore)
- Opracowanie **laboratorium bio/med. lab-chip dla nanosatelitów** z metodologią użytkowania (NCBiR, wspólnie z SatRev Wrocław)
- Opracowanie **spektrometru plazmowego MEMS** do wykrycia **metanu na Marsie** (razem z JPL NASA, Caltech CA USA)
- Opracowanie **spektrometru mas jonów MEMS** do zastosowań kosmicznych (projekt ESA)

Tabela 3. Projekty

- 1988-1992, 1994-1998** rodzina MEMS czujniki ciśnienia, akcelerometri (TEWA-CEMI)
- 1996-2004** mikro chromatograf gazowy do wykrywania atmosfery wybuchowej w kopalniach węgla kamiennego (CEMAG/ITE) TRL 6, zastosowano
- 1998-2004** Dwa fundamentalne projekty nad podstawami technologii MEMS
- 2004-2008** Europejski projekt NEPUMUC "On desk-top nitration micro-plant", TRL 8, wdrożenie
- 2004-2008** Europejski projekt Optolabcard "Portable instrument for fast detection of food bacterial pathogens by lab-chip DNA PCR", TRL 8 TRL 6, zastosowano
- 2008-2012** Europejski projekt MAC-TFC "MEMS micro atomic clock (CSAC) with CPT effect", TRL 8, produkt firmy Oriola tzw. dual frequency (2018)
- 2009-2013** Europejski projekt "Lab-on-foil on foil lab-chips and instruments for detection of DNA-related diseases", TRL 6
- 2014- 2016** Europejski projekt ERA-Net "MEMS radiation high dose dozimetry", TRL 6
- 2012-2016** Projekt SFORA "Hand-held portable instruments for detection of battlefield biological attacks" TRL 9
- 2013-2015** Europejski projekt Angel-Lab "On lab-chip station for detection of mutations of DNA of fossils", TRL 4
- 2016-2022** Polasko-Singapurski projekt "MEMS micorspectrometer for harsh environment application" TRL4
- 2019-2022** Polski projekt lab-sat CubeSat TRL9 (test kosmiczny)
- 2019** - PL/USA (JPL Caltech) projekt " Plasma MEMS biotic methane detector at Mars"zawieszony
- 2022-2024** ESA projekt "MEMS integrated space miniature ion mass spectrometer"
- 2024-** ESA projekt "Space Weather Satellite"

Sektor kosmiczny w systemie obrony i bezpieczeństwa państwa.

Analiza strategiczna i rekomendacje działań



Lech Majewski

Gen. broni w st. spocz. pil.

*Akademickie Centrum Analiz Strategicznych,
Akademia Sztuki Wojennej*

Wprowadzenie

W dobie wojen sieciocentrycznych i konfliktów hybrydowych przestrzeń kosmiczna została uznana przez NATO za piątą domenę operacyjną – obok lądu, morza, powietrza i cyberprzestrzeni. Opracowanie niniejsze przedstawia strategiczne znaczenie technologii satelitarnych dla współczesnych systemów obronnych i bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej, osadzając analizę w kontekście globalnej transformacji pola walki, gdzie decydującym czynnikiem przewagi staje się informacja.

Pomimo przyjęcia Polskiej Strategii Kosmicznej w 2017 r., zakładającej budowę narodowego potencjału kosmicznego do 2030 r., dotąd nie opracowano i nie wdrożono kluczowych instrumentów wykonawczych: Krajowego Programu Kosmicznego oraz Ustawy o działalności kosmicznej. Ministerstwo Rozwoju i Technologii nie przygotowało wymaganych aktów prawnych, nie stworzyło mechanizmów monitorowania realizacji PSK oraz nie zapewniło proporcjonalności między składkami Polski do ESA a wartością pozyskiwanych kontraktów. W efekcie udział krajowych firm w przetargach ESA jest jednym z najniższych w Europie. Problemem jest także brak koordynacji między MRiT, MON i MAP. Skutkuje to rozproszeniem środków, dublowaniem kompetencji i utratą synergii między sektorem cywilnym a obronnym.

W związku z tym rekomenduje się

utworzenie międzyresortowego centrum koordynacji polityki kosmicznej, wyposażonego w jasno określone kompetencje, budżet oraz mierniki efektywności. Niezbędne jest także opracowanie strategii rozwoju przemysłu obronnego, integrującej komponenty cybernetyczne i satelitarne. Wymaga to zacieśnienia współpracy międzynarodowej, zwłaszcza w ramach NATO w obszarze Space Domain Awareness (SDA) i Space Situational Awareness (SSA) oraz aktywnego włączenia Polski w rozwój Europejskiej Bazy Technologiczno-Przemysłowej Obrony (EDTIB), zgodnie z założeniami European Defence Industry Strategy.

Technologie satelitarne stanowią fundament nowoczesnej obronności – warunkują skuteczność systemów dowodzenia, reagowania kryzysowego i wczesnego ostrzegania. Inwestycje w krajowy potencjał kosmiczny należy zatem traktować nie jako element polityki przemysłowej, lecz jako inwestycję w bezpieczeństwo narodowe i suwerenność. Bez gruntownej reformy systemu zarządzania sektorem kosmicznym Polska nie będzie w stanie zapewnić sobie bezpieczeństwa w XXI w.

Wykorzystanie przestrzeni kosmicznej decyduje o rezultacie konfliktów zbrojnych, w których przewagę uzyskuje się nie liczbą czołgów czy rakiet, lecz zdolnością do szybkiego przetwarzania i przekazywania informacji. Z tego powodu państwa wysokorozwinięte traktują przestrzeń

kosmiczną jako strategiczne środowisko rywalizacji. O jej znaczeniu świadczy decyzja NATO z listopada 2019 r. o uznaniu kosmosu za piątą domenę operacyjną.

W obliczu obecnych napięć geopolitycznych i kryzysu klimatycznego rośnie zapotrzebowanie na technologie kosmiczne umożliwiające szybkie wykrywanie zagrożeń, ocenę skutków kryzysów i planowanie działań prewencyjnych. Kosmos staje się fundamentem współczesnej obronności – integralną częścią operacji bojowych, a zarazem gwarancją bezpieczeństwa w czasie pokoju.

Na orbitach znajduje się ok. 13 tys. satelitów. Malejące koszty wynoszenia w przestrzeń takich ładunków sprawiły, że prawie sto państw posiada własne satelity. Polska ma dwa należące do Centrum Badań Kosmicznych PAN, pozostałe do prywatnych przedsiębiorstw. Wartość globalnego rynku kosmicznego szacuje się na 450 mld euro. Jego roczne tempo wzrostu wynosi 15-20 procent i do 2040 r. sektor ten może osiągnąć wartość 1,8 bln dol., co czyni z niego jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi światowej gospodarki. Polski rynek kosmiczny ma wartość ponad 2 mld dolarów i skupia 300-400 firm oraz instytucji badawczych, które zatrudniają 12 tys. osób. Polskie przedsiębiorstwa opracowały już ponad sto technologii kosmicznych, a ich potencjał będzie rosł wraz z większym udziałem w programach UE i Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). W ten sposób na

naszych oczach dokonuje się kolejny etap rewolucji przemysłowej.

Dotychczasowe mechanizmy wsparcia państwa dla przemysłu obronnego, w tym kosmicznego, okazały się jednak niewystarczające. Brak klarownego podziału kompetencji, powielanie struktur, zawile procedury i rozmyta odpowiedzialność osłabiają sprawność systemu, a co za tym idzie obronność państwa. Luka pokoleniowa, niska identyfikacja z miejscem pracy i brak ciągłości instytucjonalnej potęgują potrzebę zmian deregulacyjnych.

Aby sprostać globalnym wyzwaniom, należy wprowadzić rozwiązania systemowe. Słabością polskiego sektora kosmicznego pozostaje brak spójnej strategii, centralizacji decyzyjnej i konsekwencji w działaniu. Siły Zbrojne RP powinny opracować strategię uwzględniającą operacyjną domenę kosmiczną, a Ministerstwo Rozwoju i Technologii – wspólnie z MON i MAP – przygotować strategię rozwoju przemysłu obronnego. Decyzje dotyczące sektora kosmicznego powinny być skupione w jednej instytucji dysponującej pełnymi środkami finansowymi na tego typu projekty, zarówno cywilne, jak i wojskowe.

Priorytetem rządu, zwłaszcza w świetle frontowego położenia Polski i trwającej wojny w Ukrainie, powinno być podniesienie gotowości obronnej poprzez wykorzystanie krajowego potencjału przemysłowego. Silny i konkurencyjny przemysł obronny, w tym kosmiczny – zapewniający Siłom Zbrojnym RP dostęp do nowoczesnej komunikacji i uzbrojenia – stanowi kluczowy element bezpieczeństwa państwa.

Najważniejszym organem w administracji rządowej odpowiedzialnym za definiowanie i realizację polskiej polityki kosmicznej jest Ministerstwo Rozwoju i Technologii (MRiT). Do jego zadań należy m.in. kształtowanie i prowadzenie polityki kosmicznej. W MRiT zadania związane z polityką kosmiczną realizował Departament Innowacji i Polityki Przemysłowej, a od grudnia 2025 r. przejął je Departamentu Przemysłu Obronnego, odpo-

wiedzialny za wspieranie rozwoju krajowego przemysłu obronnego, w tym sektora kosmicznego. Departament sprawuje merytoryczny nadzór nad Polską Agencją Kosmiczną (POLSA), prowadzi sprawy wynikające z członkostwa Polski w ESA oraz dotyczące polityki kosmicznej UE i Rzeczypospolitej Polskiej. Departament w realizacji tych zadań wspomaga POLSA, która od 20 lipca 2019 r. podlega ministrowi rozwoju i technologii.

W realizację Polskiej Strategii Kosmicznej zaangażowanych jest także szereg innych podmiotów państwowych, działających zarówno na poziomie strategicznym – w obszarze planowania i koordynacji polityki kosmicznej – jak i operacyjnym, obejmującym wdrażanie programów, prowadzenie badań oraz wspieranie przemysłu.

System instytucjonalny sektora kosmicznego w Polsce

Brak jest aktualnie jednego organu koordynacyjnego o realnych kompetencjach decyzyjnych dotyczących sektora kosmicznego. Polska dysponuje rozbudowanym systemem instytucji zaangażowanych w działalność kosmiczną. Oznacza to rozproszenie kompetencji w instytucjach państwowych w sprawach dotyczących kosmosu. Poniżej wskazano najważniejsze z nich.

- Ministerstwo Rozwoju i Technologii (MRiT): Koordynacja polityki kosmicznej państwa oraz m.in. nadzór merytoryczny nad POLSA, reprezentacja Polski w ESA i na forum UE, odpowiedzialność za Krajowy Program Kosmiczny, ustawę o działalności kosmicznej
- Ministerstwo Obrony Narodowej (MON): m.in. definiowanie potrzeb operacyjnych w zakresie satelitarnych systemów obserwacji, łączności, nawigacji, realizacja projektów bezpieczeństwa kosmicznego (np. Narodowy System Informacji Satelitarnej), współpraca z European Defence Agency (EDA) i NATO Space Centre, koordynacja wojskowego segmentu

programu Copernicus

- Ministerstwo Aktywów Państwowych (MAP): m.in. nadzór nad spółkami Skarbu Państwa realizującymi projekty kosmiczne i obronne (np. Creotech Instruments, PIAP Space, PIT-RADWAR, PGZ), polityka inwestycyjna i konsolidacyjna w obszarze technologii podwójnego zastosowania
- Ministerstwo Cyfryzacji: m.in. udział w systemie Galileo, w tym odpowiedzialność za krajowy segment PRS (Public Regulated Service), nadzór nad krajową infrastrukturą GNSS (Global Navigation Satellite System), współpraca w ramach programu GovSatCom (bezpieczna łączność rządowa)
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska: m.in. reprezentacja Polski w organizacji EU-METSAT (satelity meteorologiczne), wykorzystanie danych satelitarnych w polityce środowiskowej, klimatycznej i rolniczej
- Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji (MSWiA): M.in. zastosowanie systemów satelitarnych w bezpieczeństwie wewnętrznym, ratownictwie i zarządzaniu kryzysowym, koordynacja dostępu do sygnału PRS
- Ministerstwo Spraw Zagranicznych (MSZ): m.in. współpraca międzynarodowa w obszarze prawa kosmicznego i dyplomacji technologicznej, reprezentacja Polski w ONZ COPUOS (Komitet Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej), wsparcie negocjacji międzynarodowych dot. rejestracji i odpowiedzialności za obiekty kosmiczne
- Ministerstwo Nauki (MNiSW / dawniej MNiSzW): m.in. finansowanie badań naukowych w obszarze technologii kosmicznych, współpraca z NCBR, NCN i instytutami PAN, koordynacja uczestnictwa w programie Copernicus i projektach badawczych ESA
- Ministerstwo Finansów (MF): m.in. finansowanie udziału Polski w programach ESA i UE, rozliczenia składek członkowskich, nadzór

nad transferami technologii i kontrolą eksportu (wspólnie z MON)

- Ministerstwo Infrastruktury: m.in. odpowiedzialne za kwestie transportu satelitarne, infrastruktury naziemnej (stacje odbiorcze, łączność) oraz integrację systemów kosmicznych z infrastrukturą transportową
- Biuro Bezpieczeństwa Narodowego (BBN): m.in. ocena znaczenia strategicznego technologii kosmicznych dla bezpieczeństwa narodowego, współpraca z MON i MRiT przy projektach obronnych (np. w zakresie satelitów obserwacyjnych i komunikacyjnych).

Institucje rządowe i agencje:

- Polska Agencja Kosmiczna (POLSA) – kluczowa instytucja wykonawcza (koordynacja krajowej polityki kosmicznej, rejestr obiektów kosmicznych, doradztwo dla rządu, współpraca międzynarodowa)
- Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC) – kwestie licencjonowania i bezpieczeństwa wynoszenia obiektów oraz przestrzeni powietrznej bliskiej kosmosowi
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) – wykorzystanie danych satelitarnych w systemach obserwacji Ziemi i geolokalizacji
- Główny Urząd Statystyczny (GUS) – zbieranie danych dotyczących działalności sektora kosmicznego w Polsce.

Ciała doradcze i zespoły koordynacyjne:

- Międzyresortowy Zespół ds. Przestrzeni Kosmicznej
- Zespół Parlamentarny ds. Przestrzeni Kosmicznej.

Kluczowe instytucje naukowe i badawcze:

- Centrum Badań Kosmicznych PAN (CBK PAN) – ośrodek badawczy w zakresie technologii i instrumentów kosmicznych, uczestniczący w misjach ESA i NASA
- Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN – badania w dziedzinie astrofizyki, astronomii

obserwacyjnej i teorii kosmosu

- Komitet Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN – organ doradczy PAN w zakresie nauk kosmicznych i współpracy międzynarodowej
- Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) – finansuje projekty badawczo-rozwojowe w dziedzinie technologii kosmicznych i wspiera współpracę nauki z przemysłem.
- Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) – wspiera rozwój innowacyjnych przedsiębiorstw działających w branży kosmicznej.
- Instytut Lotnictwa – Sieć Badawcza Łukasiewicz (aktywny w projektach ESA, np. satelity PW-Sat, EagleEye).
- Instytut Geofizyki PAN, Instytut Niskich Temperatur PAN, Instytut Fizyki Jądrowej PAN – prowadzą badania w ramach projektów ESA i NASA.
- Centrum Astronomiczne UMK w Toruniu – uczestniczy w projektach radioteleskopowych i obserwacyjnych.
- Instytut Geofizyki PAN, Instytut Niskich Temperatur PAN, Instytut Fizyki Jądrowej PAN – uczestnictwo w projektach naukowych ESA i NASA.
- Centrum Astronomiczne UMK (Toruń) – uczestnictwo w projektach radioteleskopowych i obserwacyjnych.

Ośrodki akademickie prowadzące badania i kształcenie w zakresie inżynierii kosmicznej:

- Wojskowa Akademia Techniczna (WAT)
- Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH)
- Politechnika Warszawska (PW)
- Politechnika Wrocławska (PWR)
- Politechnika Gdańska (PG)
- Politechnika Łódzka (PŁ)
- Politechnika Rzeszowska
- Uniwersytet Zielonogórski
- Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Organizacje branżowe i sieci:

- Związek Pracodawców Sektora Kosmicznego (ZPSK)
- Klaster Inżynierii Kosmicznej i Satelitarnej przy Wojskowej Akademii Technicznej (WAT)
- Polska Platforma Technologii Kosmicznych
- Krajowy Komitet ds. Technologii Kosmicznych (SITK/NOT)

Technologie satelitarne w systemie obronnym RP

Technologie satelitarne odgrywają kluczową rolę w obszarach rozpoznania, komunikacji i systemach obrony przeciwrakietowej.

W zakresie rozpoznania umożliwiają zbieranie danych wywiadowczych w czasie rzeczywistym, co umożliwia m.in. monitorowanie ruchów wojsk, wykrywanie instalacji militarnych i analizowanie zmian w infrastrukturze przeciwnika. Współczesne satelity obserwacyjne oferują wysoką rozdzielczość obrazów oraz zdolność do działania w zróżnicowanych warunkach pogodowych.

W obszarze komunikacji satelity zapewniają stabilne, bezpieczne połączenia między jednostkami wojskowymi rozlokowanymi w różnych częściach świata. Gwarantują transmisję niezależną od infrastruktury naziemnej, co jest kluczowe w operacjach wojskowych prowadzonych w trudnych warunkach terenowych.

W obronnie przeciwrakietowej satelity pełnią funkcję systemów wczesnego ostrzegania przed atakami rakietowymi. Przykładem jest amerykański SBIRS (Space-Based Infra-red System), który wykrywa starty rakiet balistycznych, śledzi ich trajektorię oraz przekazuje dane do systemów obrony przeciwrakietowej, umożliwiając ich koordynację.

Wnioski i rekomendacje dotyczące priorytetów rozwoju technologii satelitarnych RP

W obszarze obserwacji i łączności satelitarnej Polska pozostaje w dużym stopniu zależna od podmiotów

zewnątrznych. Tylko na potrzeby Sił Zbrojnych RP wydatki związane z obserwacją Ziemi i łącznością satelitarną przekraczają 100 mln zł rocznie (kwota ta nie obejmuje kosztów dzierżawy pasm i sprzętu satelitarnego).

Polska powinna rozwijać własne satelity obserwacyjne o wysokiej rozdzielczości – zarówno optyczne (do obrazowania w widzialnym świetle), jak i radarowe, umożliwiające obserwacje niezależnie od warunków pogodowych. Zdolności w zakresie radarów syntetycznych (SAR) pozwolą na skuteczne śledzenie ruchów wojsk, wykrywanie zmian infrastrukturalnych i monitorowanie dużych obszarów.

Aby skutecznie wykorzystywać przestrzeń kosmiczną na potrzeby obronności, Polska powinna rozwijać własne technologie w zakresie satelitów rozpoznawczych, komunikacyjnych, systemów obrony przeciwrakietowej oraz monitorowania przestrzeni kosmicznej, przy jednoczesnym pogłębianiu współpracy w ramach NATO i UE. Kluczowe znaczenie ma także aktywne uczestnictwo w międzynarodowych projektach, które umożliwią dostęp do najnowszych technologii i systemów. Należy skoncentrować się na satelitach, które odpowiadałyby na potrzeby zarówno cywilne, jak i wojskowe.

