



Tytuł opracowania: Ekspertyza dotycząca oceny gotowości polskich technologii upstream do wykorzystania w misjach księżycowych – analiza technologiczna i TRL

Autor ekspertyzy: prof. Marek Banaszekiewicz

Opracowanie wykonane na zlecenie: Polska Agencja Kosmiczna

Rok opracowania: 2025

Spis treści

1.	Streszczenie wykonawcze.....	3
2.	Wprowadzenie.....	4
	Kontekst krajowy i międzynarodowy.....	4
	Uzasadnienie potrzeby ekspertyzy (dlaczego temat jest ważny)	4
	Powiązanie z Polską Strategią Kosmiczną.....	4
	Powiązanie z ESA/NASA/EU Space Programme	5
	Opis metodyki pracy (analizy, źródła, konsultacje)	5
3.	Cel ekspertyzy.....	6
4.	Zakres ekspertyzy	6
	Analiza kompetencji krajowych.....	6
	Ocena i rozwój TRL.....	7
5.	Analiza stanu technologii	8
6.	Analiza kompetencji i potencjału w Polsce	17
7.	Propozycja kierunku rozwoju	18
8.	Plan rozwoju technologii / ścieżka TRL	19
9.	Możliwości współpracy międzynarodowej.....	19
10.	Analiza ryzyk i barier.....	20
11.	Rekomendacje strategiczne.....	20
12.	Podsumowanie	20
13.	Bibliografia i źródła.....	21
	Załącznik A. Lista podmiotów polskiego sektora kosmicznego i ich poziom TRL.....	22

1. Streszczenie wykonawcze

Ekspertyza ma przedstawić potencjał rozwoju technologii eksploracyjnych rozwijanych w Polsce w kontekście planowanych międzynarodowych programów i misji do Księżyca. Wykuta przez NASA strategia Moon to Mars i jej program wykonawczy Artemis kreślą plany trwałej obecności ludzi i robotów na powierzchni naturalnego księżyca Ziemi. Księżyc i powstająca w jego pobliżu orbitalna baza cis-lunarna mają być naturalnymi platformami do wypraw na Marsa, pozbawionymi głównego defektu wypraw marsjańskich z powierzchni Ziemi – konieczności pokonania głębokiej studni grawitacyjnej.

Polski sektor kosmiczny jest chętnym odbiorcą projektów technologicznych w ESA. Świadczy o tym nad-subskrypcja polskich projektów w programie GSTP (General Support Technology Programme) Europejskiej Agencji Kosmicznej. Polskie firmy i instytuty uczestniczą w międzynarodowych projektach związanych z eksploracją Księżyca. Planowane są też przedsięwzięcia w ramach narodowego programu kosmicznego, łącznie z polską misją orbitalną monitorującą powierzchnię Księżyca. Łączna liczba projektów księżycowych, w których uczestniczą polskie podmioty osiąga ... i angażuje ... przedsiębiorstw i instytutów. Główne obszary technologiczne, w których odnajdują się polskie firmy i jednostki badawcze to: platformy satelitarne, instrumenty optyczne, manipulatory kosmiczne, urządzenia mechaniczne pracujące na powierzchni Księżyca, systemy wynoszenia ładunków z jego powierzchni, elementy lądowników, systemy łączności.

W kontekście zwiększonych wydatków polskiego rządu na międzynarodowe programy kosmiczne (ESA) i przedsięwzięcia narodowe (program Piast, satelity ICEIYE) oraz lokowania sporych sum na program eksploracyjny ESA warto inwestować w eksplorację Księżyca.

W ekspertyzie przedstawiono listę kluczowych, jeszcze nie opanowanych, technologii eksploracyjnych przygotowana przez NASA. To drogowskaz dla polskiego sektora kosmicznego. Przeanalizowano ponad 50 przedsiębiorstw z bazy danych Polski o potencjale angażowania się w misje „upstream”. Okazało się, że 10 – 15 z nich osiągnęło już TRL 9, a kolejne 15 jest na poziomie TRL 6, zatem potrzebuje ok 3 lat by dotrzeć do szczytu drabiny TRL. To jest dobra grupa, która zapewni absorpcję środków z programu opcjonalnego ESA.