W maju 2024 r. premier Donald Tusk poinformował o zatwierdzeniu pożyczki w wysokości 300 mln euro na rozwój polskiego komponentu satelitarnego do programu europejskiej tarczy antyrakietowej. Środki te mogą stanowić nie tylko impuls, lecz także realną dźwignię rozwoju krajowego przemysłu kosmicznego. Udział w inicjatywie europejskiej tarczy nie stanowi jednak alternatywy dla polskich programów obronnych, ale ich istotne uzupełnienie.

Pozyskiwanie i rozwój zdolności do obserwacji oraz śledzenia obiektów kosmicznych są kluczowe dla Sił Zbrojnych RP z uwagi na:

- rosnącą aktywność państw w przestrzeni kosmicznej, w tym wynoszenie obiektów o nieznanym przeznaczeniu,
- konieczność planowania misji

wynoszenia własnych satelitów, zwłaszcza w związku z budową krajowego systemu optoelektronicznej obserwacji Ziemi,

- potrzebę utrzymania świadomości sytuacyjnej nt. obiektów wchodzących w atmosferę ziemi w sposób niekontrolowany.

Siły Zbrojne RP powinny dysponować zdolnością wykrywania i śledzenia zagrożeń w przestrzeni powietrznej i kosmicznej. W tym celu konieczne jest posiadanie satelitów wyposażonych w detektory podczerwieni i systemy radarowe, umożliwiające monitorowanie przestrzeni kosmicznej oraz wykrywanie pocisków balistycznych. Technologie te stanowią podstawę systemów wczesnego ostrzegania i obrony przeciwrakietowej.

Kluczowe znaczenie ma współpraca z krajami, które rozwijają technologie SSA i dysponują zaawansowanymi systemami monitorowania przestrzeni kosmicznej, a także posiadają doświadczenie w systemach obrony przeciwrakietowej, takimi jak USA (program SBIRS). Znaczenie ma również współpraca z sojusznikami w ramach NATO, którzy rozwijają podobne zdolności. Należy także nawiązać współpracę z firmami zajmującymi się monitoringiem przestrzeni kosmicznej, jak Lockheed Martin czy Northrop Grumman.

Istotne jest także pogłębianie współpracy z partnerami europejskimi – Francją (programy satelitów obserwacyjnych), Włochami (CO-SMO-SkyMed), czy Niemcami (systemy radarowe). Dobrym przykładem współpracy z europejskimi partnerami jest uczestnictwo Polski w programach Copernicus i Galileo, wspierających obserwację Ziemi i nawigację satelitarną.

Polska powinna inwestować w technologie monitorowania przestrzeni kosmicznej, obejmujące rozwój własnych satelitów do wczesnego wykrywania zagrożeń w kosmosie, obserwacji kosmicznych śmieci, zarządzania ryzykiem kolizji oraz ochrony infrastruktury satelitarnej. Takie rozwiązania zwiększą bezpieczeństwo

narodowe, zapewniając ochronę zarówno systemów wojskowych, jak i cywilnych.

Rekomendacje priorytetów dla polskiego przemysłu obronnego

Skuteczna transformacja polskiego przemysłu obronnego wymaga spójnej strategii rozwoju integrującej aspekty militarne, gospodarcze i polityczne, opartej na trwałej współpracy międzynarodowej oraz wykorzystaniu krajowego potencjału technologicznego. Realizacja tych celów powinna obejmować:

- Powiązanie modernizacji z międzynarodową współpracą militarno-gospodarczą (UE, USA, Korea Półd.), uwzględniającą zarówno możliwości ekonomiczne kraju, jak i potrzeby obronne w perspektywie kilku dekad.
- Zapewnienie sieciocentryczności systemu kierowania i dowodzenia, umożliwiającej wykonywanie zadań w systemie narodowym i sojuszniczym.
- Zakup i eksploatacja uzbrojenia powinny gwarantować jego unifikację oraz być powiązane z prawem do modernizacji, serwisowania i rozwoju krajowego przemysłu obronnego.
- Budowanie konsensusu polityczno-gospodarczo-społecznego, opartego na merytorycznej debacie i porozumieniu pomiędzy Siłami Zbrojnymi, elitami rządzącymi i opozycją. Konsensus ten powinien zostać wzmocniony odpowiednimi regulacjami prawnymi.
- Wzmocnienie krajowych struktur przemysłowych i instytucjonalnych, w tym Polskiej Grupy Zbrojeniowej, Agencji Uzbrojenia oraz Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego (MSPO). Kluczowe jest także pozyskiwanie i transfer najnowszych technologii do polskiego przemysłu zbrojeniowego.
- Stabilizację struktur i planów modernizacyjnych oraz dobór kompetentnych liderów, zdolnych do

skutecznego kierowania transformacją.

Poradziecki sprzęt bojowy, nadal obecny w Siłach Zbrojnych RP, jest nieprzystosowany do współczesnych zagrożeń, a krajowy przemysł zbrojeniowy ma ograniczone możliwości jego modernizacji. Dlatego konieczna jest konsekwencja w realizacji powyższych działań. Polskie Siły Zbrojne dysponują solidną bazą i potencjałem ludzkim, budowanym przez lata, a ich rozwój powinien mieć charakter ponadpartyjny. Wymaga to wprowadzenia stabilnych, długofalowych rozwiązań prawnych gwarantujących ciągłość polityki obronnej państwa.

Na świecie trwa intensywny wyścig w dziedzinie rozwoju technologii kosmicznych i eksploracji przestrzeni kosmicznej, który staje się jednym z kluczowych elementów rywalizacji technologicznej, gospodarczej i militarnej między państwami. Już w 2024 r. globalna gospodarka kosmiczna osiągnęła wartość 546 mld dol., a prognozy wskazują, że do 2030 r. jej dochody przekroczą 1 bln dol.

Obecnie o pierwsze miejsce w obszarze technologii tego sektora konkurują Stany Zjednoczone i Chiny, ale rywalizacja toczy się także między Rosją, Japonią i Indiami. Ważnym jej kierunkiem jest eksploracja Księżyca i Marsa, gdzie znajdują się pokłady helu-3 oraz złoża metali ziem rzadkich, kluczowych dla nowoczesnych technologii energetycznych i elektronicznych. Przewagę strategiczną uzyskują państwa dysponujące rozwiniętym potencjałem badawczo-naukowym oraz zdolnościami wynoszenia obiektów w przestrzeń kosmiczną. Zdolność projektowania i produkcji satelitów, rakiet nośnych oraz systemów obserwacji Ziemi stanowi jeden z głównych wyznaczników potęgi technologicznej.

Większość współczesnego sektora kosmicznego pozostaje ściśle powiązana z wojskowością, obejmując technologie dual use. Największe potęgi militarne posiadają również rakiet balistyczne klasy ASAT (ang. Anti-Satellite Weapons), które mogą

przenosić ładunki jądrowe i są zdolne do niszczenia obiektów w przestrzeni kosmicznej, w tym satelitów przeciwnika. Zdolność do neutralizacji infrastruktury kosmicznej staje się jednym z filarów strategicznego odstraszania. Przewaga w przestrzeni kosmicznej bezpośrednio przekłada się na przewagę militarną, umożliwiając skuteczniejsze prowadzenie rozpoznania, komunikacji i precyzyjnego rażenia celów. Współcześnie obserwujemy kolejną fazę rewolucji technologicznej, której istotnym elementem jest militaryzacja przestrzeni kosmicznej.

9 czerwca 2025 r. sekretarz generalny NATO wezwał państwa członkowskie do czterokrotnego zwiększenia wydatków na obronę powietrzną, podkreślając, że zdolności kosmiczne, systemy obrony przeciwrakietowej i satelitarnej stanowią kluczowy element nowoczesnej architektury bezpieczeństwa Sojuszu.

Kierunki transformacji sił zbrojnych na świecie

Historia pokazuje, że ten, kto stawia na systemy sprawdzone w minionych konfliktach, nie odnosi sukcesów w przyszłych wojnach. Kto przygotowuje się do wojny, która już była – z góry skazuje się na porażkę. Przykłady Francji, Egiptu, Iranu, Armenii czy ostatnio Rosji pokazują, że przestarzałe doktryny i sprzęt, nawet jeśli jeszcze imponujące na papierze, nie są w stanie zapewnić przewagi w nowoczesnym środowisku walki.

Prawdziwa suwerenność militarna i technologiczna wymaga rozwijania własnych zdolności, a nie uzależniania się od importu. Jak zauważył prezydent Francji Emmanuel Macron podczas targów zbrojeniowych w Paryżu w 2022 r. „wydawanie dużych pieniędzy, by kupić gdzie indziej, nie jest dobrym pomysłem”. Już w 1991 r. prof. Paweł Bożyk w książce „Droga do nikąd” pisał, że kraj, który kupuje uzbrojenie, jest krajem zacofanym. Michèle Flournoy, była wicesekretarz obrony USA, podczas zeznań w Kongresie, współczesne kierunki modernizacji sił zbrojnych podsumowała krótko: „me-

gabity zamiast megaton”. Przyszłość należy do technologii cyfrowych, systemów autonomicznych i bezzałogowych, zdolnych do współpracy z satelitami, pilotowanymi samolotami, załogowymi okrętami i sztuczną inteligencją.

Flournoy wskazała trzy filary nowoczesnych sił zbrojnych:

Sieciocentryczny system kierowania i dowodzenia – połączenie wszystkich elementów pola walki w jedną spójną sieć informacyjną. Idea „łączenia wszystkiego ze wszystkim” jest już wdrażana w Stanach Zjednoczonych, które uczyniły z własnych sił zbrojnych poligon doświadczalny dla tego typu rozwiązań.

Systemy autonomiczne współpracujące z ludźmi – wdrażane we wszystkich rodzajach sił zbrojnych na coraz większą skalę.

Sztuczna inteligencja – klucz do analizy danych, które stały się dziś jednym z głównych pól walki.

Współczesne dyskusje o obronności coraz rzadziej dotyczą pojedynczych platform – czołgów, samolotów, rakiet czy nawet satelitów. Centrum zainteresowania przesuwają się na zintegrowane sieci, łączność, dane i potencjał technologii AI, która automatyzuje procesy decyzyjne, przewiduje zdarzenia, ocenia ryzyko i wspiera działania. Co jednak warto podkreślić, żaden, nawet najnowocześniejszy środek współczesnego pola walki, nie ma znaczenia, jeśli nie jest wpięty w odporną na zakłócenia, bezpieczną i przepustową sieć informatyczną. Właśnie ta sieć – a nie pojedynczy system uzbrojenia – decyduje o przewadze militarnej w XXI w.

Ogólne zasady procesu budowy polskiego sektora kosmicznego

Aspekty strategiczne

- Proces budowy polskiego sektora kosmicznego powinien być determinowany przez międzynarodową współpracę militarno-gospodarczą, przy jednoczesnym uwzględnieniu krajowych możliwości technologicznych i finansowych oraz potrzeb

obronnych w perspektywie kilku dekad.

- Należy jednak unikać nadmiernego uzależnienia od partnerów zagranicznych – model współpracy, w którym polskie podmioty pełnią wyłącznie rolę podwykonawców, prowadzi do utraty niezależności technologicznej i odpływu specjalistów za granicę.
- Polska powinna zachować zdolność równoległego działania w systemie narodowym i sojuszniczym, przy dążeniu do unifikacji sprzętu i interoperacyjności.
- Aspekty obronne i technologiczne
- Zaspokajanie potrzeb obronności i bezpieczeństwa narodowego powinno odbywać się poprzez wykorzystanie najnowszych dostępnych technologii satelitarnych.
- Eksploatacja sprzętu powinna być połączona z prawem do jego serwisowania, modernizacji i dalszego rozwoju, co wzmacnia kompetencje krajowego przemysłu.
- Błędem jest koncentrowanie się na jednej technologii – należy równolegle rozwijać kilka domen, w tym technologie kosmiczne, systemy sieciocentryczne dowodzenia i autonomiczne środki działania.
- Konieczne jest promowanie rozwoju nowych technologii kosmicznych oraz uświadamianie opinii publicznej znaczenia przestrzeni kosmicznej jako nowej domeny operacyjnej.
- Kierunki instytucjonalne i organizacyjne
- Niezbędne jest powołanie spójnej struktury organizacyjnej koordynującej krajową działalność kosmiczną.
- Działalność kosmiczną należy traktować jako narzędzie wspierania innowacji, rozwoju gospodarki i podnoszenia sprawności instytucji państwowych.
- Kluczowe znaczenie ma współpraca administracji państwowej, nauki i przemysłu, a także zwiększanie innowacyjności i konku-

rencyjności przedsiębiorstw poprzez rozwój technik satelitarnych i technologii kosmicznych.

- Wymagana jest stabilność finansowania oraz zwiększenie nakładów na badania kosmiczne, traktowanych jako inwestycja strategiczna.

Aspekty społeczne i edukacyjne

- Konieczne jest zapewnienie szerokiego konsensusu politycznego, gospodarczego i społecznego wokół rozwoju sektora kosmicznego.
- Potrzebna jest merytoryczna debata publiczna i trwałe porozumienie między siłami zbrojnymi, elitami rządzącymi i opozycją – najlepiej w formie prawnie ukształtowanego zobowiązania.
- Należy stworzyć system identyfikacji i wspierania talentów w obszarze technologii kosmicznych – Polska ma potencjał, by w tym zakresie stać się liderem, lecz obecnie działa w tym kierunku zbyt słabo.

Nadrzędnym celem polskiej polityki kosmicznej powinno być uzyskanie autonomii w pełnym zakresie eksploracji kosmosu. Zdolność do samodzielnego projektowania, budowy i zarządzania satelitami daje nie tylko większe bezpieczeństwo, ale też realny wpływ na własne interesy w nowym porządku geopolitycznym na świecie. Brak planowania strategicznego, rozproszona struktura polskiego sektora kosmicznego oraz sposób jego zarządzania uniemożliwia osiągnięcie realnego sukcesu. Wymagane jest silne wsparcie organizacyjne, zadaniowe i finansowe ze strony państwa.

Kompleksowe uwzględnienie przedstawionych rozwiązań zapewni odbudowę ciągłości strategicznej, powrót do państwowo-strategicznego podejścia do spraw obronności i bezpieczeństwa narodowego, w tym istotnej roli i miejsca polskiego sektora kosmicznego. Należy w większym stopniu skupić się na uzyskaniu auto-

nomicznych zdolności, gotowości do produkcji oraz krajowych zdolności uzupełniania potrzeb.

W trudnej sytuacji geopolitycznej, gdy Polska jest zagrożona agresją ze strony Rosji, powinien powstać osobny resort obejmujący potencjał zbrojeniowy całego państwa. Konieczna jest konsolidacja wysiłku w zakresie zarządzania i kierowania. Polityka tego resortu, wypracowana we współpracy z MRiT, MON, MAP i innymi resortami na podstawie strategii bezpieczeństwa państwa, Polityczno-Strategicznego Dyrektywy Obronnej (obecnie nieaktualne), decydowałaby o wymaganiach wobec przemysłu w sprawach innowacji, ich wdrażania i produkcji. Państwowe i prywatne firmy powinny ze sobą współpracować. Inspiratorem rozwiązań służących wojsku powinien być Sztab Generalny WP, który opracowuje plany rozwoju SZ RP. Na tej podstawie przemysł powinien urealnić programy, tak aby spełniały określone wymagania.

SZ powinny definiować potrzeby. Projekty i zdolności przemysłowe powinny być kompatybilne z wieloletnimi programami i planami rozwoju sił zbrojnych.

Zmianie powinna ulec także promocja polskiego przemysłu obronnego. Obecnie bardzo rozdrobniona i podzielona na wiele instytucji, za którą nikt nie bierze odpowiedzialności. Promocją powinno kierować państwo poprzez nowo utworzony resort.

Nowy proponowany system będzie gwarantował brak wyścigu o to, kto jest ważniejszy – to sprawa ponad podziałami. Najważniejsze jest zagwarantowanie bezpieczeństwa państwa. Dlatego też decyzje najważniejsze powinny być podejmowane na poziomie państwa, a nie resortów. ◀

Materiały źródłowe

Dokumenty strategiczne i akty prawne

- [1] Uchwała nr 6 Rady Ministrów z dnia 26 stycznia 2017 r. w sprawie przyjęcia Polskiej Strategii Kosmicznej, M.P. z 2017 r. poz. 203.