Pomimo tego optymistycznego wniosku, istnieje zagrożenie, że nie odnajdziemy się w głównym nurcie działań eksploracyjnych, jeśli nie wypełnimy luk w polskiej ekspertyzie technologicznej. Dotyczy to działań na powierzchni Księżyca, które wymagają technologii pozyskiwania gazów (tlen, wodór) i paliwa z regolitu księżycowego, tworzenia habitatów, operowania lądownikami i łazikami. W ekspertyzie zaproponowano jak można zmierzyć się z takim problemem.

2. Wprowadzenie

Kontekst krajowy i międzynarodowy

Eksploracja Księżyca, później Marsa i asteroidów to przedsięwzięcia długotrwałe i kosztowne. Wymagają wizji ujętej w karby programów operacyjnych obejmujących kolejne etapy eksploracji, od misji zwiadowczych, poprzez budowę infrastruktury orbitalnej, lądowanie na Księżycu, stworzenie habitatu dla astronautów, aż do wykorzystania naturalnych zasobów mineralnych do produkcji wody, tlenu i paliwa raketowego, a w ostatecznym etapie produkcję żywności dla astronautów.

Podobnie jak w przypadku programu Apollo, misje eksploracyjne nie wynikają jedynie z chęci dokonywania odkryć naukowych i rozwoju nowych technologii ale stanowią oręż polityczny w rywalizacji super potęg, w tym wypadku USA i Chin. Chiny już prawie dekadę temu zadeklarowały, że wyślą astronautów na Księżyc około 2030 r i wytrwale realizują swój program, o którym wiadomo niezbyt wiele. Odpowiedzią USA jest program Artemis, który też ma doprowadzić do wznowienia przez Amerykanów lotów załogowych na Księżyc. W dalszej perspektywie rozważane są korzyści ekonomiczne wynikające z eksploracji Księżyca, choć zapewne przez długi czas wydatki będą dominować nad wpływami.

Polska Agencja Kosmiczna podpisała w 2021 r umowę Artemis Accords o przystąpieniu do programu Artemis i stała się jednym z 59 państw które zgrupowały się wokół inicjatywy amerykańskiej. W programie bierze też udział Europejska Agencja Kosmiczna i Japońska Agencja Kosmiczna, które oprócz udziału w Artemis realizują własne programy badawcze. W podobnej sytuacji są Indie.

Chiny we współpracy z Rosją chcą zbudować Międzynarodową Księżycową Stację Badawczą (International Lunar Research Station – ILRS) w jednym z kraterów w okolicy południowego bieguna Księżyca. Chińczycy nie ukrywają, że są chętni i otwarci na międzynarodową współpracę. 23 kwietnia 2025 r, podczas posiedzenia Podkomisji Naukowo-Technicznej Komitetu Narodów Zjednoczonych ds. Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej (COPUOS), oficjalnie zaprosili innych międzynarodowych partnerów do współtworzenia tego ambitnego projektu. Do tej pory wolę współpracy zadeklarowało 10 krajów: Wenezuela, Białoruś, Pakistan, Azerbejdżan, Republika Południowej Afryki, Egipt, Nikaragua, Tajlandia, Serbia i Kazachstan. Rosyjska inwazja na Ukrainę położyła kres perspektywom zaangażowania Zachodu w projekt ILRS, przynajmniej na ten moment. Europejska Agencja Kosmiczna oświadczyła, że nie zaangażuje się w projekt ze względu na udział w nim Rosji.

Polska ma ambicje uczestniczyć w programach eksploracyjnych i lokuje w nie znaczna część składki opcjonalnej do ESA. Poza oczywistymi korzyściami naukowymi i technologicznymi jest to dziedzina, która szczególnie silnie działa na wyobraźnię młodych ludzi i ma, w związku z tym, istotne znaczenie edukacyjne. Dla wielu młodych, przyszłych adeptów inżynierii satelitarnej i badań kosmicznych programy i misje kosmiczne mogą być fascynującą przygodą.

Uzasadnienie potrzeby ekspertyzy (dlaczego temat jest ważny)

Eksploracja stanowi dużą część programu Europejskiej Agencji Kosmicznej, w ramach której Polska może realizować swoje ambicje kosmiczne. Na obecnym stanie rozwoju polskiego sektora kosmicznego, przy kilkuset podmiotach zarejestrowanych w platformie ESA, wysyłania własnych misji satelitarnych i w związku ze znaczącym wzrostem składki do ESA w latach 2026 – 2028 udział polskich przedsiębiorstw i instytucji badawczych w misjach księżycowych może być istotny. Właściwa alokacja funduszy w projektach eksploracyjnych wymaga określenia zarówno potencjału polskich podmiotów, jak i obszarów technologicznych o dużym znaczeniu dla międzynarodowych programów kosmicznych, w których zaangażowanie Polski otworzyłoby możliwości dalszej ekspansji w przyszłości. Niniejsza ekspertyza skupi się na pierwszym z tych aspektów, ale weźmie także pod uwagę drugi z nich.

Powiązanie z Polską Strategią Kosmiczną

Przyjęta w 2017 r Polska Strategia Kosmiczna określiła główne cele rozwojowe polskiego sektora kosmicznego, jednak nie odniosła się bezpośrednio do aktywności eksploracyjnej. Postulowała natomiast:

- rozwój współpracy międzynarodowej poprzez aktywne uczestnictwo w programach i projektach kosmicznych, w szczególności w projektach Europejskiej Agencji Kosmicznej
- rozwój technologii, które mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach przemysłu

Obydwie aktywności będą mogły być zrealizowane w programie eksploracji Księżyca, który opiera się na współpracy międzynarodowej i rozwija unikalne technologie, które w przyszłości posłużą w programach przemysłowej eksploatacji ciał układu słonecznego bliskich Ziemi.

Powiązanie z ESA/NASA/EU Space Programme

Większość przedsięwzięć realizowanych przez polskie podmioty kosmiczne odbywa się obecnie w ramach programów ESA. Jest to bezpieczny sposób realizacji misji kosmicznych, bowiem gwarantuje profesjonalny nadzór specjalistów z ESA nad realizacją projektów. Niezależnie, polskie firmy biorą udział w dużych projektach Horyzontu Europa ([Poland in orbit: five EU-funded space research projects in the spotlight - European Health and Digital Executive Agency \(HaDEA\)](#)). Dwie inne ścieżki, które będą mogły być wykorzystane w przyszłości, gdy polskie firmy będą proponowały rozwiązania o komercyjnej wartości to: (i) udział w programie CLPS ([Commercial Lunar Payload Services - NASA](#)) jako dostawca sprzętu dla firmy amerykańskiej (vide: sensor na podczerwień firmy VIGO na łąziku marsjańskim), (ii) realizacja projektu prywatnego lub prywatno-publicznego przy pomocy środków pozyskanych od „venture capital”.

Opis metodyki pracy (analizy, źródła, konsultacje)

Ze względu na krótki okres przygotowania ekspertyzy jest ona oparta głównie o materiały źródłowe z internetu. Jest to jednak bogate źródło, w którym zwarta jest większość informacji niezbędnych do wykonania ekspertyzy. Podstawowa trudność polega na tym, że nie wszystkie przedsiębiorstwa podają poziom TRL, na jakim znajdują się rozwijane przez nie technologie. Bezpośredni kontakt z dostawcą technologii może nie rozwiązać tego problemu, bowiem nie zawsze jest on pewien jak zaawansowane jest jego rozwiązanie według skali TRL proponowanej przez ESA. W takim przypadku stosowany będzie prosty system, który najpierw oszacuje zgrubnie poziom w skali: prototyp – TRL 3, przetestowane środowiskowo urządzenie – TRL 6, urządzenie sprawdzone w przestrzeni kosmicznej – TRL 9. To wstępne przypisanie zostanie uściślone w kolejnym kroku analizy poprzez pozostawienie TRL bez zmian albo odjęcie lub dodanie 1 poziomu TRL po wnikliwym przeglądzie proponowanego rozwiązania.

Innym problemem związanym z oceną TRL są przypadki rozwiązań już sprawdzonych w kosmosie, które jednak muszą być zmodyfikowane ze względu na odmienne warunki pracy, zmianę platformy lub z innych przyczyn. W ocenie TRL takiego rozwiązania zostanie mu przypisany poziom TRL 6.