- [2] Ustawa z dnia 26 września 2014 r. o Polskiej Agencji Kosmicznej (Dz.U. 2014 poz. 1331, t.j. Dz.U. z 2020 r. poz. 1957).
- [3] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 23 listopada 2021 r. w sprawie statutu Polskiej Agencji Kosmicznej.
- [4] Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii. (2021). Krajowy Program Kosmiczny na lata 2021–2026. Warszawa.
- [5] Ministerstwo Rozwoju i Technologii. (2025). IGNIS – pierwsza polska misja na Międzynarodową Stację Kosmiczną. Portal Gov.pl.
- Raporty krajowe i publikacje instytucjonalne*
- [1] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2021). Krajowy Program Kosmiczny to priorytet POLSA.
- [2] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2021). Krajowy Program Kosmiczny w prekonsultacjach społecznych.
- [3] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2023). Dane satelitarne.
- [4] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2024). POLSA od dekady buduje polski sektor kosmiczny.
- [5] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2025). Katalog podmiotów sektora kosmicznego.
- [6] Polska Agencja Kosmiczna (POLSA). (2025). Ogólnopolski program edukacyjny dla misji IGNIS.
- [7] POLSA. (2021). Analiza sektora kosmicznego wybranych państw. Warszawa.
- [8] Najwyższa Izba Kontroli (2020). Rozwój sektora publicznego. Informacja o wynikach kontroli.
- [9] PSPA. (2023). Przegląd realizacji wskaźników Polskiej Strategii Kosmicznej.
- [10] Polski Instytut Ekonomiczny (2024). Gospodarka kosmiczna. Warszawa.
- [11] PARP. (2023). Sięgając gwiazd – polski sektor kosmiczny.
- [12] Startup Poland & PFR. (2022). Raport „Kosmos 2022”.
- Publikacje naukowe i specjalistyczne*
- [1] Kłoda, M. T., Malinowska, K., Malinowska, B., Polkowska, M., Polskie prawo kosmiczne – wyzwania i kompromisy. „Przegląd Sejmowy”, 3(170), 2022.
- [2] Malinowska, K., Brodecki, Z., Regulacja odpowiedzialności za szkodę i jej ubezpieczenia w przyszłym polskim ustawodawstwie kosmicznym. „Państwo i Prawo”, 2(876), 2019.
- [3] Myszone-Kostrzewa, K., Mreńca, E., Zientarski, P. B. (red.), Prawne aspekty działalności kosmicznej. Warszawa, 2019.
- [4] Polkowska, M., New Space – problemy prawne i gospodarcze oraz kwestie bezpieczeństwa. „Roczniki Nauk Prawnych”, 2020.
- [5] Oniszczenko, L., Rozwój polskiego sektora kosmicznego: bariery postępu, 2021.
- [6] Muzyka, K., Górniczy von Neumanna – surowce kosmiczne, roboty, industriaforming. [w:] Grabowska-Derlatka K., Gomułka J., Palm R. (red.), PhilosophyPulp, t. 2, Kraków: Li-bron, 2022.
- [7] Szocik, K. i in., Future space missions and human enhancement: Medical and ethical challenges. „Future”, nr 133, 2021.
- [8] Wrzecionarz, P., „Geneza i cel działania Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych”, Przegląd Komunikacyjny. Technologie Kosmiczne. Nr 7-8, 2025.
- Źródła międzynarodowe*
- [1] ASD-Eurospace., The European Space Industry in 2021. Facts & Figures Report, 2022.
- [2] Citi GPS., Global Perspectives & Solutions. Space Economy 2040, 2022.
- [3] Colvin, T., Karcz, J., Wusk, G., Cost and Benefit Analysis of Orbital Debris Remediation. NASA Office of Technology, Policy and Strategy, 2023.
- [4] ESA, Trends in the Space Sector 2023, 2023.
- [5] Euroconsult, Space Economy Report 2022, 2023.
- [6] Euroconsult, New Historic High for Government Space Spending, 2023a.
- [7] European Investment Bank, The Future of the European Space Sector, 2019.
- [8] European Parliament, Space Market – How to Facilitate Access and Create an Open and Competitive Market?, 2021.
- [9] European Parliament, EU Space Policy: Boosting EU Competitiveness and Accelerating the Twin Transition, 2022.
- [10] NASA, International Space Station, 2023.
- Źródła prasowe i portale branżowe*
- [1] Sabak, J., Rozpoznanie i łączność satelitarna dla Polski. W kraju są duże możliwości, potrzebne są decyzje. Portal Obronny, 2024, 26 kwietnia.
- [2] Space24, Polska firma wkracza na afrykański rynek kosmiczny, 2024, 8 lutego.
- [3] Idea 3W, Polska na orbicie sukcesu – jak polskie firmy rozwijają technologie kosmiczne?, 2023, 29 września.
- [4] Urania – Postępy Astronomii. Polskie satelity SatRev wyruszają w kosmos ze Space-port Cornwall, 2024.
- Strony instytucjonalne i bazy danych*
- [1] Polska Agencja Kosmiczna – <https://polsa.gov.pl>
- [2] Ministerstwo Rozwoju i Technologii – <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia>
- [3] Najwyższa Izba Kontroli – <https://www.nik.gov.pl>
- [4] Centrum Badań Kosmicznych PAN – <https://cbkpan.pl>
- [5] Krajowy Punkt Kontaktowy – <https://www.kpk.gov.pl>
- [6] ESA – <https://www.esa.int>
- [7] NASA – <https://www.nasa.gov>
- [8] Krajowy Komitet ds. Technologii Kosmicznych <https://kktk.space>

Nowa dekada polskiej obecności w kosmosie



Grzegorz Wrochna

Prof. dr hab.

Prezes Polskiej Agencji Kosmicznej
w latach 2021-2025

W Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA), zawsze z entuzjazmem wkraczaliśmy w nową dekadę z ambitnymi planami rozwoju, aby umocnić pozycję Polski na arenie międzynarodowej oraz przyspieszyć postęp technologiczny i gospodarczy w kraju. W dobie rosnącej konkurencji w sektorze kosmicznym, jako kluczowa instytucja, z zaangażowaniem pracowaliśmy nad budowaniem infrastruktury kosmicznej, rozwijaniem innowacyjnych technologii oraz wspieraniem współpracy międzynarodowej. Nasze priorytety na nadchodzące lata powinny, moim zdaniem obejmować m.in. rozwój zaawansowanych systemów satelitarnych, udział w eksploracji kosmosu, zwiększenie bezpieczeństwa na orbicie oraz budowanie zaplecza kadrowego dla sektora kosmicznego.

Polska Agencja Kosmiczna (POLSA) powstała w 2014 roku, by wspierać rozwój krajowego sektora kosmicznego i integrować go z międzynarodowymi programami. W ciągu dekady Polska stała się aktywnym uczestnikiem globalnych inicjatyw, podpisując porozumienia m.in. z ESA, NASA oraz agencjami z Francji, Włoch, USA i Izraela, a dołączenie do Artemis Accords w 2021 roku otworzyło Polsce drogę do udziału w misjach eksploracji Księżyca.

Dotychczasowym efektem działań Polskiej Agencji Kosmicznej był dynamiczny rozwój branży kosmicznej w Polsce, która obecnie liczy ponad 400 podmiotów, w tym firm, instytutów badawczych i uczelni wyższych. Ponad 150 z nich bierze bezpośredni udział w projektach Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), a wartość kontraktów to ponad 140 mln euro. Łączne zatrudnienie w krajowym sektorze kosmicznym szacowane jest na blisko 12 tysięcy etatów w ramach kilkuset podmiotów gospodarczych, podczas gdy w roku 2020 było ich zaledwie 331.

POLSA również aktywnie uczestniczy w międzynarodowych projektach dotyczących bezpieczeństwa kosmicznego, robotyki orbitalnej i komunikacji satelitarnej. Współpracuje z ESA w ramach programu Space Situational Awareness (SSA), mo-

nitorując przestrzeń wokół Ziemi, bierze udział w projektach takich jak ENTRUSTED, który wspiera rozwój bezpiecznej łączności satelitarnej dla administracji oraz PERASPERA, koncentrującego się na robotyce kosmicznej. W najbliższych latach można przewidywać intensywny rozwój misji satelitarnych i systemu bezpieczeństwa kosmicznego i osiągnięcie znaczącego udziału w europejskim rynku kosmicznym.

Systemy satelitarne: filar technologicznej niezależności Polski

W ostatnich latach intensywnie pracowaliśmy nad jednym z kluczowych projektów - rozbudową Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej (NSIS), który powinien stać się fundamentem nowoczesnego zarządzania danymi satelitarnymi w Polsce, spełniającym kilka istotnych funkcji. Przede wszystkim umożliwi nam monitorowanie zmian środowiskowych oraz analizę zasobów naturalnych, co uznajemy za niezbędne w kontekście transformacji energetycznej i zrównoważonego rozwoju. Dodatkowo, NSIS będzie odgrywać kluczową rolę w zarządzaniu kryzysowym, dostarczając precyzyjnych danych na temat katastrof naturalnych, takich jak pożary, powodzie czy zjawiska atmosferyczne, co znacząco poprawi efektywność naszej odpowiedzi w sytuacjach awaryjnych.

W ramach rozbudowy, można uruchomić ponad 70 nowych satelitów, które będą wykorzystywane do obserwacji Ziemi, nawigacji oraz komunikacji. Satelity te odegrają kluczową rolę w realizacji krajowych celów technologicznych, takich jak rozwój usług geoprzestrzennych, monitorowanie terenów rolniczych czy wsparcie dla sektora obronnego. Rozwój systemów satelitarnych przyczyni się do wzmocnienia niezależności Polski w pozyskiwaniu danych, co można uznać za niezwykle istotne w kontekście globalnych wyzwań związanych z zarządzaniem zasobami naturalnymi oraz ochroną środowiska.

Astronauta na ISS: przełomowy moment dla Polski

Rok 2025 już w tej chwili jest przełomowym dla polskiego sektora kosmicznego – już wiosną polski astronauta, Sławosz Uznański – Wiśniewski, poleciał na Międzynarodową Stację Kosmiczną (ISS) w ramach misji Ignis. Misja ta nie tylko symbolizuje postęp technologiczny i zaawansowanie polskiego przemysłu kosmicznego, ale także stanowi unikalną okazję do realizacji licznych badań naukowych. W jej trakcie zaplanowane było przeprowadzenie kilkanaście eksperymentów obejmujących takie dziedziny jak biologia, fizyka, medycyna czy inżynieria materiałowa. Wyniki tych badań znajdują zastosowanie nie tylko w przemyśle kosmicznym, lecz również na Ziemi, m.in. w medycynie regeneracyjnej i rozwoju nowych materiałów.

Nasze przygotowania do misji na ISS były kompleksowe i obejmowały zarówno ścisłą współpracę z międzynarodowymi agencjami, takimi jak Europejska Agencja Kosmiczna ESA czy amerykańska NASA, jak i intensywne działania edukacyjne i promocyjne. Z zaangażowaniem organizowaliśmy liczne warsztaty, prelekcje oraz wydarzenia edukacyjne, które miały na celu przybliżenie młodzieży zagadnień związanych z eksploracją kosmosu. Z satysfakcją obserwujemy też, jak tego typu inicjatywy budują nie tylko świadomość społeczną, ale również inspirują młode pokolenie do wyboru kariery w sektorze kosmicznym.

Eksploracja Księżyca i Marsa: globalne ambicje

POLSA aktywnie uczestniczyła także w międzynarodowych inicjatywach dotyczących eksploracji Księżyca i Marsa. Jedną z nich jest Program Artemis, którego celem jest ustanowienie stałej bazy na Księżycu oraz testowanie technologii potrzebnych do dalszej eksploracji. Program otwiera przed nami szereg możliwości współpracy na globalną skalę. Jako sygnatariusz

Artemis Accords, z ogromną nadzieją budujemy relacje z liderami w dziedzinie badań kosmicznych, a co za tym budujemy możliwość przyczynienia się do rozwoju kluczowych technologii.

Rolą polskich firm i instytucji badawczych w tych projektach, będzie m.in. dostarczanie zaawansowanych instrumentów badawczych, oprogramowania do analizy danych oraz systemów robotycznych. Z satysfakcją obserwujemy, jak polskie firmy, zaangażowane w rozwój technologii kosmicznych, uczestniczą w projektach związanych z budową infrastruktury na Księżycu, co w ostatnich latach zyskało na znaczeniu z powodu wzrastającego zainteresowania tym ciałem niebieskim. Udział w projektach eksploracyjnych również w przypadku Marsa stanowi kluczowy krok w kierunku poszukiwania życia na innych planetach, z zamiarem testowania technologii umożliwiających przyszłe załogowe misje.

Bezpieczeństwo kosmiczne jako priorytet

W obliczu rosnącej liczby satelitów na orbicie, zapewnienie bezpieczeństwa w przestrzeni kosmicznej powinno być jednym z kluczowych priorytetów. Wspólnie z konsorcjum EUSST POLSA pracowała nad systemami monitorowania ruchu kosmicznego oraz ostrzegania przed potencjalnymi kolizjami. Nasz System POLON, będący narzędziem do analizy danych i śledzenia aktywnych satelitów oraz odpadów kosmicznych, pozwoli nam na lepsze zarządzanie ruchem na orbicie i gradacji alertów dotyczących zbliżających się zagrożeń. Bezpieczeństwo kosmiczne ma kluczowe znaczenie dla przyszłych misji badawczych i komercyjnych, a rozwój technologii unikania kolizji oraz zarządzania odpadami kosmicznymi staje się warunkiem sine qua non dla długotrwałego użytkowania przestrzeni kosmicznej. Dzięki zaangażowaniu w te projekty, Polska może odgrywać istotną rolę w globalnych wysiłkach na rzecz ochrony zasobów kosmicznych.

Edukacja: inwestycja w przyszłość

W Polskiej Agencji Kosmicznej od lat uznajemy rozwój edukacji oraz inspirowanie młodych ludzi za kluczowy element naszych działań. Dlatego z tak ogromnym entuzjazmem realizowaliśmy programy takie jak AI Worden 'Endeavour' Scholarship, które oferują młodzieży i studentom

możliwość zdobywania praktycznych umiejętności oraz uczestnictwo w międzynarodowych projektach. Dzięki tym inicjatywom młodzi Polacy mają szansę pracować nad nowymi technologiami, rozwijać swoje kompetencje w dynamicznie rosnącym sektorze kosmicznym oraz zyskać doświadczenie, które będzie nieocenione na rynku pracy.

Organizowaliśmy również różnorodne wydarzenia edukacyjne, takie jak hackathony, konkursy dla studentów czy warsztaty technologiczne. Nasze inicjatywy promują kreatywność i innowacyjność, zachęcając młodzież do podejmowania wyzwań w dziedzinach takich jak inżynieria, programowanie czy analiza danych. Z satysfakcją obserwujemy, jak hackathony, takie jak NASA Space Apps czy CASSINI Hackathon, angażują uczestników w poszukiwanie rozwiązań dla realnych problemów, umożliwiając młodym ludziom zdobywanie doświadczenia i rozwijanie umiejętności praktycznych.

Wzmocnienie współpracy z ESA

Intensywnie pracowaliśmy nad zacieśnieniem współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną, co uznajemy za kluczowe dla rozwoju polskiego sektora kosmicznego. Z dumą realizowaliśmy programy trainee, takie jak Polish National Trainee Program, które dają młodym Polakom szansę na zdobycie cennego doświadczenia w międzynarodowej organizacji, a także umożliwiają współpracę z wiodącymi instytucjami badawczymi. W naszej ocenie taka współpraca przyczynia się do efektywnego transferu wiedzy oraz technologii, co jest niezbędne w kontekście innowacyjności i konkurencyjności sektora kosmicznego.

W POLSA staraliśmy się również aktywnie uczestniczyć w międzynarodowych badaniach technologicznych, wspierając rozwój projektów badawczych oraz inicjatyw przyczyniających się do rozwoju technologii. Z satysfakcją obserwujemy, jak udział w tych globalnych projektach wpływa na kształtowanie polskiego sektora kosmicznego, umożliwiając wzajemną wymianę doświadczeń oraz budowę silnych relacji z innymi krajami i instytucjami.

Zmiana podejścia do nauczania przedmiotów ścisłych i praca w sektorze

Przez minioną dekadę szczególną uwagę zwracaliśmy na innowacyjne podejście

do nauczania przedmiotów ścisłych. Dlatego angażowaliśmy się w projekty takie jak Future Space oraz wydarzenia STEM (Nauka, Technologia, Inżynieria, Matematyka), podkreślając znaczenie wprowadzenia nowoczesnych metod dydaktycznych w polskich szkołach. Dzięki angażującym i inspirującym programom, które tworzymy w ramach naszych działań, młodzież ma możliwość poznania i zrozumienia podstawowych zagadnień związanych z naukowymi badaniami oraz technologiami kosmicznymi. A to ma fundamentalne znaczenie dla ich późniejszej decyzji o kierunku studiów.

Promowanie kariery w sektorze kosmicznym powinno być jednym z naszych ważnych elementów polityki edukacyjnej. W tym celu należy popierać różnorodne inicjatywy, takie jak organizacja dni otwartych, a także programów stypendialnych. W ten sposób młodzi ludzie zyskują szansę na kształtowanie swoich ścieżek zawodowych oraz bezpośrednie połączenie z międzynarodowymi projektami a także dają możliwość uczestnictwa w praktykach w agencjach kosmicznych.

Kierunki działania na przyszłą dekadę

W POLSA od lat skutecznie łączymy działania edukacyjne, rozwój technologii oraz międzynarodową współpracę, co w naszej ocenie jest fundamentalne dla polskiego sektora kosmicznego. Nasze ambitne projekty, takie jak rozwój NSIS, eksploracja Księżyca i Marsa czy wysłanie pierwszego polskiego astronauty na ISS, stają się sygnałem dla młodych ludzi, aby zainwestowali w swoją przyszłość. Dzięki naszej wytężonej pracy nie tylko wprowadzamy Polskę na stałą orbitę globalnych wysiłków eksploracyjnych, ale także rozbudowujemy ekspertyzę polskich podmiotów w kraju.

Inwestycje w naukę i edukację należy postrzegać nie tylko jako niespotykaną szansę, ale także jako obowiązek, który ma szansę przynieść przywileje całemu społeczeństwu. Z dużą satysfakcją obserwujemy, jak wzrost znaczenia sektora kosmicznego przynosi korzyści nie tylko w aspekcie naukowym, ale także gospodarczym, dając impuls do tworzenia nowych miejsc pracy oraz innowacji technologicznych. ◀

Forum Innowacji, grudzień 2025



Dr inż. Robert Rajkowski wraz z Arturem Chmielewskim podczas Forum Innowacji

Dolnośląskie Forum Innowacji jest aktualnie przestrzenią do dialogu dla administracji, biznesu, nauki oraz trzeciego sektora, w której wypracowuje się najkorzystniejsze dla regionu rozwiązania wspierające innowacyjność przedsiębiorstw i rozwój kluczowych segmentów gospodarki. Jest to ważne Forum zmieniającej się rzeczywistości gospodarczej. Transformacja branży „automotive”, która jest jedną w najważniejszych będzie przyspieszać. Sektor kosmiczny może rozwinąć się na jej miejsce.

W dniach 3-4 grudnia 2025 we Wrocławiu na terenie Portu Lotniczego Wrocław odbyło się Dolnośląskie Forum Innowacji poświęcone Technologiom Kosmicznym i Obronności.

Tematyka poświęcona była potencjałowi branży kosmicznej i obronnej jako głównym motorom napędowym dla Dolnego Śląska. Forum było miejscem spotkań liderów przemysłu, nauki, instytucji i startupów oraz okazją do nawiązania współpracy i wymiany doświadczeń.

Podczas dwudniowej konferencji podnoszono zagadnienia przyszłości aerospace, space-tech i defence-tech, oraz roli państwa w rozwoju nowoczesnych technologii branży kosmicznej koncentrując się oczywiście na możliwościach i dokonaniach Dolnego Śląska.

Forum odbyło się pod Patronatem honorowym:

- Ministra Obrony Narodowej
- Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego
- Polskiej Agencji Kosmicznej

Partnerami Forum byli:

- Zakład Narodowy im. Ossolińskich / Ossolineum
- Dolnośląski Park Innowacji i Nauki

Wzorem pracy [2] dotyczącej aktywności w zakresie technologii kosmicznych w roku 2024, poniżej przedstawia się w skrócie program Forum Innowacji.

DZIEŃ 1

Sesja 1: Otwarcie i rola państwa

„Z Dolnego Śląska w świat” – Gala wręczenia nagród konkursu województwa dla innowacyjnych firm planujących ekspansję zagranicą

Z Dolnego Śląska w kosmos

- Jędrzej Kowalewski (Scanway)
- prof. Arkadiusz Wójs (Rektor Politechniki Wrocławskiej)
- moderator: Maciej Myśliwiec (Space Agency)

Poruszano zagadnienia współpracy nauki i sektora kosmicznego wskazując na konieczność ścisłej współpracy także w zakresie przygotowania odpowiednich kadr.