Warto też zwrócić uwagę na odmiennosc zaliczania technologii do „upstream” lub „downstream” w przypadku Ziemi lub Księżyca. Na przykład obserwacje Ziemi (w szczególności przetwarzanie obrazów satelitarnych) są zaliczane do technologii „downstream”. W przypadku Księżyca obserwacje jego powierzchni (a więc i uzyskanie precyzyjnej informacji obrazowej) nie służy, na obecnym etapie aktywności eksploracyjnej, zastosowaniom, ale jest narzędziem badawczym lub wspierającym działania eksploracyjne (np. wybór miejsca lądowania lub umieszczenia habitatu). Zatem firmy geoinformatyczne, które potrafią przetwarzać i interpretować zdjęcia z powierzchni Księżyca można, w takim wypadku, też zaliczyć do działających w sektorze „upstream”.

Konkretnymi źródłami danych były:

- (i) Baza danych POLSA - [Baza podmiotów - POLSA - Polska Agencja Kosmiczna](#)
- (ii) Baza danych Związku Pracodawców Sektora Kosmicznego - [PL_6955_08_space_layout_wybrane_v20_sklad_net.pdf](#)
- (iii) Strony internetowe polskich podmiotów sektora kosmicznego
- (iv) Artykuły i wzmianki w mediach branżowych, np. Space24

3. Cel ekspertyzy

Celem ekspertyzy jest kompleksowa ocena dojrzałości technologicznej (TRL), dostępności, kompatybilności i potencjału rozwojowego polskich technologii upstream kluczowych dla misji księżycowych ESA, NASA oraz komercyjnych. W szczególności w zakres opracowania wejść:

- identyfikacja polskich technologii upstream związanych z misjami księżycowymi (mechanika, struktury, materiały, sensory, elektronika, robotyka, ADCS, systemy łączności),
- ocena aktualnego TRL oraz mapowanie przeciwko wymaganiom ESA/NASA,
- analiza zgodności z architekturą misji księżycowych (orbitery, lądowniki, CLPS, Gateway),
- identyfikacja głównych barier (technologicznych, certyfikacyjnych, infrastrukturalnych),
- rekomendacja technologii o najwyższym potencjale wdrożenia do 2035,
- wstępna ścieżka rozwoju (TRL roadmap).

4. Zakres ekspertyzy

Ekspertyza dotyczy analizy stanu rozwoju technologii eksploracji Księżyca w Polsce. Podobnie jak w innych państwach europejskich pomysły na rozwój technologii księżycowych przeszły z fazy aktywności badawczej do działań wdrożeniowych z chwilą ogłoszenia programu Artemis (2017 r) a później jego podpisania przez większość państw ESA (od 2020 r). Polska jest w tym procesie nieco opóźniona, bowiem zwiększenie finansowania w programach ESA, umożliwiające śmielsze działania, nastąpiło w 2023 r. Nie jest to jednak znacząca bariera, zwłaszcza, że w nowej perspektywie finansowej ESA pojawią się w polskim programie opcjonalnym znaczne fundusze na eksplorację.

Naturalnym działaniem dla wielu polskich firm było przeniesienie technologii z misji wokółziemskich na misje księżycowe. Dla misji satelitarnych wiąże się to z dodatkowymi utrudnieniami:

- (i) Trzeba zaprojektować i zrealizować trajektorię dolotu do Księżyca, co wymaga dwóch manewrów orbitalnych: przejścia z orbity wokółziemskiej na orbitę przelotową, wejścia z orbity przelotowej na orbitę wokółksiężycową.
- (ii) Trzeba rozwinąć trzy podsystemy satelitarne: napędowy, kontroli lotu, nawigacji
- (iii) Należy uwzględnić inne niż na orbicie wokółziemskiej warunki środowiskowe:
 - a. Zwiększoną radiację podczas przejścia przez pasy van Allena
 - b. Inne warunki temperaturowe
 - c. Inny cykl zmiany oświetlenia słonecznego niż na orbicie wokółziemskiej

Misje połączone z lądowaniem na powierzchni Księżyca są zupełnym novum dla europejskiego sektora kosmicznego. Poza nieudanym lądowaniem prekursora sondy ExoMars na powierzchni Marsa, Europa nie przeprowadziła jeszcze kontrolowanego procesu opuszczenia sondy na powierzchnię innej planety. Polska powinna zdecydować, czy chce się w ten segment włączyć, czy pozostawi go partnerom europejskim a sama zajmie się technologiami związanymi z działaniami na powierzchni Księżyca, np. eksploracją zasobów Księżyca przy pomocy mobilnych robotów.

Kolejny obszar technologiczny to działania związane z powstającą stacją Gateway, do której ESA dostarczy kilka modułów. Działania na samej stacji też trzeba zliczyć do aktywności eksploracyjnej.

Na koniec pozostaje bardzo ciekawy segment – transport ładunków pomiędzy stacją Gateway a powierzchnią Księżyca. W Polsce istnieje kilka firm i instytutów rozwijających technologie raketowe, zatem mogłyby one próbować wejść do tego obszaru działalności.

Analiza kompetencji krajowych

Kompetencje polskiego sektora kosmicznego będą badane z wykorzystaniem baz danych POLSA i ZSPK, firma po firmie. Uwypuklone zostaną obszary gdzie te kompetencje są dzielone pomiędzy kilka firm oraz takie, w których nie ma jeszcze polskiego udziału.

Ocena i rozwój TRL

Ocena TRL będzie przeprowadzona na podstawie opisu technologii dostarczonego przez firmy, a w przypadku gdy takiej deklaracji firmy brak, na podstawie oceny autora zgodnej z zasadami przedstawionymi we Wprowadzeniu. Przytaczamy niżej skalę TRL używaną przez ESA, zgodnie z dokumentem ECSS-E-HB-11A . Rozwój TRL w misjach ESA liczy się, na ogół, w tempie 1 TRL/rok. W misjach New Space ten okres jest krótszy. Podobnie, jeśli technologia jest rozpowszechniona i nieobjęta patentem przyrost TRL może wynosić 2 TRL/rok.

Tabela 1. Poziomy TRL wg. ECSS-E-HB-11A

Technology Readiness Level	Milestone achieved for the element
TRL 1: Basic principles observed and reported	Potential applications are identified following basic observations but element concept not yet formulated.
TRL 2: Technology concept and/or application formulated	Formulation of potential applications and preliminary element concept. No proof of concept yet.
TRL 3: Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept	Element concept is elaborated and expected performance is demonstrated through analytical models supported by experimental data and characteristics.
TRL 4: Component and/or breadboard functional verification in laboratory environment	Element functional performance is demonstrated by breadboard testing in laboratory environment.
TRL 5: Component and/or breadboard critical function verification in a relevant environment	Critical functions of the element are identified and the associated relevant environment is defined. Breadboards not full-scale are built for verifying the performance through testing in the relevant environment, subject to scaling effects.
TRL 6: Model demonstrating the critical functions of the element in a relevant environment	Critical functions of the element are verified, performance is demonstrated in the relevant environment and representative model(s) in form, fit and function.
TRL 7: Model demonstrating the element performance for the operational environment	Performance is demonstrated for the operational environment, on the ground or if necessary in space. A representative model, fully reflecting all aspects of the flight model design, is build and tested with adequate margins for demonstrating the performance in the operational environment.
TRL 8: Actual system completed and accepted for flight ("flight qualified")	Flight model is qualified and integrated in the final system ready for flight.
TRL 9: Actual system "flight proven" through successful mission operations	Technology is mature. The element is successfully in service for the assigned mission in the actual operational environment.

5. Analiza stanu technologii

Duże programy eksploracyjne (NASA – Artemis, ESA – część eksploracyjna Strategii 2040, Chińska Agencja Kosmiczna – Zhang) poprzedzone są wnikliwymi analizami technologii prowadzonym według schematu:

- (i) Co jest celem, co należy osiągnąć w dziedzinie technologii?
- (ii) Jaki jest stan wyjściowy – aktualny rozwój technologii?
- (iii) Jakie inwestycje (w sprzęt i ludzi) należy poczynić, by dokonać skoku technologicznego?
- (iv) Jak długo zajmie rozwój technologii do pożądanego stanu?
- (v) Ile to będzie kosztowało?
- (vi) Jakie są ryzyka w rozwoju i jak ich uniknąć?

Dysponując taką wiedzą można przygotować dokumenty strategiczne kreślące długofalowy plan eksploracji (np. na 20 lat do przodu) i przygotować program zawierający kolejne etapy rozwoju.