Panel otwierający: Kosmos, nauka i bezpieczeństwo narodowe

- Piotr Mierzejewski (Thorium Space)
- Zbigniew Jagiełło (Były Prezes PKO BP, Twórca BLIK)
- Justyna Redelkiewicz-Musiał (GoCosmic)
- Maciej Myśliwiec (Space Agency)
- dr Milena Ratajczak (New Space Foundation / Obserwatorium Astronomiczne UW)

Sesja 2: Kosmiczna inspiracja Polska patrzy w gwiazdy

- Wątki kosmiczne w Marce Polska - prof. Barbara Mróz-Gorgoń (Think Tank Marka Polska)
- V4 Space Summer School na Dolnym Śląsku w 2026 roku - Jan Pomierny (New Space Foundation), dr Radosław Zajdel (Geodetic Observatory Pecny / Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu)

Case Study: CAMILA – polska konstelacja satelitarna w budowie

- Piotr Owdziej (cc group) & Jakub Bochiński (Creotech)

Keynote Speech – Artur Chmielewski (NASA / Jet Propulsion Laboratory)

Misja, która inspirowała – jak wykorzystują misję Ignis do promocji sektora

- moderacja: dr Milena Ratajczak (New Space Foundation / Obserwatorium Astronomiczne UW)
- prof. Barbara Mróz-Gorgoń (Think Tank Marka Polska)
- Jan Pomierny (New Space Foundation)
- Artur Chmielewski (NASA / Jet Propulsion Laboratory)
- Justyna Redelkiewicz-Musiał (GoCosmic)

Gościem specjalnym w Forum Innowacji był oczywiście Artur Chmielewski, który wygłosił fascynujący wykład a także uczestniczył w dyskusjach i rozmowach kulturalnych podczas trwania konferencji. Zaproponował współpracę między Dolnym Śląskiem a jednostkami NASA. Namawiał do zdefiniowania wspólnych zadań i celów do osiągnięcia. Jest otwarty na rozwój współpracy polsko-amerykańskiej na różnych poziomach i w różnych obszarach ważnych zarówno dla Polski jak i USA.

Sesja 3: Bezpieczeństwo przyszłości Rozmowa: Bezpieczeństwo przyszłości – kosmos, dane, cyberbezpieczeństwo

- płk Marcin Mazur (Polska Agencja Kosmiczna)
- rozmawia: dr Joanna Baksalary (Stowarzyszenie Polskich Profesjonalistów Sektora Kosmicznego)

Fireside chat: Innowacje kosmiczne okiem wojska

- gen. bryg. Marcin Górka (Ministerstwo Obrony Narodowej)
- rozmawia: dr Milena Ratajczak (New Space Foundation / Obserwatorium Astronomiczne UW)

Technologie kosmiczne a bezpieczeństwo przyszłości

- moderacja – Paweł Pacek (ARP)
- Kamila Matela (Radmor)
- Piotr Mierzejewski (Thorium Space)
- Mateusz Wolski (Astronika)
- Sebastian Magadzio (Airbus Polska)

Podczas sesji 3 bardzo szeroko przedyskutowano zagadnienia bezpieczeństwa, co pokazał konflikt na Ukrainie. Zagadnienie jest bardzo ważne dla bezpieczeństwa kraju i powinno być intensywnie rozwijane od strony praktycznej już teraz.

DZIEŃ 2

Sesja 1: Finansowanie sektora kosmicznego

„Europejskie pieniądze na kosmos”

- Monika Banaszek - Cymerman (Polska Agencja Kosmiczna)

„Polskie środki wsparcia dla firm kosmicznych”

- Mardoniusz Maćkowiak (cc group)

Panel: Jak zdobyć kapitał na kosmos? VC, banki, granty / Finansowanie obronności w kosmosie

- Michał Karbowski (Head of Business Development Zeccer / Portfolio Manager RST LIFT OFF Startup Accelerator)
- Krzysztof Górka (Dolnośląski Fundusz Rozwoju)
- Maciej Frankowicz (Hard2Beat VC)
- Wojciech Drabczyński (Balnord)

Case study: „Nasza droga do finansowania”

- Mardoniusz Maćkowiak (cc group)
- Jędrzej Kowalewski (Scanway)

Sesja 2: Biznes i ekosystem regionalny

Aktualne trendy i innowacje w branży kosmicznej

- dr Martyna Gatkowska (IAC 2027 Local Organising Committee)

Dolny Śląsk w kosmosie – showcase dolnośląskich firm

- Nanores Lab - Mateusz Dziubek (Lider Zespołu Inżynierów Aplikacyjnych)
- SatRev
- Thorium Space - Milena Bobińska

(Head of Business Line)

- GISPartner

Jak wzmocnić dolnośląską branżę?

- moderacja: dr Martyna Gatkowska, która reprezentowała Krajowy Komitet przygotowujący IAC 2027, który odbędzie się w Poznaniu.
- prof. Witalis Pellowski (Akademia Wojsk Lądowych)
- Bartłomiej Kubicz (Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego)
- Paweł Modrzyński (Nanores Lab)
- dr Daniel Więzik (SatRev)
- Paweł Pałubiński (Collins Aerospace Wrocław)

Na szczególne wyróżnienie zasługują osiągnięcia firmy SatRev, która umieściła w przestrzeni kosmicznej kilkanaście satelitów także dla krajowych uczelni a ostatnio oferuje usługi związane z informacjami pochodzącymi z kosmosu.

Sesja 3: Rozwój kompetencji – kadry, edukacja, współpraca Kadry dla kosmosu

- Justyna Pelc (ResQuant)

Potrzeby biznesu: Jakie talenty są potrzebne?

- moderacja: Sylwester Wyka (Astronika)
- Jadwiga Gębka (Collins Aerospace Wrocław)
- Mikołaj Podgórski (Scanway)
- dr Joanna Baksalary (ITTI)

Zwrócić należy uwagę na spektakularne osiągnięcia firmy Scanway, która specjalizuje się m.in. w przyrządach optycznych. Ważne są również doświadczenia Collins Aerospace, która od wielu lat zatrudnia na stanowiskach związanych z technologiami kosmicznymi.

Edukacja–biznes–administracja: wspólna misja dla kosmosu

- Paulina Brym-Ciuba (StartUp Hub Poland)
- Michał Pilecki (Polska Agencja Kosmiczna)
- prof. Damian Derlukiewicz (Politechnika Wrocławska)
- Adam Zagrajek (CleverHive)

Jak kształcimy kadry dla sektora kosmicznego?

- moderacja: Justyna Pelc

- prof. Krzysztof Sośnica – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
- prof. Piotr Wrzecioniarz - Krajowy Komitet ds. Technologii Kosmicznych
- Janek Adamski i Marcelina Wawrzyńczyk (Liceum Ogólnokształcące nr XIV im. Polonii Belgijskiej)
- dr inż. Adam Jaroszewicz - Politechnika Wrocławska

Ostatni panel był bardzo dynamiczny, gdyż dotyczył kształcenia kadr. Prof. Sośnica poinformował o utworzeniu kierunku studiów związanego z zastosowaniami kosmicznymi, który cieszy się dużą popularnością wśród studentów. Prof. Wrzecioniarz mówił o konieczności kształcenia równoległego na wszystkich poziomach poczynając od przedszkola a skończywszy na studiach doktoranckich, tak jak dzieje się to w centrach rozwoju w USA i Chinach. Poruszył także model kształcenia z pasją znany z kół naukowych. Obecni uczniowie z Liceum poparli idee przedstawione przez pozostałych dyskutantów, mając nadzieję, że młodzież Dolnego Śląska będzie dobrze przygotowana do pracy w sektorze kosmicznym.

Podsumowanie

Na zakończenie drugiego dnia nastąpiło podsumowanie i zamknięcie konferencji. Uczestnicy podkreślili wagę konferencji i jej aktualność w sytuacji geopolitycznej świata. Podczas obrad i w kuluarach omawiano różne nowe pomysły na zorganizowanie kolejnych konferencji poświęconych zagadnieniom kosmicznym. Przewiduje się dalszą aktywność środowisk naukowych, biznesowych, samorządowych w obszarach zastosowań technologii kosmicznych oraz kształcenia pod potrzeby rozwijającego się przemysłu jutra. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Program konferencji Forum Innowacji 3-4 grudnia 2025
- [2] Wrzecioniarz, P., „Geneza i cel działania Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych”, „Przegląd Komunikacyjny”, nr 7-8, 2025.

Polska po III wojnie światowej



Piotr A. Wrzecioniarz

Prof. Uczelni Wyższych:
Politechnika Wrocławska (em),
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu (em),
Collegium Witelona Uczelnia Państwowa w Legnicy,

Przewodniczący Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych

piotr.wrzecioniarz@tvvp.pl

1. Wprowadzenie

Świat jest aktualnie w turbulentnym rozwoju. Przygotowania do wojny światowej są w toku. Geostratedzy od kilku już lat analizują zmieniającą się sytuację międzynarodową. Wyznaczane są kolejne terminy i potencjalne miejsca rozpoczęcia wielkiego konfliktu. Temat jest powszechnie znany w wielu miejscach na świecie.

Wytypowano miasta do ataku nuklearnego, a także określono potencjalne granice stref wpływów. Od roku 2022 firmy przemysłowe szykują się do tego co może stać się niebawem. Otrzymujemy jako społeczeństwo informacje a nawet instrukcje typu „poradnik bezpieczeństwa” zachowania się w godzinie próby.

W opracowaniu niniejszym przedstawia się kilka uwag o charakterze ogólnym wynikających m.in. ze znanej historii a także z wielu dyskusji prowadzonych na Dolnym Śląsku od lat. Przybliża się także koncepcje rozwojowe, które mogą być zrealizowane już po zakończeniu ewentualnego konfliktu.

2. Kilka uwag o naszych działaniach na Dolnym Śląsku

W regionie dolnośląskim wszystko na dobre rozpoczęło się po transformacji gospodarczej lat 90-tych ubiegłego wieku. W kompleksie Fundacji Krzyżowa dla Porozumienia Europejskiego w okresie wielkiego bezrobocia i exodusu wykształconych ludzi z Polski sformułowaliśmy strategię rozwoju, w tym przemysłu. Wszystko nam wyszło. Dolny Śląsk jest jednym z najbardziej dynamicznych regionów Europy i po

Warszawie najbardziej rozwiniętym o stosunkowo wysokich płacach i dużej liczbie wykształconych osób pracujących także w obszarach wysokich technologii.

Zauważyliśmy bardzo szybko zmiany następujące w świecie. W roku 2019 uruchomiliśmy we Wrocławiu kolejną inicjatywę Forum G2 - geopolityka i gospodarka. Przewidując dalsze zmiany, które będą następowały w gospodarce całego świata to tam właśnie po raz pierwszy zaczęliśmy rozmawiać o potencjalnym konflikcie światowym. Dyskutowali stratedzy zarówno cywilni jak i wojskowi, z jednostek rządowych, samorządowych ale także i z profesjonalnych think tanków, które w owym czasie w Polsce powstawały. Na bazie tej wiedzy w niniejszym artykule przedstawia się pewne tematy wybiegające w przyszłość.

Należy zaznaczyć, że w tym samym roku 2019 Pan Konrad Tomaszewski uruchomił Salon „Genius Loci”, który łączył ludzi kultury, sztuki, nauki, technologii i polityki. Jedną z części kilkuniedniowych spotkań na zamku w Trzebiezowicach był mój SMS czyli Salon Myśli Strategicznej.

Dalsze rozważania przedstawione w niniejszym opracowaniu wynikają m.in. z udziału we wszystkich wymienionych wydarzeniach i prowadzonych tam dyskusjach.

3. Rys historyczny

Posługując się coraz sprawniejszymi systemami AI poniżej zebrano podstawowe syntetyczne znane informacje dotyczące pierwszej i drugiej wojny światowej, aby ekstrapolować wstęp-

nie jak może wyglądać konflikt światowy po raz trzeci. Jest to bardzo trudne z uwagi na bardzo wiele zmiennych w tym np. znaczący rozwój technologii wojskowych, o czym świadczy chociażby tekst generała Majewskiego przedstawiony w niniejszym numerze „Przeglądu”.

Przypomnijmy, że populacja na początku I wojny światowej w roku 1914 wynosiła około 1,8 miliarda ludzi. Państwa Centralne, które wywołały de facto I wojnę światową wykorzystując znany pretekst, to Niemcy, Austro-Węgry, Turcja, Bułgaria. W czasie I wojny światowej z tych państw zginęło około czterech milionów żołnierzy i tyle samo było ofiar cywilnych, co dało w sumie 8 milionów ofiar.

Państwa Ententy to kolejno przylączające się Francja, Wielka Brytania (z dominiami), Rosja, Serbia, Czarnogóra, Belgia, Japonia, Włochy, Portugalia, Rumunia, Stany Zjednoczone, Grecja, Chiny, Brazylia i wiele mniejszych. W sumie do tej grupy należało aż 30 państw. Łączna liczba zabitych żołnierzy w tej grupie państw wyniosła około 6 milionów a liczba ofiar cywilnych była zbliżona co daje w sumie straty w państwach Ententy około 12 milionów ofiar.

Dodając straty państw Centralnych i państw Ententy otrzymuje się, że w czasie I Wojny Światowej liczba ofiar wyniosła około 20 milionów osób. To jest około 1,1% ówczesnego społeczeństwa.

Straty w II wojnie światowej były znacznie większe. Początek był bardzo podobny a więc znowu państwo niemieckie rozpoczęło wojnę kwestionując ustalenia traktatu wersalskiego. Po

Tab. 1. Rezultaty I i II wojny światowej

Rok	Populacja	Zabitych	[%]
1914	1,8 mld	20 mln	Ok. 1,1%
1939	2,3 mld	80 mln	Ok. 3,5%
2027	8,3 mld	500 mln	Ok. 6%

pięciu latach już globalnego konfliktu można było podsumować ostateczny wynik, co dla Europy przedstawia rysunek 1.

W Polsce straty wyniosły 5,9 milionów osób, co stanowiło około 17% populacji naszego kraju. Jak widać Polska procentowo poniosła największe straty. Nie chcemy aby w trzecim konflikcie światowym było podobnie. Zestawienie dla obu dotychczasowych wojen przedstawiono w Tabeli 1, ekstrapolując dane także dla kolejnego konfliktu.

Podane informacje dla III wojny światowej są szacunkowe i obarczone dużą niewiedzą. Nie wiemy jak duży będzie konflikt, jaką część świata obejmie, kiedy się zacznie i jakie będą straty. Mogą być także większe niż podano w Tabeli 1. Dodatkowo biorąc pod uwagę ciągły wzrost zabitych oszacowano tę

wielkość w III wojnie światowej na 6%, zakładając, że przyjdzie jednak opamiętanie i eskalacja będzie ostatecznie zatrzymana.

Przypomnijmy kilka obrazów charakterystycznych dla przeszłych i obecnych konfliktów. Przykłady ze znanych miejsc zestawiono na rysunkach 2-7. W sieci można znaleźć znacznie więcej podobnych zdjęć.

Biorąc pod uwagę zgromadzone arsenały a także obecnie około 50 lokalnych potencjalnych konfliktów można sobie wyobrazić także znacznie większe straty. Jest to zatem scenariusz w pewnym sensie pozytywny zakładający, że:

- publikowanie alarmistycznych przewidywań spowoduje, że nie dojdzie do wybuchu wielkiej wojny,
- jeżeli wybuchnie III wojna światowa to przyjdzie opamiętanie i po osiągnięciu pewnego poziomu zniszczeń konflikt będzie zakończony i nie dojdzie do całkowitej

destrukcji globu.

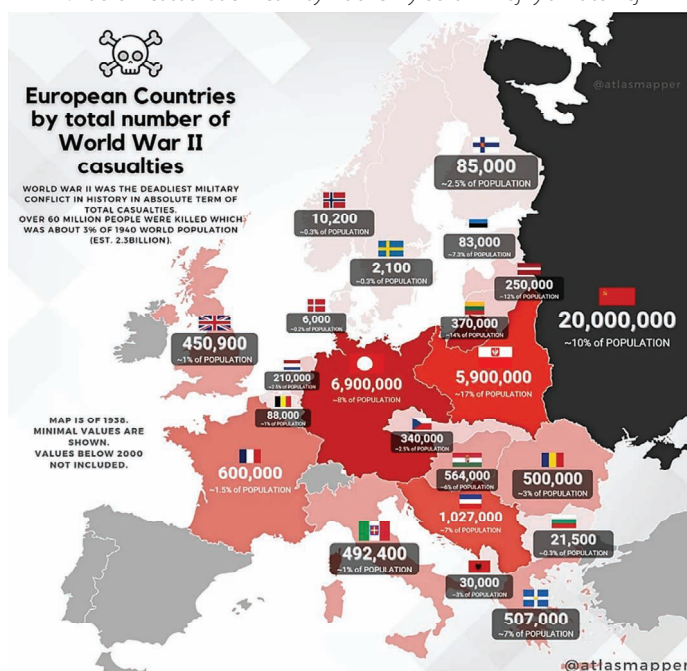
Przypomnijmy jeszcze, że w czasie ostatnich 4500 lat opisano w Wikipedii 10.600 bitew i wojen mających miejsce w naszym europejskim i śródziemnomorskim obszarze kulturowym. Pamiętajmy, że opis dotyczy jedynie spisanych informacji. W rzeczywistości w skali świata konfliktów było znacznie więcej.

Dotychczasowe obie wojny światowe nauczyły nas, że doraźnie tworzone są sieci i obszary współpracy, że wszystkie sojusze są zmienne a po zakończeniu wojny pojawiają się zawsze niezadowoleni z uzyskanych wyników. Organizacja Liga Narodów nie zdała egzaminu w konfrontacji z egoistycznymi planami poszczególnych państw. Podobnie jak jest obecnie z ONZ.

Poniżej zostaną przypomniane w rysie strategię znane w Polsce po roku 1945. Na rysunku 8 przedstawia się plany ataku frontu polskiego na Europę Zachodnią w ramach oczywiście Ukła-



1. Pablo Picasso Guernica – symboliczny obraz I wojny światowej



2. Straty europejskich państw w II wojnie światowej



3. Ruiny Warszawy – II wojna światowa



4. Ruiny Hiroshimy – II wojna światowa



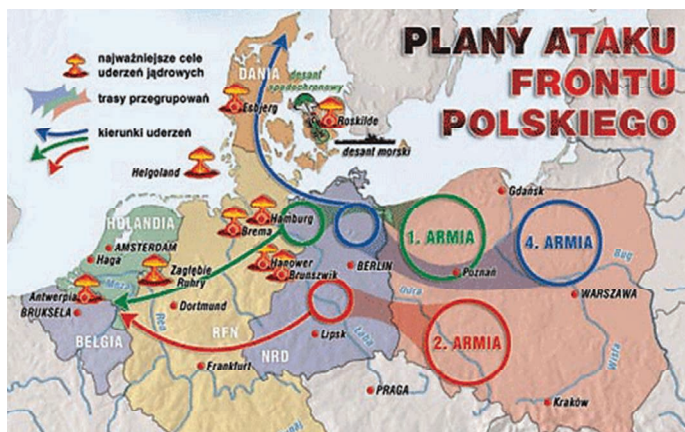
5. Ruiny Aleppo – początek XXI wieku



6. Ruiny Gazy – lata 20 XXI wieku



7. Ruiny Mariupola – lata 20 XXI wieku



8. Plan ataku frontu polskiego na Europę Zachodnią

du Warszawskiego.