Najbardziej kompletnym, dostępnym dokumentem tego typu jest amerykańska strategia „Moon to Mars” i na jej podstawie zostaną przedstawione główne wyzwania technologiczne misji eksploracyjnych. Na strategię „Moon to Mars” składa się szereg dokumentów, z których dwa są szczególnie istotne:


- (i) White Papers ([Moon to Mars Architecture - White Papers - NASA](#)), zawiera odnośniki do około 30 ważnych dokumentów, opisujących m.in. architekturę systemu systemów eksploracji, wymagania dotyczące systemów nawigacji, telekomunikacji, zasilania oraz bariery technologiczne, które należy pokonać
- (ii) Definicję architektury ([Moon to Mars Architecture - Architecture Definition Documents - NASA](#)), w której zawarte są kolejne dokumenty ułożone przyrostowo (poprawiane wersje z kolejnych lat of 2022 do 2025 r).

Najlepszym odnośnikiem do dalszych analiz jest dokument ([add-revision-c-20251211.pdf](#)), zawarty w zestawie (ii). Ten 304-stronicowy dokument składa się z 3 rozdziałów i 6 załączników. Architektura zdefiniowana jest jako struktura wysokiego poziomu, która definiuje system. Zawiera zbiór reguł, wytycznych i ograniczeń, które definiują spójną i logiczną strukturę składającą się z części składowych, relacji i połączeń, które określają, jak te części pasują do siebie i ze sobą współdziałają.


Dokument zawiera cele do osiągnięcia w wybranych dziedzinach nauk podstawowych i stosowanych oraz w technologii (Infrastruktura księżycowa, Infrastruktura marsjańska, Habitat + transport, Operacje).

Kolejny rozdział zawiera podział architektury (według różnych kryteriów) na segmenty, pod-architektury i elementy. Cztery segmenty (części architektury wybrane ze względu na misje, jakie mają realizować) to:


- (i) Powrót ludzi na Księżyc

	Human Lunar Return <i>See Section 2.1.1</i>	Initial capabilities necessary to re-establish human presence on and around the Moon.
---	---	---

- (ii) Podstawy eksploracji

	Foundational Exploration <i>See Section 2.1.2</i>	Expansion of lunar capabilities supporting complex orbital, surface, and Mars precursor missions.
---	---	---

- (iii) Trwała ewolucja eksploracji Księżyca

	Sustained Lunar Evolution <i>See Section 2.1.3</i>	Growing capabilities to enable economic opportunity, global access, and regular human presence.
---	--	---

(iv) Ludzie na Marsie




















Humans to Mars
See Section 2.1.4

Initial capabilities necessary to establish a human presence on Mars.































Pod-architektury to systemy funkcjonalne wspomagające działania w segmentach:

Icon	Sub-architecture Name	Decomposition Abbreviation
	Autonomous Systems and Robotics	A
	Communications and Positioning, Navigation, and Timing Systems	C
	Data Systems and Management	D
	Habitation Systems	H
	Human Systems	X
	Infrastructure Support	G
	In-situ Resource Utilization Systems	I
	Logistics Systems	L
	Mobility Systems	M
	Power Systems	P
	Transportation Systems	T
	Utilization Systems	U

Elementy systemu, które wspierają segment Powrotu ludzi na Księżyc przedstawione są poniżej:

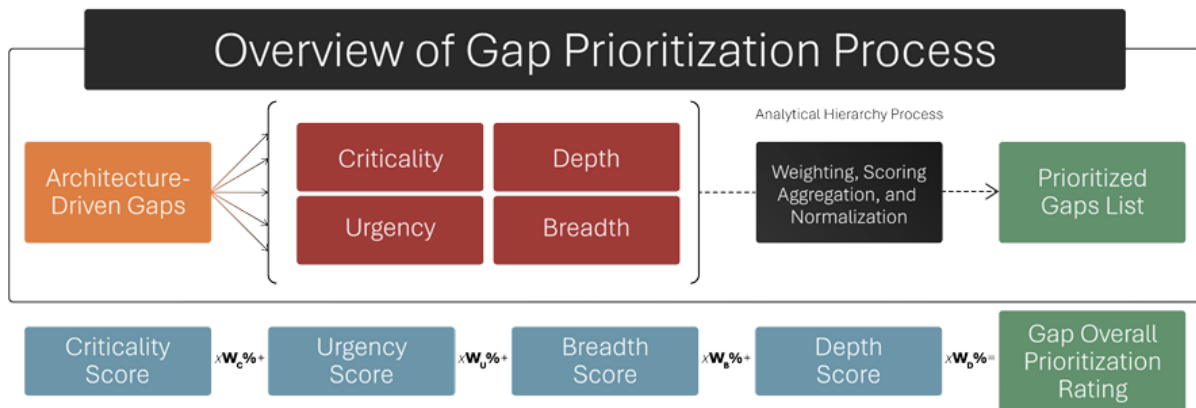
Icon	Element Name	Sub-Architecture	Section	Mapping
	Commercial Lunar Payload Services	 Transportation Systems	2.3.1	B.3.1
	Exploration EVA Systems	 Mobility Systems	2.3.2	B.3.2
	Exploration Ground Systems	 Infrastructure Support	2.3.3	B.3.3
	Gateway Crew-Capable Configuration	 Habitation Systems	2.3.4	B.3.4
	Gateway Logistics Element	 Logistics Systems	2.3.4.1.4	B.3.4.1.1
	Human Landing System	 Transportation Systems	2.3.5	B.3.5.1
	Orion Spacecraft	 Transportation Systems	2.3.12	B.3.12
	Space Communications and Navigation Networks	 Communications and Positioning, Navigation and Timing Systems	2.3.14	B.3.14
	Space Launch System	 Transportation Systems	2.3.15	B.3.15

Podobny rozbiór na elementy w przypadku segmentu Podstaw eksploracji ma postać:

Icon	Element Name	Sub-Architecture	Section	Mapping
	Commercial Lunar Payload Services	 Transportation Systems	2.3.1	B.3.1
	Exploration EVA Systems	 Mobility Systems	2.3.2	B.3.2
	Exploration Ground Systems	 Infrastructure Support	2.3.3	B.3.3
	Gateway Crew-Capable Configuration	 Habitation Systems	2.3.4	B.3.4
	Gateway Logistics Element	 Logistics Systems	2.3.4.1.4	B.3.4.2.1
	Human Landing System	 Transportation Systems	2.3.5	B.3.5
	Human-Class Delivery Lander	 Transportation Systems	2.3.6	B.3.6
	Initial Surface Habitat	 Habitation Systems	2.3.7	B.3.7
	Lunar Nuclear Power System	 Power Systems	2.3.8	B.3.8.1
	Lunar Surface Cargo Lander	 Transportation Systems	2.3.9	B.3.9
	Lunar Terrain Vehicle	 Mobility Systems	2.3.10	B.3.10
	Lunar Utility Rover	 Mobility Systems	2.3.11	B.3.11
	Orion Spacecraft	 Transportation Systems	2.3.12	B.3.12
Icon	Element Name	Sub-Architecture	Section	Mapping
	Pressurized Rover	 Mobility Systems	2.3.13	B.3.13
	Space Communications and Navigation Networks	 Communications and Positioning, Navigation and Timing Systems	2.3.14	B.3.14
	Space Launch System	 Transportation Systems	2.3.15	B.3.15

Te element składowe są następnie poddane analizie czasowej: jak zaprojektować rozwój tych elementów poprzez ewolucję technologii od stanu obecnego do pożądanego stanu końcowego. Cele technologiczne są podporządkowane zadaniom wyznaczonym dla każdego segmentu.

W kolejnym kroku następuje określenie priorytetów barier technologicznych, według algorytmu uwzględniającego krytyczność bariery i pilność jej usunięcia, jak również szerokość (ile pod-architektur zależy od tej bariery) i głębokość (jak daleko pokonanie tej bariery oddziałuje na przyszłe systemy). Schemat procesu określania priorytetów przedstawiony jest poniżej.