Pierwsza Armia Polska miała dotrzeć do północnych Niemiec a następnie do Danii i Holandii, natomiast druga armia najpierw miała zająć Niemcy a potem dojść do Belgii. Ta strategia obowiązywała w Polsce będącej pod okupacją sowiecką. W roku 1989 strategia ta uległa zmianie. Polska weszła do NATO w 1999 roku a w 2004 do Unii Europejskiej. Wschodnia granica Polski jest jednocześnie wschodnią granicą NATO. W międzyczasie pojawiła się koncepcja linii obrony na Wiśle, która w tej chwili jest już upubliczniona. Dzieliła Polskę wzdłuż Wisły na część zachodnią i wschodnią, co przedstawia rysunek 9. Byłaby to granica między Unią Europejską i Rosją, szykująca de facto V rozbiór Polski, bardzo podobna do granic IV rozbioru Polski w roku 1939, choć przebiega jeszcze dalej na zachód.

W niniejszym opracowaniu zakłada się, że Polska nie zostanie zniszczona całkowicie podczas III wojny światowej, że nie będzie „The Battlefield of Europe” tak, jak było podczas poprzednich wielkich konfliktów. Zakłada się, że III światowy konflikt zacznie się daleko stąd i zakończy się bez największych

zniszczeń w naszym kraju, jak było poprzednio.

Wówczas pojawi się na nowo możliwość utworzenia strefy buforowej między Europą Zachodnią, która kulturowo i historycznie jest zjednoczona obecnie i Europą Wschodnią czyli umownymi EEC – East European Countries. Należy przytoczyć fakt, że wielkie firmy przemysłowe tak właśnie dzielą nam region. Autor miał możliwość przekonać się o tym pracując wiele lat dla globalnej firmy paliwowej Shell. Pewne grupy zagadnień były wspólne w paśmie od państw bałtyckich aż do Grecji. A więc w biznesie pewne rozwiązania już funkcjonują, czy one mogą również funkcjonować w świecie politycznym? Lokalne sojusze są obecnie tworzone w wielu miejscach na świecie. Oczywiście jest, że sojusze lokalne będą odgrywały dużą rolę i to co się stanie będzie wypadkową tych wszystkich sił i środków.

W niniejszym artykule przedstawia się idealne naszym zdaniem rozwiązanie rozdzielenia wschodu i zachodu Europy i stworzenia strefy państw wystarczająco mocnych gospodarczo jak i militarnie rozdzielających Europę Za-

chodnią oraz Imperium rosyjskie.

Na kolejnych rysunkach przedstawia się argumentację za taką działalnością. Na rysunku 10 widzimy, że w roku 2024 siła gospodarcza Polski była równoważna sił państw leżących na wschód od niej.

Liderem tego przedsięwzięcia jest Polska. Nie chodzi o to aby zdominować kraje sąsiednie tylko razem z nimi współpracować. Pokazaliśmy to już w roku 1980 tworząc „Solidarność”, która dała wolność wszystkim. U podstaw tego ruchu leżała równość zarówno ludzi jak i państw. To Polska sformułowała idee Solidarności między państwami i doprowadziła do pokojowej przemiany systemu komunistycznego. Już raz tego dokonaliśmy. Teraz będzie chodziło o to aby rozdzielić wschód i zachód w imię wielkiej Solidarności.

Polska jako 20 gospodarka świata z dochodem około 1 biliona dolarów jest w przybliżeniu równoważna tym wszystkim państwom leżącym na wschód od niej. Razem możemy stanowić dużą już siłę.

Na kolejnym rysunku nr 11 pokazany jest potencjalny rozdział świata zachodniego i świata wschodniego

według aktualnych map z uwzględnieniem także państw z północy Europy.

Pewne małe grupy już obecnie istnieją. Należy zauważyć, że państwa Europy Środkowo-Wschodniej można grupować historycznie (Blok Wschodni), politycznie (Grupa Wyszehradzka), według przynależności do Unii Europejskiej (CEE – Central-East-Europe), geograficznie (państwa bałtyckie, bałkańskie, poradzieckie), w ramach współpracy międzynarodowej (Partnerstwo Wschodnie). Obszar ten obejmuje V4 (Polska, Czechy, Węgry, Słowacja), kraje bałtyckie (Estonia, Łotwa, Litwa), państwa bałkańskie (Bułgaria, Rumunia, Chorwacja, Słowenia, Serbia, Czarnogóra, Macedonia Północna, Albania), państwa poradzieckie (Ukraina, Białoruś, Mołdawia) i kaukaskie (Armenia, Azerbejdżan, Gruzja).

Do tej grupy należy dołożyć kraje skandynawskie tj. Szwecję, Finlandię i Norwegię. Należy zauważyć, że taki podział już obowiązuje w biznesie i sprawdził się w praktyce. Po zakończeniu III wojny światowej może stać się podstawowym dla tej części Europy.

Nie wiadomo jak będą kształtowały się mapy po III Wojnie Światowej, ale

sugeruje się aby ten pas kontynentu obejmował również kraje skandynawskie. Pierwsze próby w tym zakresie zostały podjęte podczas Forum G2 gdzie dyskutując w panelu o współpracy w kosmosie właśnie przedstawiono ten rysunek. Chodzi nam o to aby państwa od Skandynawii aż po Grecję mogły razem współpracować dla dobra nas wszystkich ale także dla dobra całej Eurazji. Mamy nadzieję, że ta koncepcja znajdzie zainteresowanie w różnych gremiach gospodarczych, które przekonają gremia polityczne.

Należy także jeszcze raz podkreślić, że nie chcemy dzielić Europy. Jednak ostatnie wojny pokazały, że interesy poszczególnych części Europy były różne. Polska była zostawiona sama sobie na początku II wojny światowej przez państwa Europy Zachodniej, a pod koniec wojny zabrano znaczną jej część i oddano pod okupację sowiecką na 45 lat. Obaj agresorzy II wojny poprzez „Intelligenzaktion” (Niemcy) oraz prześladowania opozycji z AK bardzo osłabiły państwo Polskie. Dopiero teraz je odbudowaliśmy.

Również postępowanie grup interesu z różnych państw całego świata

w stosunku do Ukrainy budzi nasze zdziwienie szczególnie, że cierpi ludność ukraińska. Nie chcemy więcej tego typu akcji ani w Polsce ani w wymienionych Państwach należących do umownej rozszerzonej EEC.

Jest to kolejny głos, który jest związany z pokojem w naszej części Europy i świata. Spróbujmy dać przykład i zorganizować wszystko w sposób pokojowy. Możemy zacząć już teraz i spróbować zatrzymać nadchodzący konflikt przynajmniej dla wszystkich zainteresowanych w tej części Europy.

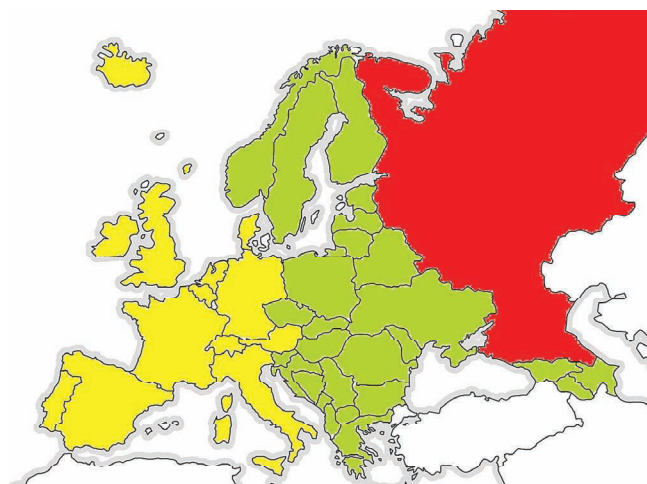
W razie pytań i wątpliwości prosimy o bezpośredni kontakt.

Piotr A. Wrzecioniarz

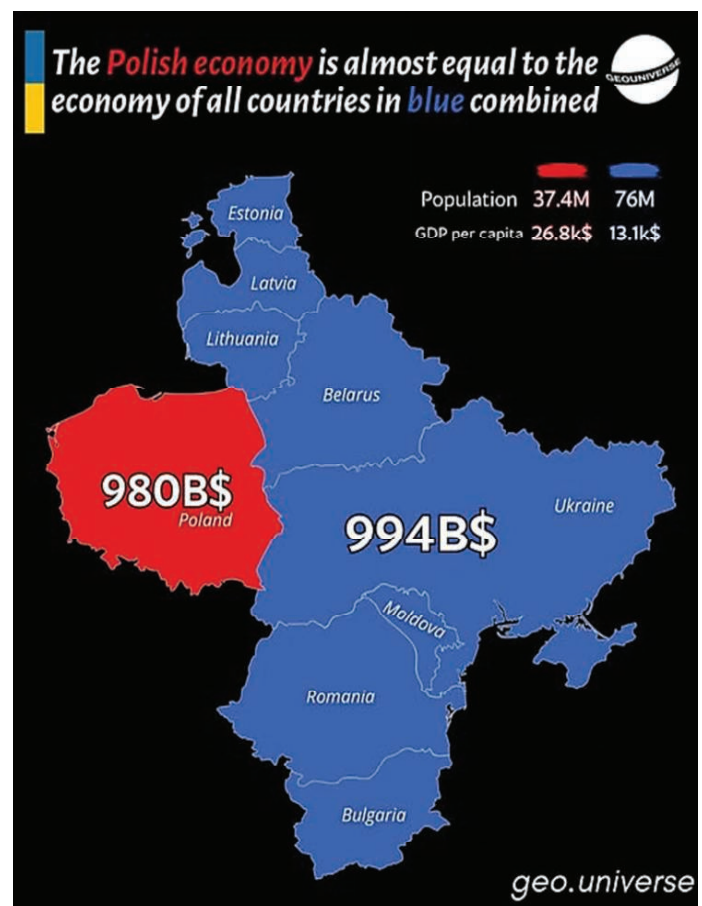
- Pomysłodawca Dolnośląskiego Certyfikatu Gospodarczego na Forum w Krzyżowej,
- Przewodniczący Rady Programowej Forum G2,
- Przewodniczący Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych,
- Pomysłodawca Salonu Myśli Strategicznej w ramach „Genius Loci” ◀



9. Linia obrony na Wiśle



11. Potencjalny rozdział świata zachodniego i świata wschodniego Europy



10. PKB Polski oraz krajów leżących na wschód od Polski

MIRORES: Spektrometry kosmiczne MIR/FIR do poszukiwań geologicznych na Księżycu i Ziemi

Jakub Cieżala

MIRORES Mining Data Services Ltd., Wrocław

Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Wrocław Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

j.ciezala@mirores.eu

Jarosław Bąkała

MIRORES Mining Data Services Ltd., Wrocław

Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Wrocław Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

Mirosław Kowaliński

MIRORES Mining Data Services Ltd., Wrocław

Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

Natalia Zalewska

MIRORES Mining Data Services Ltd., Wrocław

SCentrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

Marta Cieżala

MIRORES Mining Data Services Ltd., Wrocław

Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Wrocław Warszawskiego, Warszawa

Ireneusz Badura

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu

Warszawskiego, Warszawa

Streszczenie: MIRORES to kompaktowy spektrometr średniej podczerwieni (MIR) do dalekiej podczerwieni (FIR) przeznaczony do poszukiwań geologicznych na Księżycu i Ziemi. Obejmuje zakres 6–20 μm (opcjonalnie rozszerzany do $\sim 45 \mu\text{m}$) przy rozdzielczości spektralnej $\sim 0,5 \mu\text{m}$, umożliwiając wykrywanie sygnatur mineralnych (np. fosforanów, tlenków) niewidocznych dla czujników widzialnych/bliskiej podczerwieni. Matryca płaszczyzny ogniskowej 256×320 (z 16 wąskopasmowymi kanałami po 20 rzędów każdy) i dwa dodatkowe detektory apatytu i ilmenitu, w połączeniu z lekkim systemem optycznym, zapewniają wysoką wydajność zarówno w zastosowaniach księżycowych, jak i ziemskich. Próby terenowe i plany integracji wykazują gotowość techniczną i strategiczne dostosowanie do inicjatyw dotyczących zasobów kosmicznych.

Słowa kluczowe: Spektroskopia w podczerwieni; Teledetekcja; Geologia rud; Zasoby kosmiczne

Wprowadzenie

Postępy w dziedzinie teledetekcji w zakresie średniej podczerwieni otwierają nowe możliwości w zakresie poszukiwania minerałów na powierzchniach planet. Zakres długości fal 6–45 μm zawiera diagnostyczne pasma drgań lodu wodnego i wielu minerałów (tlenków, siarczków i fosforanów), które nie są wykrywalne w widmie widzialnym i krótkofalowym podczerwieni (VNIR/SWIR) wykorzystywanym w większości poprzednich misji. Na przykład księżycowy minerał apatyt (fosforan wapnia) ma silne pasmo absorpcyjne w pobliżu 17–18 μm , a ilmenit (tlenek żelaza i tytanu) wykazuje pasmo około 19 μm . Sygnatury te znajdują się poza zasięgiem instrumentów takich jak Moon Mineralogy Mapper NASA (który działał w zakresie $<3 \mu\text{m}$). Są one tylko częściowo pokryte przez radiometr Diviner sondy Lunar Reconnaissance Orbiter, który ma trzy z czterech kanałów IR skupionych w pobliżu 8 μm [1]. W rezultacie kluczowe zasoby, takie jak fosfor i pierwiastki ziem rzadkich w apatycie oraz tlen

i hel-3 w ilmenicie, pozostają trudne do wykrycia za pomocą tradycyjnych czujników VNIR/SWIR. MIRORES został wybrany jako główny ładunek naukowy dla przyszłej misji orbiterów księżycowych (Lunar Mineralogy Mapper, opracowywany przez ESA), której start zaplanowano na 2029 r. Misja ta będzie pierwszym zastosowaniem spektrometru dalekiej podczerwieni wokół Księżyca, a MIRORES stanie się tym samym pionierem w dziedzinie mapowania zasobów księżycowych z kosmosu.

Instrument MIRORES (Mid-/Far-Infrared ORE Spectrometer) został zaprojektowany, aby wypełnić tę lukę. Pierwotnie opracowany do wykrywania rud siarczkowych na Marsie w zakresie 20–30 μm FIR, MIRORES został przeprojektowany, aby skupić się na zakresie 6–20 μm MIR (z rozszerzeniem do $\sim 45 \mu\text{m}$), który obejmuje zasoby księżycowe o wysokim priorytecie, zachowując jednocześnie kompaktowe rozmiary i wykonałość. Zmiana ta wynika z faktu, że apatyt i ilmenit można zidentyfikować w zakresie $\sim 6\text{--}20 \mu\text{m}$, więc rozszerzenie zakresu poza 20 μm nie jest niezbędne

do osiągnięcia tych celów. Dzięki zawężeniu zakresu spektralnego, MIRORES osiąga wyższą rozdzielczość spektralną w kluczowym oknie 6–14 μm , umożliwiając jednoznaczną identyfikację minerałów na tle krzemianów. Niewiele instrumentów kosmicznych badało ten region MIR dla ciał pozbawionych atmosfery, częściowo ze względu na nieprzezroczystość atmosfery ziemskiej poniżej $\sim 8 \mu\text{m}$ [1]. Warto zauważyć, że czujnik Advanced Himawari Imager (AHI) japońskiego satelity meteorologicznego Himawari-8 wykazał ostatnio wartość obserwacji Księżyca w zakresie 6–14 μm [1], potwierdzając, że dane spektralne w średniej podczerwieni mogą ujawnić różnice w składzie powierzchni zgodne z wynikami badań Divinera [2, 3]. Podobnie, teleskop powietrzny SOFIA należący do NASA wykrył wodę molekularną na oświetlonej słońcem powierzchni Księżyca przy 6 μm [4], co jest niemożliwe w przypadku obserwatoriów naziemnych ze względu na absorpcję atmosferyczną. Postępy te podkreślają potencjał naukowy i eksploracyjny dedykowanego spektro-

metru MIR.

MIRORES został zaprojektowany, aby wykorzystać ten potencjał zarówno w kontekście księżycowym, jak i w zastosowaniach naziemnych. Instrument łączy w sobie dostosowany zakres spektralny z detektorem o wysokiej czułości i zminiaturyzowaną optyką, aby pełnić podwójną rolę: latać w misjach księżycowych w celu mapowania minerałów zawierających zasoby oraz działać na dronach na Ziemi w celu badania celów wydobywczych. W kolejnych sekcjach szczegółowo opisujemy podwójne zastosowanie MIRORES jako instrumentu księżycowego i do zastosowań ziemskich. Po tych dwóch sekcjach następuje opis projektu inżynierskiego, wyniki wstępnych testów terenowych oraz droga do wdrożenia w gospodarce zasobami kosmicznymi.

Przykłady zastosowań księżycowych i ziemskich

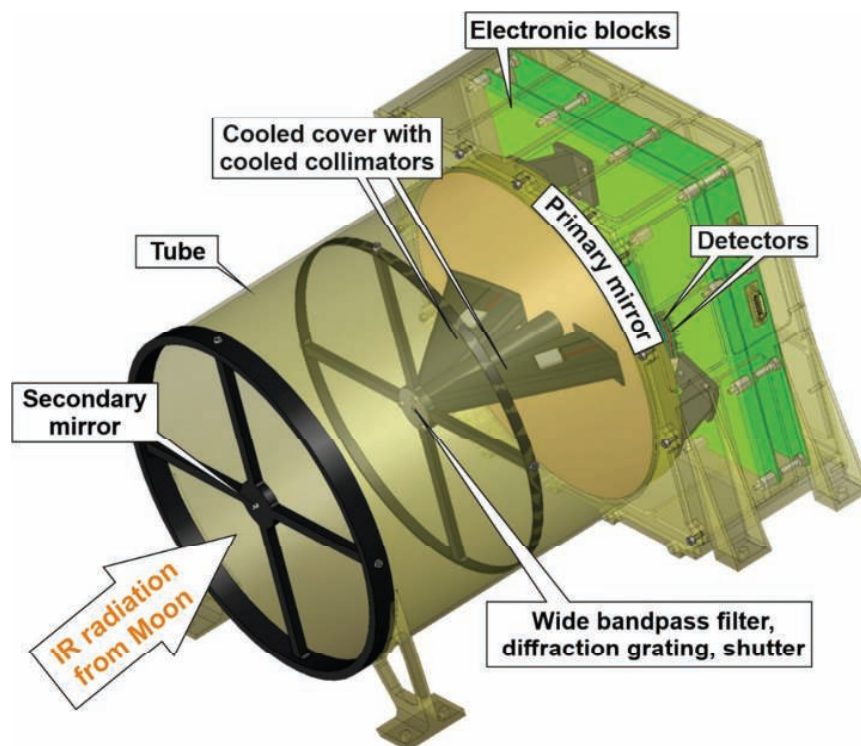
Obecny impuls dla programu MIRORES wynika z celów związanych z poszukiwaniem zasobów księżycowych. Globalne agencje kosmiczne podkreślają potrzebę zlokalizowania i oszacowania zasobów księżycowych, takich jak lód wodny, minerały zawierające tlen, metale i inne substancje lotne, jako podstawy zrównoważonej gospodarki kosmicznej w układzie Ziemia-Księżyc (tzw. gospodarka cis-księżycowa) [5]. W rzeczywistości strategia Europejskiej Agencji Kosmicznej dotycząca zasobów kosmicznych wymaga przeprowadzenia „pomiarów na Księżycu” do 2030 r. w celu ustalenia potencjału materiałów księżycowych i poinformowania o ich wykorzystaniu w architekturze eksploracyjnej [6]. Spośród tych materiałów szczególnie ważne są apatyt księżycowy i ilmenit. Apatyt ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F/Cl/OH}$) nie tylko zawiera fosfor, który ma kluczowe znaczenie dla nawozów, ale może również zawierać hydroksyl lub wodę w swojej strukturze.

Ponadto ma tendencję do koncentrowania pierwiastków ziem rzadkich. Ilmenit (FeTiO_3) jest ceniony jako źródło żelaza i tytanu, a co ważne, może dostarczać tlen i hel-3 w wyniku przetwarzania chemicznego, co czyni go

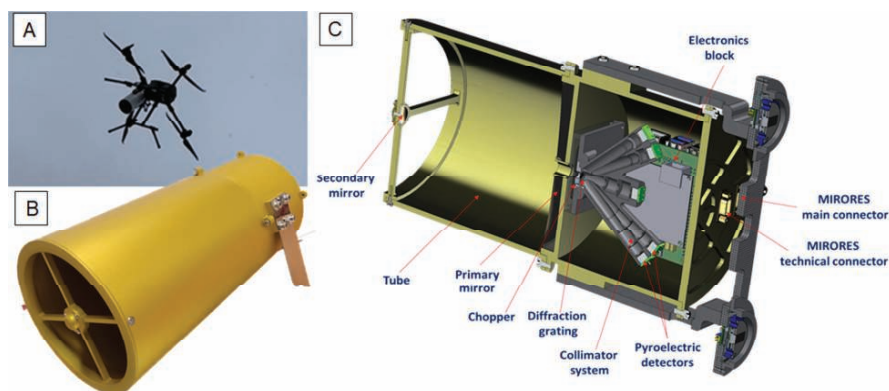
kluczowym składnikiem regolitu dla przyszłej produkcji tlenu i helu-3 w ramach ISRU (wykorzystania zasobów na miejscu). W 2025 r. firma Interlune ogłosiła zawarcie pierwszej tego rodzaju umowy z Programem Izotopowym Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych na zakup 3 litrów helu-3 pochodzącego z Księżyca do 2029 r. oraz równoległą umowę przemysłową, na mocy której Bluefors może kupować do 10 000 litrów helu-3 rocznie w latach 2028–2037, co wskazuje na pojawienie się wczesnego rynku komercyjnego dla tego izotopu (interlune.space). Zidentyfikowanie bogatych złóż tych minerałów na Księżycu bezpośrednio wsparłoby plany dotyczące załogowych baz księżycowych i wytwarzania paliwa. Jednak tradycyjne urządzenia do obrazowania orbitalnego, takie jak Moon Mineralogy Mapper (M3), które działają w zakresie 0,4–3 μm , a nawet urządzenia do mapowania termicznego, takie jak Diviner (~7,5–23 μm), mają ograniczoną zdolność do precyzyjnego lokalizowania apatytu lub ilmenitu. Charakterystyczne pasma wibracyjne tych minerałów znajdują się poza dotychczas mierzonym zakresem lub mieszczą się w grubych, nakładających się kanałach [1]. Dlatego też do dokładnego mapowania tych zasobów potrzebny

jest specjalistyczny spektrometr, taki jak MIRORES.

Chociaż projekt MIRORES powstał jako projekt skupiający się na Księżycu, został on opracowany z myślą również o zastosowaniach na Ziemi. Zakres długości fal spektrometru pokrywa się z oknem atmosferycznym promieniowania podczerwonego ($\sim 8\text{--}14\text{ }\mu\text{m}$), które jest wyjątkowo przydatne do geologicznego teledetekcji na Ziemi [7]. W tym zakresie podczerwieni termicznej promieniowanie emitowane przez skały niesie ze sobą charakterystyczne dla poszczególnych minerałów sygnatury, które mogą uzupełniać spektroskopię światła odbitego (VNIR/SWIR) [8]. Na przykład skały bogate w kwarc, węglany, minerały ilaste i siarczany wykazują unikalne pasma reststrahlen lub cechy Christiansena w zakresie 8–14 μm . Pasma Reststrahlenu powstają w wyniku silnej absorpcji drgań podstawowych (np. w wiązańach Si–O lub C–O). Cechy Christiansena odpowiadają lokalnym minimom emisyjności w pobliżu długości fal, przy których rzeczywista część współczynnika załamania światła materiału zbliża się do współczynnika załamania światła otaczającego medium [7,8]. Cechy te umożliwiają tworzenie map litologicznych, co jest trudne do osiągnięcia przy krótszych długościach



1. Schemat instrumentu MIRORES Moon (średnica 30 cm). Przerysowano z [12]



2. (A) Spektrometr MIRORES przystosowany do montażu na dronie (apertura 13 cm). (B) Urządzenie MIRORES o średnicy 15 cm przeznaczone do stosowania nad tałsmami przenośnikowymi lub jako urządzenie ręczne. (C) Schemat techniczny tego samego urządzenia o średnicy 15 cm do zastosowań przemysłowych/ręcznych

fal [1]. Czujniki powietrzne i satelitarne (np. instrumenty ASTER i HyTES należące do NASA) wykorzystują to okno do mapowania mineralogii powierzchni Ziemi, korzystając z wysokiej transmisji w przedziale 8–12 μm [7]. Jednak absorpcja przez parę wodną w atmosferze poważnie utrudnia obserwacje w zakresie spektralnym 6–8 μm z ziemi lub orbity [1]. W tym przypadku urządzenie MIRORES, zainstalowane na nisko latającym dronie lub na miejscu, mogłoby bezpośrednio mierzyć widma skał w zakresie 6–20 μm przy minimalnych zakłóceniach atmosferycznych. Wykorzystanie dronów otwiera możliwości poszukiwania minerałów w odległych regionach: MIRORES zamontowany na bezałogowym statku powietrznym mógłby skanować złoża rud fosforano-

wych (bogate w apatyt) lub piaski tytanowe (bogate w ilmenit), które cieszą się rosnącym zainteresowaniem gospodarczym. Międzynarodowa Agencja Energetyczna prognozuje trzykrotny do siedmiokrotnego wzrost popytu na pierwiastki ziem rzadkich do 2040 r. w związku z rozwojem technologii czystej energii [9] oraz równoległy wzrost popytu na minerały wykorzystywane w bateriach i ogniwach fotowoltaicznych [9]. Opracowanie przenośnych spektrometrów MIR do szybkiego rozpoznania takich kluczowych minerałów może pomóc w zaspokojeniu tego popytu. Zasadniczo to samo narzędzie spektralne, które bada zasoby na księżycowych wyżynach, mogłoby badać suche tereny na Ziemi w poszukiwaniu nowych złóż minerałów. W ten spo-

sób następuje bezpośredni transfer technologii z eksploracji kosmosu do przemysłu ziemskiego. Przyszłe misje na Księżyc są również postrzegane zarówno jako poligon doświadczalny dla zrównoważonej eksploracji, jak i motor korzyści gospodarczych na Ziemi dzięki wiedzy o zasobach Księżyca [5]. MIRORES wpisuje się w tę wizję, zapewniając namacalną, podwójną funkcjonalność: spektrometr, który będzie służył misjom księżycowym, a następnie sektorom górnictwem i geologicznym na Ziemi.

Inżynieria spektralna: kompaktowa i wydajna

Projektowanie spektrometru obrazowego do poszukiwań geologicznych w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni stanowi wyzwanie pod względem czułości, rozdzielczości i rozmiarów. MIRORES rozwiązuje te problemy dzięki specjalnie zaprojektowanej matrycy detektora i układowi optycznemu, które zapewniają równowagę między wydajnością a kompaktowością. Jego rdzeniem będzie dwuwymiarowa matryca płaszczyzny ogniskowej (FPA) o rozdzielczości 256 × 320 pikseli, złożona z dwóch matryc, każda o rozdzielczości 256 × 160 pikseli. Te dwie matryce z tellurku rtęciowo-kadmowego (HgCdTe) są chłodzone kriogenicznie i zoptymalizowane odpowiednio dla

Tab. 1. Kluczowe parametry spektrometru MIRORES w konfiguracji księżycowej i UAV

Parametr	Wartość	Konfiguracja / uwagi
Konfiguracja księżycowa		
Zakres spektralny (nominalny)	6–20 μm (MIR), z możliwością rozszerzenia do ~45 μm	Ciągłe 6–14 μm na FPA; konstrukcja zoptymalizowana dla MIR
Rozdzielczość spektralna	~0,5 μm	Dla kanałów wąskopasmowych na matrycy płaszczyzny ogniskowej
Liczba kanałów spektralnych	≥16 wąskich pasm na FPA + 2 pasma dyskretne (17,5, 19 μm)	16 kanałów z filtrem interferencyjnym + detektory piroelektryczne apatytowe/ilmenitowe
Matryca detektorów	256 × 320 pikseli (2 × 256 × 160 matryc HgCdTe)	Zoptymalizowana dla 6–10 μm i 10–14 μm ; $D^* \geq 10^{10}$ Jones
Teleskop	2-lustrzany Cassegrain, lustro główne 30 cm	Składana konstrukcja; mieści się w obudowie mikrosatelity
Pole widzenia	~10	Do swobodnego próbkowania przestrzennego w konfiguracji orbity księżycowej
Próbkowanie przestrzenne (orbita księżycowa)	~100 m/piksel	Przeznaczony do mapowania Księżyca w skali zasobów
Masa instrumentu	<10 kg	Kompletny instrument kosmiczny (z wyłączeniem platformy statku kosmicznego)
Temperatury detektora/optyki	Detektory 50–100 K; przestrzeń między siatką a detektorem ~190 K; optyka ~0 °C	Osiągnięte dzięki miniaturowemu chłodzarkowi kriogenicznemu i stabilizacji termicznej
Wydajność radiometryczna	Dokładność radiometryczna lepsza niż 5 %	Kalibracja pokładowa z pomiarami referencyjnymi/czarnego ciała
Konfiguracja bezałogowego statku powietrznego		
Masa	<3 kg	Urządzenie MIRORES zamontowane na dronie
Zużycie energii	~10 W	Kompatybilny ze średniej wielkości bezałogowymi statkami powietrznymi (np. DJI Matrice 350)
Typowa geometria pomiarowa	Wysokość lotu 50–100 m; zasięg kilkudziesięciu hektarów	Niska wysokość lotu w celu zminimalizowania absorpcji atmosferycznej

pasem fal 6–10 μm i 10–14 μm , oferując wysoką czułość właściwą ($D^* \geq 10^{10}$ Jones). MIRORES wykorzystuje matryce 2D, dzieląc je na podmatryce spektralne: wymiar 160 pikseli wysokości w obu matrycach (łącznie 320 pikseli wysokości) jest koncepcyjnie podzielony na 16 pasków po 20 linii każdy, umożliwiając przechwytywanie 16 różnych pasm długości fal. W praktyce multipleksowanie to osiąga się za pomocą dyskretnych filtrów interferencyjnych, które rozkładają różne części widma na wyznaczone rzędy detektorów. Wdrożenie MIRORES przewiduje około 20 rzędów detektorów na kanał spektralny, aby zapewnić wystarczającą integrację sygnału. Dzięki temu instrument może jednocześnie mierzyć co najmniej 16 wąskich pasm w zakresie 6–14 μm bez ruchomych części, co stanowi znaczną zaletę przy mapowaniu określonych odcisków palców minerałów. Rozdzielczość spektralna wynosi około 0,5 μm . Aby rozdzielić sąsiednie cechy, takie jak pasma 17,5 μm i 19 μm , konstrukcja zawiera siatkę dyfrakcyjną, która kieruje te długości fal do detektorów piroelektrycznych, zwiększając całkowitą liczbę kanałów spektralnych do 18.

MIRORES wykorzystuje konstrukcję teleskopu Cassegraina z dwoma zwierciadłami, która jest złożona do niewielkich rozmiarów. W pierwotnej konstrukcji przewidzianej do obserwacji Marsa średnica zwierciadła głównego i ogniskowa zostały dobrane tak, aby uzyskać rozdzielczość naziemną wynoszącą około 10–20 m/piksel z orbity [10]. W przypadku mapowania Księżyca wymagania zostały złagodzone do rozdzielczości przestrzennej około 100 m/piksel (ponieważ nacisk kładziony jest na identyfikację obszarów bogatych w zasoby na dużą skalę). To złagodzenie wymagań pozwala na uzyskanie szerszego pola widzenia około 10° bez zwiększania rozmiarów optyki (zgodnie z ograniczeniami ESA) lub konieczności wprowadzania znaczących zmian w konstrukcji teleskopu lub układzie chłodzenia. Lustro główne ma średnicę 30 cm (wystarczającą do zbierania światła średniej i dalekiej podczerwieni w całym polu widzenia), a masa całego instrumentu wynosi poniżej 10 kg (rys. 1),

co mieści się w parametrach mikrosatelity [11]. Połowa światła z lustra wtórnego teleskopu przechodzi przez aperurę bezpośrednio do systemu filtrów, który dzieli widmo na wyznaczone segmenty detektora. Dodatkowa siatka dyfrakcyjna dla drugiej połowy światła dyfrakcjonuje fale o długości 17,5 i 19 μm do detektorów piroelektrycznych dla apatytu i ilmenitu. Ta sama siatka dyfrakcyjna może również służyć do dyfrakcji światła do opcjonalnych detektorów siarczków o właściwościach spektralnych między 24 a 39 μm [10, 11] oraz do detektorów lodu wodnego około 43 μm [12], w przypadku przyjętych wersji spektrometru MIRORES do poszukiwania siarczków na Ziemi lub lodu wodnego na Księżycu. W każdym przypadku zostanie zastosowany filtr przepuszczający fale długie, aby odciąć fale o długości poniżej 6 μm i zapewnić niezmienną temperaturę w MIR/FIR.

Kontrola termiczna ma kluczowe znaczenie dla instrumentów działających w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni. Miniaturowy chłodziarka kriogeniczna (np. TC2570) będzie chłodzić detektory MIRORES umieszczone w przestrzeni kosmicznej, aby utrzymać niską temperaturę wymaganą do uzyskania niskiego poziomu szumów. Optyka zostanie ustabilizowana termicznie w pobliżu 0°C , aby zapobiec odkształceniom mechanicznym. Natomiast detektory półprzewodnikowe muszą być schłodzone do temperatury 50–100 K, a przestrzeń między siatką dyfrakcyjną a detektorami jest utrzymywana w temperaturze około 190 K. W obecnym projekcie nowoczesne chłodzone detektory fotoniczne (HgCdTe) oferują znacznie lepszą czułość, dlatego zostały zastosowane pomimo konieczności chłodzenia kriogenicznego. Układy elektroniczne zawierają zintegrowane wzmacniacze dla każdego kanału detektora oraz wielokanałowy odczyt do obsługi 81 920 pikseli (256×320) z prędkością wideo. Dane mogą być przetwarzane na pokładzie w celu przekształcenia surowych sygnałów w skalibrowaną promieniowanie spektralne dla każdego pasma. Kalibracja spektralna wykorzystuje obserwacje referencyjne i znane źródła ciała dosko-

nale czarnego; zgodnie z wymaganiami misji dąży się do osiągnięcia dokładności radiometrycznej lepszej niż 5%.

Testy terenowe i integracja naziemna

Aby wypełnić lukę między projektem a wdrożeniem, MIRORES przechodzi stopniowe testy w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Wstępna walidacja skupiała się na jego podstawowej funkcji: rozróżnianiu sygnatur mineralnych w mieszanych scenach. W laboratorium sproszkowane próbki minerałów (np. apatyt, ilmenit, piryty) są analizowane za pomocą różnych spektrometrów IR w celu wygenerowania widm referencyjnych i symulacji odpowiedzi pasmowych MIRORES. Symulacje oparte na tych pomiarach potwierdziły, że pasma ilmenitu i piryty można wykryć nawet wtedy, gdy minerały te stanowią zaledwie około 10% mieszanki proszkowej z krzemianami, biorąc pod uwagę rozdzielczość spektralną i stosunek sygnału do szumu MIRORES [10, 11]. Badania takie zwiększają pewność, że instrument wykryje minerały rudne na tle regolitu [10, 11]. Wreszcie, prototyp MIRORES jest wykorzystywany do pozyskiwania widm średniej i dalekiej podczerwieni tych samych próbek, potwierdzając, że pasma diagnostyczne zidentyfikowane w symulacjach są obserwowalne za pomocą samego instrumentu.

Równolegle z testami statycznymi zespół rozpoczął integrację MIRORES z dronem (rys. 2A). Niewielka masa (<3 kg) i zużycie energii (10 W) MIRORES sprawiają, że możliwe jest latanie średniej wielkości dronem, takim jak DJI Matrice 350, w celu przeprowadzenia badań na obszarze kilkudziesięciu hektarów. MIRORES może latać nad wychodniami skalnymi i kopalniami odkrywkowymi zawierającymi różne minerały rudne. Przewiduje się tryb skanowania autonomicznego, w którym dron przesuwając pole widzenia spektrometru po siatce, tworząc mapę spektralną absorpcji. Chociaż warunki atmosferyczne wpływają na wykrywanie w zakresie średniej i dalekiej podczerwieni z platformy powietrznej, loty na niskiej wysokości

(50–100 m) w suchych warunkach mogą zminimalizować absorpcję przez parę wodną. Ponadto pasma powyżej $\sim 12 \mu\text{m}$ (np. 17–20 μm) można częściowo skorygować za pomocą wbudowanych w drona czujników wilgotności atmosferycznej. MIRORES jest również dostosowywany do zastosowań stacjonarnych (np. skanowanie rudy na przenośnikach taśmowych w kopalniach), a nawet jako ręczny analizator minerałów (rys. 2B i 2C).

Wyniki trwających testów stanowią wskazówki do wprowadzenia ostatecznych poprawek technicznych. Na przykład, jeśli okaże się, że silne wibracje gruntu mają wpływ na detektor, można zastosować dodatkowe mocowania tłumiące. Kolejne kroki będą polegały na zwiększeniu autonomii i wytrzymałości prototypu. W celu długoterminowego zastosowania w terenie, potencjalnie w kopalniach lub miejscach poszukiwań, opracowywana jest w pełni samodzielna jednostka (z wbudowanymi źródłami kalibracji i przetwarzaniem danych). Poprzez demonstrację działania poza laboratorium zespół MIRORES zmniejsza ryzyko związane z ewentualnym wykorzystaniem w przestrzeni kosmicznej i buduje wiarygodność zastosowania w przemyśle ziemskim.

Perspektywy na przyszłość i wizja strategiczna

Dzięki zgodności z aktualnymi inicjatywami badawczymi MIRORES szybko przechodzi od etapu koncepcji do wdrożenia. Instrument został wybrany jako podstawowy ładunek w badaniu fazy A dla potencjalnej misji księżycowej, gdzie jego zdolność MIR $\sim 6\text{--}20 \mu\text{m}$ wypełnia zauważalną lukę w wymaganiach naukowych misji. W ramach sponsorowanej przez ESA fazy A projektu High-Resolution Lunar Mineralogy Mapper zespół udoskonalił projekt lotu MIRORES, aby zapewnić, że pole widzenia, rozdzielczość spektralna i inne parametry spełniają ograniczenia statku kosmicznego. W ciągu najbliższych 1–2 lat zespół zamierza podnieść poziom gotowości technologicznej (TRL) instrumentu kosmicznego z obecnego

~ 5 (walidacja komponentów w laboratorium) do TRL 7–8 poprzez zbudowanie modelu kwalifikowanego pod względem inżynierskim oraz modelu lotniczego. Modele te zostaną poddane testom termiczno-próżniowym, testom wibracyjnym oraz kalibracji radiometrycznej w celu symulacji warunków panujących na orbiterze księżycowym. Celem jest przygotowanie misji MIRORES do 2028 r. i jej rozpoczęcie do 2029 r.

Równolegle strategiczna wizja obejmuje również wykorzystanie komercyjne i naukowe na Ziemi. Dążenie do zrównoważonej gospodarki kosmicznej uwydatniło, w jaki sposób technologie opracowane na potrzeby eksploracji mogą stymulować innowacje na Ziemi [6]. MIRORES stanowi przykład tego paradygmatu podwójnego zastosowania. Ponieważ agencje kosmiczne i przedsiębiorstwa inwestują w poszukiwania na Księżycu, ten sam czujnik może być oferowany przedsiębiorstwom górniczym lub geologom na Ziemi jako narzędzie do szybkiego mapowania minerałów. Przewidujemy model usług, w którym instrumenty MIRORES są rozmieszczane (na dronach lub stałych platformach) w celu skanowania obszarów zainteresowania zidentyfikowanych na podstawie zdjęć satelitarnych, zapewniając wysokiej jakości mapy mineralogiczne, które służą jako wskazówki do wiercenia lub wydobywania. Takie podejście zmniejszy koszty i czas kampanii eksploracyjnych poprzez precyzyjne wskazanie obszarów bogatych w rudy za pomocą teledetekcji zamiast szeroko zakrojonych badań próbnych. Wstępne rozmowy z partnerami branżowymi koncentrowały się na integracji danych MIRORES z istniejącymi procesami poszukiwawczymi, na przykład poprzez wykorzystanie hiperspektralnych obrazów termicznych wraz z konwencjonalnymi badaniami lotniczymi. Dzięki modułowej konstrukcji instrumentu możemy dostosować go do różnych platform: wersja próżniowa do statków kosmicznych i wersja atmosferyczna (z obudową ochronną i chłodzeniem) do użytku naziemnego.

Co ważne, pojawienie się MIRORES następuje w momencie gwałtownego

wzrostu popytu na minerały krytyczne. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) poinformowała w 2023 r., że globalny popyt na pierwiastki ziem rzadkich może wzrosnąć o 300–700% do 2040 r. w scenariuszach dotyczących czystej energii [9]. Elementy takie jak fosfor (w rolnictwie) oraz metale, takie jak miedź, nikiel i kobalt, również mają odnotować gwałtowny wzrost popytu [9]. Zaspokojenie tego popytu w sposób zrównoważony będzie wymagało nie tylko wydobywania nowych złóż na Ziemi, ale także, w dłuższej perspektywie, pozyskiwania surowców spoza naszej planety. MIRORES przyczynia się do realizacji obu tych celów: umożliwia bardziej efektywne odkrywanie pozostałych zasobów Ziemi oraz charakteryzuje zasoby pozaziemskie, które mogą stanowić podstawę eksploracji Księżyca. Instrument ten jest zatem zgodny z szeroką wizją strategiczną podzielaną przez agencje kosmiczne i przemysł, zgodnie z którą mapowanie i wykorzystanie zasobów stanowi pomost między eksploracją kosmosu a potrzebami gospodarczymi Ziemi [5].

W sektorze kosmicznym MIRORES ma szansę przyczynić się do realizacji przyszłych misji skupionych na geologii Księżyca, zwłaszcza jako główny lub dodatkowy ładunek w misjach małych satelitów orbitujących wokół Księżyca. Ze względu na niewielką masę i moc MIRORES może być również brany pod uwagę w misjach na asteroidy lub Marsa. Podsumowując, MIRORES reprezentuje nową klasę spektrometrów MIR/FIR, które łączą innowacje techniczne ze strategicznym znaczeniem dla poszukiwania zasobów. Przyczynia się do realizacji celów naukowych, wypełniając lukę obserwacyjną w zakresie MIR/FIR i identyfikując minerały kluczowe dla nauk planetarnych i wykorzystania zasobów in situ. Jednocześnie odpowiada na komercyjne zapotrzebowanie na ulepszone narzędzia do wykrywania minerałów na Ziemi w momencie, gdy bezpieczeństwo zasobów ma ogromne znaczenie. W miarę jak ludzkość rozszerza swój zasięg na Księżyc i dalej, instrumenty takie jak MIRORES będą naszymi „oczami” w długościach fal, które dotychczas były pomijane, prowadząc

nas do materiałów, które będą napędzać zarówno eksplorację kosmosu, jak i zrównoważony rozwój na Ziemi.

Wnioski

MIRORES to kompaktowy spektrometr średniej i dalekiej podczerwieni, zaprojektowany w celu wypełnienia luki obserwacyjnej w zakresie 6–20 μm dla minerałów zawierających zasoby na Księżycu, jednocześnie wspierając poszukiwania minerałów na Ziemi. Ta technologia kosmiczna o podwójnym zastosowaniu stanowi przykład innowacji międzysektorowej: techniki opracowane do eksploracji Księżyca mogą bezpośrednio usprawnić poszukiwania minerałów na Ziemi i zarządzanie zasobami. Z perspektywy krajowej MIRORES stanowi dla Polski niszową szansę w sektorze kosmicznym, wykorzystując krajową wiedzę specjalistyczną w zakresie projektowania systemów optoelektronicznych, które działają niezawodnie w warunkach wysokiego promieniowania, bardzo niskich temperatur i braku pary wodnej w atmosferze. Dzięki połączeniu dostosowanego zakresu spektralnego, wysokoczułych chłodzonych detektorów i kompaktowej, składanej konstrukcji optycznej, MIRORES umożliwia wykrywanie kluczowych minerałów rudnych, takich jak apatyt i ilmenit, z orbity księżycowej, platform UAV i stałych instalacji przemysłowych. Planowane dopracowanie instrumentu kosmicznego do misji księżycowej, wraz z trwającymi próbami terenowymi i integracjami naziemnymi, wskazuje, że MIRORES może służyć jako pomost technologiczny między poszukiwaniem zasobów kosmicznych a bardziej wydajnymi, opartymi na danych procesami eksploracyjnymi w sektorach górnictwa i geologii.

Podziękowania

Praca została sfinansowana przez projekt ESA SPARK nr 1-2024/08 oraz projekt Narodowego Centrum Nauki w Polsce nr 2020/37/B/ST10/01420 dla Jakuba Ciążeli.

Materiały źródłowe

- [1] Nishiyama, G., Namiki, N., Sugita, S. i Uno, S. (2022). Wykorzystanie satelity meteorologicznego jako teleskopu kosmicznego: widmo średniej podczerwieni Księżyca widziane przez Himawari-8. *Earth, Planets and Space*, 74, 105. DOI: 10.1186/s40623-022-01662-x.
- [2] Bandfield, J.L., Ghent, R.R., Vasavada, A.R., Paige, D.A., Lawrence, S.J. i Robinson, M.S. (2011). Obfitość skał na powierzchni Księżyca i temperatury drobnych cząstek regolitu na podstawie danych z radiometru LRO Diviner. *Journal of Geophysical Research*, 116, E00H02. <https://doi.org/10.1029/2011JE003866>
- [3] Bandfield, J.L., Hayne, P.O., Williams, J.P., Greenhagen, B.T. i Paige, D.A. (2015). Chropowatość powierzchni Księżyca na podstawie obserwacji radiometru LRO Diviner. *Icarus*, 248, 357–372. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.11.009>
- [4] Honniball, C. I., Lucey, P. G., Li, S., Shenoy, S., Orlando, T. M., Hibbitts, C. A., Hurley, D. M. i Farrell, W. M. (2021). Woda molekularna wykryta na oświetlonym przez Słońce Księżycu przez SOFIA. *Nature Astronomy*, 5, 121–127. DOI: 10.1038/s41550-020-01222-x.
- [5] Neal, C. R., Salmeri, A., Abbud-Madrid, A., Carpenter, J. D., Colaprete, A., Hibbitts, K. A., Kleinhenz, J., Link, M. i Sanders, G. (2024). Księżyc potrzebuje międzynarodowej kampanii poszukiwania zasobów księżycowych. *Acta Astronautica*, 214, 737–747. DOI: 10.1016/j.actaastro.2023.11.017.
- [6] Europejska Agencja Kosmiczna (ESA). (2019). Strategia ESA dotycząca zasobów kosmicznych. Paryż: ESA. Dostępne pod adresem: <https://sci.esa.int/s/WyP6RXw>
- [7] Kahle, A. B. i Rowan, L. C. (1980). Ocena wielospektralnych obrazów lotniczych w średniej podczerwieni do celów mapowania litologicznego w górach East Tintic w stanie Utah. *Geology*, 8(5), 234–239. DOI:10.1130/0091-7613(1980)8<234:EOMMIA->2.0.CO;2..
- [8] Taranik, J. V., Coolbaugh, M. F. i Vaughan, R. G. (2009). Przegląd teledetekcji w podczerwieni termicznej z zastosowaniem do poszukiwań geotermalnych i mineralnych w Wielkiej Kotlinie w zachodniej części Stanów Zjednoczonych. Teledetekcja i geologia spektralna (Recenzje w geologii ekonomicznej, tom 16, str. 41–57). Towarzystwo Geologów Ekonomicznych. DOI: 10.5382/Rev.16.05
- [9] Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA). (2021). Rola minerałów krytycznych w przejściu na czystą energię: Raport specjalny World Energy Outlook. Paryż: IEA. Dostępny pod adresem: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- [10] Ciążela, J., Bąkała, J., Kowaliński, M., Plocieniak, S., Zalewska, N., Pieterek, B., Mrozek, T., Ciążela, M., Paślowski, G., Stęśliński, M., Szaforz, Ż., Barylak, J., Kuzaj, M., Maturilli, A., Helbert, J., Muszyński, A., Rataj, M., Gburek, S., Józefowicz, M. i Marciniak, D. (2022). Koncepcja i projekt spektrometru dalekiej podczerwieni ORE na Marsie (MIRORES). *Teledetekcja*, 14(12), 2799. DOI: 10.3390/rs14122799.
- [11] Ciążela, J., Bąkała, J., Kowaliński, M., Pieterek, B., Stęśliński, M., Ciążela, M., Paślowski, G., Zalewska, N., Sterczewski, Ł., Szaforz, Ż., Józefowicz, M., Marciniak, D., Fitt, M., Śniadkowski, A., Rataj, M. i Mrozek, T. (2023). Geologia rud księżycowych i możliwość wykrywania minerałów rudnych za pomocą spektrometru dalekiej podczerwieni. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1190825. DOI: 10.3389/feart.2023.1190825.
- [12] Ciążela, J., Bąkała, J., Kowaliński, M., Ciążela, M., Zalewska, N., Badura, I. i Goski, S. (2025). MIRORES: kompaktowy spektrometr dalekiej podczerwieni do identyfikacji rud księżycowych i przyszłych misji ISRU. 76. Międzynarodowy Kongres Astronautyczny (IAC 2025), Sydney, Australia, 29 września – 3 października 2025 r. © Międzynarodowa Federacja Astronautyczna.

Edukacja ery kosmicznej



Piotr A. Wrzecioniarz

Prof. Uczelni Wyższych:
Politechnika Wrocławska (em),
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu (em),
Collegium Witelona Uczelnia Państwowa w Legnicy,

Przewodniczący Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych

piotr.wrzecioniarz@tvvp.pl

1. Wprowadzenie

Praktyczna era kosmiczna rozpoczęła się w latach 50-tych ubiegłego wieku. Jej początki są znane. Przyjmuje się, że szerzej idea nowoczesnej komercjalizacji kosmosu pojawiła się na początku XXI wieku [3]. Rozwój będzie następował zarówno w sferze cywilnej jak i wojskowej, o czym mogą świadczyć np. prace zawarte w tym numerze "Przeglądu Komunikacyjny" [1, 2].

Na naszych oczach rozwija się nowa gałąź przemysłu. Państwa, które zechcą budować ten rodzaj działalności muszą nie tylko zapewnić odpowiednie środki finansowe ale także przyczynić się do przygotowania kadr w obszarze zaawansowanych technologii.

Dotychczasowy rozwój edukacji kosmicznej w warunkach krajowych przebiegał w sposób spontaniczny. Prekursorzy dostrzegali nowo pojawiające się możliwości i podejmowali próby w oparciu o posiadaną wiedzę pochodzącą z innych obszarów ludzkiej edukacji i działalności. Przykładowo podczas klasycznego seminarium dyplomowego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej definiowano kierunki „Future oriented”. W roku 2000 jeden z ówczesnych dyplomantów zainteresował się zagadnieniami kosmicznymi i wraz z kolegami z innych ośrodków został członkiem założycielem „Mars Society Polska” powołanego pierwotnie przez Roberta Zubrina z USA w roku 1998, koncentrującego się na projektach kolonizacji i eksploracji

Marsa. Ówczesny student (obecnie dr) jest członkiem założycielem KKTK.

Dziesięć lat później zaczęły powstawać we Wrocławiu pierwsze prywatne firmy kosmiczne. Znaleźli się odważni prekursorzy i samodzielnie zdobywając wiedzę oraz środki finansowe organizowali zespoły zatrudniając studentów i absolwentów różnych kierunków studiów bazując w znacznej mierze na entuzjastach podboju kosmosu. Doksztalanie studentów trwało równolegle z rozwojem firm. Obecnie już mamy konstrukcje w przestrzeni kosmicznej. Okres prekursorski minął. Nadchodzi czas na szersze usystematyzowane wprowadzenie zagadnień kosmicznych do edukacji.

Zmiany następują także w aktualnych centrach wzrostu. Podczas pobytu na Uniwersytecie Stanforda, umownej stolicy Doliny Krzemowej, zapoznano się z zawodami dla uczniów szkół średnich z zakresu nowoczesnej robotyki. W ten sposób przygotowuje się odpowiednich abiturientów z San Francisco i okolic, którzy trafią na uczelnie i później do programów kosmicznych NASA i firm prywatnych.

Na drugim końcu świata w Chinach uczniowie szkół podstawowych wykonują projekty robotów kosmicznych o czym można było przekonać się podczas Expo 2021/2022 w Dubaju, gdzie w pawilonie chińskim były prezentowane prace chińskich dzieci. Podczas International Astronautical Congress, który odbywał się w tym czasie, kilka tysięcy uczestników z całego świata mogło zapoznać się

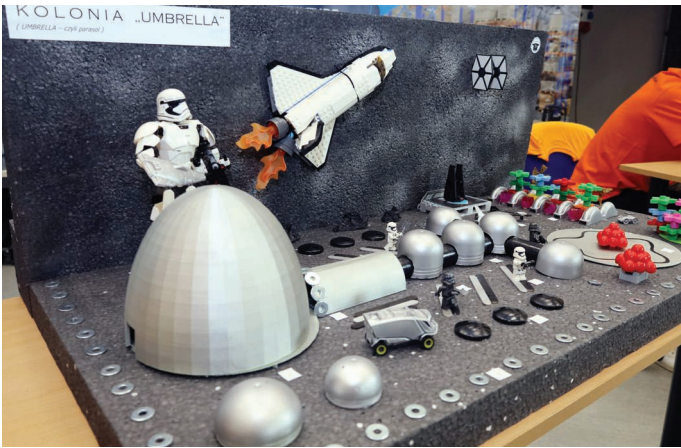
z tymi pracami. Przypomnijmy ponadto, że chińskie dzieci, już obecnie od najmłodszych lat, zapoznają się z technologiami AI podobnie jak dzieci z USA.

Na bazie tych sygnałów pochodzących z obu centrów wzrostu, w opracowaniu niniejszym, przedstawia się niektóre doświadczenia zdobyte w naszym kraju w zakresie edukacji kosmicznej a także przemysłu, które można wykorzystać w dydaktyce nie tylko przez zespoły funkcjonujące na terenie Dolnego Śląska.

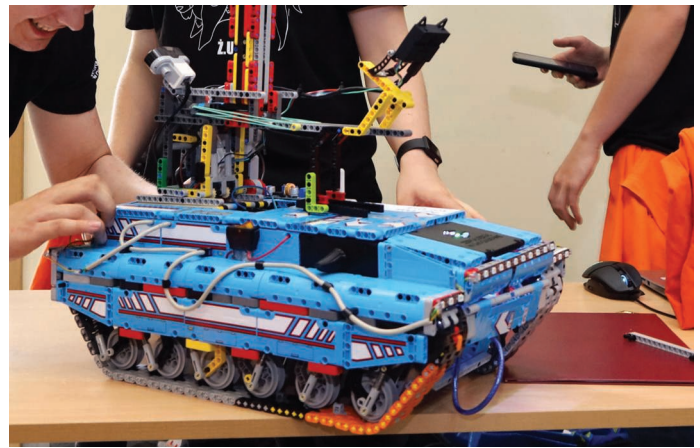
2. Wybrane tendencje w kształceniu

Jest wiele opracowań dotyczących rozwoju kształcenia. W tym opracowaniu przytoczone zostaną idee związane z szeroko rozumianą technologią. Wybór jest podyktowany tym, że już obecnie Polska jest 20-tą gospodarką świata. Wprowadzenie naszego kraju do pierwszej 15-ki będzie możliwe pod warunkiem utrzymania rozwoju porównywalnego z tym co osiągnęliśmy w ostatnich 30-tu latach z uwzględnieniem ogólnościwiatowych tendencji. Zatem nasz wybór związany jest przede wszystkim z dalszym rozwojem w obszarze nauk technicznych, które, jak powszechnie wiadomo, wyprzedzają inne dziedziny [5, 6, 7, 8].

Niezależnie od kręgu kulturowego, kraju i części świata uważa się aktualnie, że kształcenie w zakresie kierunku STEAM (Science – Technology – Engineering – Art. - Mathematics tj. Nauka – Technologia – Inżynieria – Sztuka



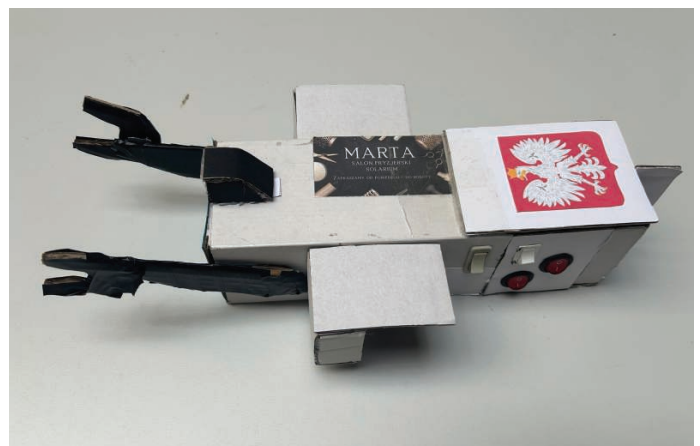
1. Collegium Witelona



2. Collegium Witelona



3. Collegium Witelona



4. Instytut Inwentyki

– Matematyka) jest najważniejsza dla dalszego rozwoju cywilizacji. Czasem pisze się także o rozwoju obszarów TED (Technology – Enterteimnet – Design tj. Technologia – Rozrywka – Projektowanie).

Oczywistym jest, że także inne dziedziny jak np. techniki twórczego rozwiązywania zagadnień, pracy zespołowej oraz zdrowo pojętej rywalizacji w obszarach związanych z nowymi technologiami itp. przyczyniają się do istotnego rozwoju. Nie będą jednak tutaj rozważane.

Mając kilkudziesięcioletnie doświadczenie w zakresie twórczości technicznej na poziomie uniwersyteckim, wzorem najlepszych amerykańskich uczelni technicznych takich jak Stanford i MIT, podjęto ponad 20 lat temu podobne próby w naszym kraju w zakresie współpracy ze szkołami. Poniżej opisane zostaną niektóre doświadczenia z tej działalności.

3. Przykładowe eksperymenty dydaktyczne

3.1. Nauczanie a czas wdrażania innowacji

Na bazie współpracy z takimi firmami jak TUV, Mercedes-Benz, Volkswagen, 3M, Porsche, KGHM można sformułować ogólne wnioski. W przypadku działalności pracowników naukowych wymaga się na ogół szybkiego, efektywnego wdrożenia na maksymalnym poziomie światowym tak, by firma liderowała w konkretnym zakresie działalności. Czas wdrożenia ma być krótki.

W przypadku naszych studentów szykowaliśmy ich w ciągu ostatnich lat studiów, aby rozwijali firmy, do których trafią bądź też aby sami zakładali firmy akademickie w całkowicie nowych obszarach. To stało się w branży kosmicznej. W tym przypadku wdrożenie i sukces natychmiastowy nie był w zasadzie możliwy. Prekursorom zajmowało to od 3 do 5 lat zanim zanotowali postęp i liczące się sukcesy.

Widomym jest, że w przypadku szkół średnich na ogół należy przygotować młodzież do pracy z wyprzedzeniem ponad 10 lat niezbędnych na skończenie szkoły oraz studiów wyższych.

W przypadku pierwszych klas szkoły podstawowej jest to już okres ponad 15 lat.

Oczywistym jest, że nauczyciele nie posiadają wiedzy tak daleko wybiegającej w przyszłość.

Pamiętajmy także o tym, że przez ostatnie pół wieku w naukach technicznych występował transfer wiedzy jak na np. rysunku 5.

PRZEMYSŁ KOSMICZNY → LOTNICZY → MOTORYZACYJNY

5. Klasyczny transfer wiedzy

Transfer ten wynikał ze znaczącego finansowania zagadnień kosmicznych przez jednostki państwowe, a wykorzystywanie technologii odbywało się w innych gałęziach gospodarki, w tym wielkoseryjnej produkcji.

Obecnie w dobie komercjalizacji kosmosu firmy korzystają z innych obszarów ludzkiej działalności i doko-

nują transferu wiedzy w odwrotnym kierunku tj. do przemysłu kosmicznego np. znacznie obniżając jednostkowe koszty produkcji. A zatem rozwój i przyspieszona komercjalizacji kosmosu wymagają innego podejścia do zagadnień kształcenia. Rozwój liniowy będzie trwał zbyt długo. Wymagany jest model równoległy.

Opis przykładowych działań zawiera kolejna część niniejszego tekstu.

3.2. Krótka historia robotyki szkolnej [4]

W niniejszym rozdziale przedstawia się kamienie milowe związane z ogólnym rozwojem robotyki (poz. 1-16) oraz bardziej szczegółowo praktyczne działania w zakresie robotyki szkolnej (poz. 17-36), zrealizowane we Wrocławiu, na terenie Dolnego Śląska i w końcu na obszarze całego kraju. Widać wyraźnie jak od klasycznej robotyki przechodzą do robotyki kosmicznej. Trwało to ponad 20 lat.

1. Zapoznanie się z raportami MITI na temat przyszłości robotyki (Oxford 1985).
2. Wstępny projekt polskiego odkurzacza autonomicznego na bazie marki „Zelmer” (1992).
3. Projekt i budowa pierwszego polskiego robota autonomicznego „Wrocławik” (2004).
4. Projekt i budowa pierwszego polskiego robota antropomorficznego „Prof. Wrocławski” (2006).
5. Budowa w Zakładzie Pojazdów Wydziału Mechanicznego Poli-

techniki Wrocławskiej laboratorium współpracujących robotów autonomicznych (2007- 2010).

6. Budowa robotów nanosumo, minisumo i sumo (2011).
7. Wizyta na Uniwersytecie Stanforda i w NASA (2012).
8. Pierwszy Polski Pojazd Autonomiczny na bazie samochodu Toyota Yaris (2012).
9. Udział z sukcesami w zawodach robotycznych w Wiedniu (2013).
10. Budowa układu podwójnego: autonomiczny samochód + autonomiczny dron do udziału w programie Valeo (Paryż 2013).
11. Udział w inauguracji European Rover Challenge razem z prof. Howardem Scottem (NASA, Stanford University) oraz dr. Robertem Zubrinem, twórcą „Mars Society” (Kielce 5-7.09.2014).
12. Robot do inspekcji rurociągów (2017).
13. Robot do badań jakościowych powierzchni w budownictwie (2017).
14. Od roku 2019 współpraca z firmą SatRevolution w zakresie konstelacji satelitów oraz robotyzacji w

kosmosie.

15. Wydanie na podstawie zorganizowanych konferencji w latach 2016-2020 książki o zrobotyzowanych szpitalach przyszłości pt. „Hospital 4.0” (Politechnika Wrocławska, 2020).
16. Prezentacja na Międzynarodowym Kongresie Astronautycznym w Dubaju koncepcji rozwojowych dla autonomicznej robotyki na Marsie i Księżycu (2020, 2021).

Równolegle przez ponad 20 lat rozwijano tematy związane bezpośrednio z robotyką szkolną, dokonując transferu wiedzy do szkół, najpierw Wrocławia, a później całej Polski.

17. Rozwijanie zainteresowań robotyką u własnych dzieci począwszy od przedszkola a skończywszy na studiach wyższych (od początku XXI w.).
18. Rozwijanie zainteresowań studentów w specjalnie utworzonym Międzywydziałowym Kole Naukowym Pojazdów i Robotów Mobilnych (KNPiRM) na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wro-



6. Instytut Inwentyki



7. Instytut Inwentyki

- clawskiej (skrótowa nazwa LEM – Light Electric Motorcycle, od początku XXI w.).
19. Udział w pierwszych zawodach robotycznych na Dolnym Śląsku „Mistrzostwa Polski Modeli Robotów i Jednostek Ratowniczych” (Rob-Rat), zorganizowanych przez Młodzieżowy Dom Kultury im. M. Kopernika we Wrocławiu (2003).
 20. Utworzenie ponad 30 kół robotycznych wraz z Urzędem Miejskim w szkołach Wrocławia (2010).
 21. Zorganizowanie pierwszej w Polsce „Ligi Robotów” jw. (2011-2014).
 22. Zorganizowanie I Mistrzostw Polski Robotów (Wrocław 2012).
 23. Udział w programie „Z małej szkoły w wielki świat” - 119 szkół, 641 nauczycieli, 8343 uczestników na terenie całej Polski (2010-2013).
 24. Utworzenie do roku 2018 ponad 40 kół robotycznych na terenie całego kraju.
 25. Zorganizowanie w LZN we Wrocławiu pierwszej konferencji nt. nauczania robotyki w szkołach podstawowych i średnich (2018).
 26. Reaktywacja po pandemii programu „Robotyka w szkołach Dolnego Śląska” (Legnica 18.06.2021).
 27. Opracowanie strategiczne Instytutu Inwentyki pt. „Robotyka szkolna w Polsce” (28.07.2021).
 28. Uruchomienie programu „Laboratoria przyszłości” przez MEiN, ponad 1 mld zł dla szkół podstawowych na terenie całego kraju (od 15.09.2021).
 29. Konferencje w zakresie robotyki szkolnej organizowane wspólnie z Dolnośląskim Ośrodkiem Doskonalenia Nauczycieli we Wrocławiu (15.11.2021; 21.06.2022; 20.10.2022; 15.12.2022).
 30. Konferencje regionalne organizowane wspólnie z Dolnośląskim Kuratorem Oświaty (sierpień 2022), podczas których informowano o programie „Robotyka w szkołach Dolnego Śląska” (Wrocław, Legnica, Wałbrzych, Jelenia Góra).
 31. Przeprowadzenie ankiety współ-

pracy wśród szkół Dolnego Śląska (sierpień 2022).

32. Utworzenie listy szkół biorących udział w programie (listopad 2022).
33. Sformowanie Zespołu Liderów programu „Robotyka w szkołach Dolnego Śląska” (15.12.2022).
34. Powołanie Zespołu Ekspertów programu „Robotyka w szkołach Dolnego Śląska” (15.12.2022).
35. Przedstawienie programów zajęć dla szkół podstawowych z zakresu robotyki szkolnej (31.01.2023).
36. Przedstawienie harmonogramu działań na rok 2023 (31.01.2023).
37. Zorganizowanie pod patronatem KGHM Mistrzostw Polski Robotów (Wrocław – 01.06.2023, Legnica 19.06.2023).
38. Zorganizowanie Mistrzostw Polski Robotów z udziałem Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego, uczelni wyższych, Krajowego Komitetu Technologii Kosmicznych, NOT oraz studentów, a także uczniów szkół podstawowych (Wrocław – Legnica październik 2025).

3.3. Robotyka kosmiczna [9]

Projekty z zakresu robotyki kosmicznej przygotowano po pandemii COVID w roku 2022 i uruchomiono w Legnicy po raz pierwszy podczas Mistrzostw Polski Robotów w roku 2023. Zawody robotyczne zorganizowano pod patronatem Premiera Rzeczypospolitej Polskiej ze wsparciem finansowym największej firmy Dolnego Śląska jaką jest KGHM. Poniżej przedstawiono przykładowe zdjęcia z tego wydarzenia a także wybrane prace uczniów szkół podstawowych.

W roku 2024 nie otrzymano wsparcia i projekt nie został uruchomiony. W roku 2025 Mistrzostwa Polski Robotów zorganizowane we Wrocławiu jak i w Legnicy zawierały konkurencje dotyczące projektów kosmicznych. Zorganizowano je przy wsparciu Urzędu Marszałkowskiego Województwa Dolnośląskiego, Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych przy udziale NOT Wrocław oraz NOT Legnica. Na kolejnych zdję-

ciach przedstawiono wybrane prace uczniowskie.

3.4. Program „Klucz do kosmosu”

W roku 2025 pojawił się także projekt POLSA skierowany do uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych powyżej 12 roku życia. Dostarczony zestaw zawiera film instruktażowy, instrukcję montażu, ćwiczenia z podstaw lutowania, scenariusze zajęć i projekty 3D. Program wystartował 7.11.2025. Na razie brak jest informacji o rezultatach praktycznych projektu.

W niniejszym artykule nie omawia się zawodów „Rover Challenge” dla studentów Szkół Wyższych mając nadzieję, że tematyka zostanie przedstawiona przez organizatorów także na łamach niniejszego „Przeglądu Komunikacyjnego”, gdyż warto ten sukces upowszechnić nie tylko w Polsce.

4. Wnioski

Wnioski bezpośrednie z Mistrzostw Polski Robotów 2025

- Oba ośrodki Wrocławski i Legnicki są prekursorami w skali kraju i naturalnymi miejscami rozwoju robotyki szkolnej w tym kosmicznej od wielu lat i powinny być w dalszym ciągu wykorzystywane do rozwijania tej tematyki. Tutaj są bardzo dobre warunki a także znajdują się odpowiednie kadry. Zebrani entuzjaści tematyki robotycznej są także zdolni do opracowywania zasad gwarantujących rozwój tego obszaru edukacji [10].
- Należy kontynuować tematykę robotyczną, która dotarła już na stosunkowo dużą skalę do szkół podstawowych.
- Należy rozważyć uruchomienie tematyki robotów wojskowych / wojennych w przyszłych zawodach robotycznych.
- Współpraca z NOT Wrocław i NOT Legnica oraz z Uczelniami Wyższymi powinna być kontynuowana i rozszerzana. Można w tym celu wykorzystać struktury NOT na terenie całego kraju.
- Program robotyczny powinien

obejmować zarówno przedszkola, szkoły podstawowe jak i szkoły średnie i na stałe powinien wejść do programu wspierania Urzędów Marszałkowskich całego kraju.

- Należy przewidzieć dodatkowe wynagrodzenia lub specjalne nagrody dla zaangażowanych opiekunów młodzieży.
- Dolny Śląsk będący ważnym ośrodkiem przemysłowym powinien rozwijać proponowane formy działalności, co ułatwi rozwój gospodarczy regionu na wysokim poziomie w najbliższej przyszłości. Należy idee i działania zrodzone na Dolnym Śląsku przenieść przez KKTK na teren całego kraju.

Wnioski o charakterze ogólnym

Rozwój gospodarczy a także przyszłość społeczeństw opiera się w dużym stopniu na rozwoju technologicznym co widoczne jest od wielu lat w Dolinie Krzemowej a także coraz bardziej na Dalekim Wschodzie. Podstawą tego jest wprowadzenie do praktyki dydaktycznej na jak najwcześniejszym etapie kształcenia kierunków STEAM a także obszarów TED. Od trzech lat dochodzi do tego AI, co odkryli już prekursorzy rozwoju na całym świecie. Olbrzymie pieniądze wydane na „Laboratoria przyszłości” dostarczyły odpowiedni sprzęt do szkół podstawowych, w tym zestawy robotyczne oraz drukarki 3D, co nie jest wykorzystywane.

Na powyższe wpływa ogólna sytuacja w systemie edukacji o czym świadczą podstawowe dane przedstawione w ostatnim raporcie TIEMS. W Polsce w systemie edukacji brakuje od 15 do 30 tys. nauczycieli. Każdego roku z zawodu nauczycieli odchodzą dziesiątki tysięcy osób. W roku 2024 było to 20 tys. Prawie połowa mających doświadczenie poniżej 5 lat rozważa zmianę profesji. Nauczyciele są najbardziej wypaloną grupą zawodową. Tylko 30% deklaruje zadowolenie z pracy. W Finlandii 92%, a w Norwegii 88%. Polska ma obecnie najstarszą kadrę pedagogiczną w Europie, co utrudnia wprowadzenie

innowacji. Władze zajmują się sprawami ideologicznymi zamiast rozwiązywać problemy związane z rozwojem technologicznym. Polska zmierza ku edukacyjnej katastrofie, co można było usłyszeć na wielu konferencjach (ECC Katowice, Forum G2 we Wrocławiu). Ostatnio wprowadzane zmiany w podstawie programowej budzą dużo dodatkowych niepotrzebnych emocji, stąd pozytywistyczne działania naszego zespołu powinny być ze wszech miar wspierane. Musimy nadal działać i robić swoje. Na bazie doświadczeń MPR 2025 postanowiliśmy zorganizować ponownie Mistrzostwa Polski Robotów szkół średnich. Wstępne uzgodnienia poczyniono z Lotniczymi Zakładami Naukowymi oraz z SIMP NOT we Wrocławiu. Nadal musimy dbać o rozwój edukacyjny naszego regionu a za naszym przykładem pójdą niewątpliwie inni, gdyż takie są nieuchronne tendencje rozwojowe świata.

Dążąc do przyspieszenia rozwoju obszaru kosmicznego proponuje się także propagowanie wśród studentów a także uczniów idei przedsiębiorczości akademickiej i szkolnej. Podobnie jak kiedyś w obszarze IT tak teraz w obszarze kosmicznym powinny powstawać start-up'y już na poziomie edukacji zgodnie z polskim prawem, już od 16 roku życia. W tym celu m.in. należy tworzyć już w szkołach średnich Kosmiczne Koła Naukowe. Szkolne Koła Naukowe powinny być organizowane jak najlepsze koła na Uczelniach w branży automotive funkcjonujące jak firmy przemysłowe.

Z uwagi na szczupłość specjalistycznych kadr naukowych na uczelniach należy rozważyć prowadzenie zajęć przez pracowników kilku uczelni tak, by objąć całe spektrum zagadnień na możliwie najwyższym poziomie. Współpraca jest konieczna.

W ten sposób edukacja kosmiczna obejmie jednocześnie wszystkie poziomy kształcenia. I znów Polska będzie mogła odnieść sukces, podobnie jak w branży IT, przybliżając nas do celu jakim powinno być osiągnięcie poziomu 15 gospodarki świata.

Niniejszy apel kierujemy do wszystkich naszych czytelników, en-

tuzjastów zagadnień kosmicznych, Członków Krajowego Komitetu ds. Technologii Kosmicznych, nauczycieli, studentów i uczniów. NOT - Naczelna Organizacja Techniczna zwana też bywa Niezależną Organizacją Techniczną. Niezależnie od poglądów, przeszłości, płci i opcji politycznych proponujemy rozwiązania jutra już obecnie dla wszystkich zainteresowanych.

W razie wyrażenia chęci współpracy prosimy o bezpośredni kontakt. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Majewski, L. „Sektor kosmiczny w systemie obrony i bezpieczeństwa państwa. Analiza strategiczna i rekomendacje działań. „Przegląd Komunikacyjny”, nr 2, 2026.
- [2] Wrochna, G. „Nowa dekada polskiej obecności w kosmosie”, Przegląd Komunikacyjny, nr 2, 2026.
- [3] Wrzecioniarz, P. „O potrzebie współpracy w sektorze kosmicznym”. Przegląd Komunikacyjny nr 7-8, 2025.
- [4] Wrzecioniarz, P. „Robotyka w Szkole Podstawowej”, część I, II, III, IV, V. Instytut Inwentyki, 2025.
- [5] Wrzecioniarz, P. (red) „Przedsiębiorczość akademicka Dolnego Śląska”, Oficyna Wydaw. Politech. Wrocławskiej, 2010.
- [6] Wrzecioniarz, P. (red) „Nauczanie Przedsiębiorczości na Dolnym Śląsku”, Oficyna Wydaw. Politech. Wrocławskiej, 2012.
- [7] Wrzecioniarz, P., Bartosz, B., Siemież, T. (red.), „Transfer wiedzy na rzecz jakości życia”, Eneteia, 2014.
- [8] Wrzecioniarz, P. (red.), „Przedsiębiorczość akademicka”, Collegium Witelona Uczelnia Państwowa, 2022.
- [9] Wrzecioniarz, P. wypowiedź w panelu dyskusyjnym „Jak kształcimy kadry dla sektora kosmicznego”, Forum Innowacji, Port Lotniczy, Wrocław, 3-4.XII.2025.
- [10] Wrzecioniarz, P., Chodorowski, T. „O konieczności współpracy nauki i gospodarki” Konsulting Polski Nr 17-18, 2024.