Architecture-Driven Technology Gap Prioritization and Weighting Formula

W ten sposób nadano priorytety 57 barierom, od najważniejszych do mniej ważnych. Lista barier przedstawiona jest poniżej:

ID	Gap Title	Priority Rating	Priority Bin
0801	Lunar Dust-Tolerant Systems and Dust Mitigation	1	1
0201	Extreme Environment Avionics	2	
0301	Systems to Survive and Operate through Extended Periods of Lunar Shadow	3	
1107	Cryogenic Fluid Transfer	4	
0103	High-bandwidth, High-reliability Surface-to-Surface Communications	5	
1104	Mars Transportation Propulsion	6	
0806	Payload Offloading, Handling, and Manipulation for Surface Assets	7	
0805	Autonomous Surface Mobility and Navigation	8	
0305	Food and Nutrition Capabilities for Long-Duration Missions	9	
1103	Mars Entry, Descent, and Landing for Human Exploration	10	
0304	Habitat Environmental Monitors and Capabilities to Support Deep Space Missions	11	2
1105	Mars Ascent Propulsion for Human Exploration	12	
0901	Scalable Lunar Surface Power Generation	13	
1001	High-performance Actuators, Sensors, and Interfaces	14	
0807	Docking and Berthing between Surface Elements on the Moon and Mars	15	3
0303	Dormancy Recovery for Habitat Water Storage, Distribution, and Reclamation	16	

ID	Gap Title	Priority Rating	Priority Bin
0307	Radiation Monitoring and Forecasting	17	
1003	Integrated System Fault/Anomaly Diagnosis, Decision Support, and Response	18	
0804	Robotic and Mobility Systems in Extreme Cold Environments on the Lunar Surface	19	
0101	Positioning, Navigation, and Timing for Lunar Surface Extreme Environments	20	
0702	Waste Management	21	
0302	Fire Safety Upgrades for Surviving Exploration Mission Environments	22	
0701	Packing, Transport, and Use of Conditioned Supplies and Commodities	23	
0903	Power Management and Distribution between Surface Elements	24	
0808	Relocation of Large Assets on the Lunar Surface	25	
0202	High-Performance Onboard Computing	26	
1101	Lunar Precision Landing and Hazard Avoidance for Human Exploration	27	
1005	Safe Human-Robot Interaction and Teaming	28	
0505	In-Situ Additive/Subtractive Construction on the Lunar Surface	29	
0504	Autonomous Lunar Surface Structure Assembly and Construction	30	
0803	Extravehicular Activity (EVA) and Intravehicular Activity (IVA) Suit System and Capabilities for Mars Missions	31	
1106	Cryogenic Fluid Storage	32	
1004	Trustworthy Autonomy for Planning and Decision-making	33	4
1002	Autonomous Monitoring for Exploration Missions	34	
0802	Mars Dust-Tolerant Systems and Dust Mitigation	35	
0501	Robotic Inspection, Maintenance, and Repair	36	
1102	Mars Precision Landing and Hazard Avoidance for Human Exploration	37	
1201	In-Situ Sample Storage and Processing	38	
0402	Sensorimotor Countermeasures to Support Extended Habitation in Space	39	5
0401	Crew Exercise Countermeasures to Support Extended Habitation in Space	40	

ID	Gap Title	Priority Rating	Priority Bin
0403	Physiological Countermeasures for Extended Habitation in Space	41	
0404	Behavioral Countermeasures for Extended Habitation in Space	42	
0406	Spacesuit Physiology for Deep Space Missions	43	
1202	Planetary Protection Technologies for Human Exploration	44	
0902	Scalable Mars Surface Power Generation	45	
0405	Exploration Medical Capabilities for Deep Space Missions	46	
0308	Radiation Countermeasures	47	
0104	Earth-Independent Surface Positioning, Navigation, and Timing for Deep Space Missions	48	
0306	Advanced Structures and Materials to Enable Mass-Efficient Habitats	49	
0503	In-Space & Surface Transfer of Earth-Storable Propellants	50	
0102	High-bandwidth, High-reliability Deep Space Communications	51	
0606	Mars ISRU to Support Human Exploration	52	
0605	Lunar Regolith Excavation, Manipulation, and Transportation	53	6
0601	Oxygen Extraction from Lunar Regolith	54	
0603	Water Recovery from Lunar Regolith/Ice	55	
0604	Metal Extraction from Lunar Regolith	56	
0502	In-situ Manufacturing of Spares, Repairs, and New Parts	57	

Każda z barier opisana jest bardziej szczegółowo w omawianym dokumencie ([add-revision-c-20251211.pdf](#))

Przytoczone fragmenty amerykańskiej architektury „Moon to Mars” nie znalazły się przypadkowo w niniejszej ekspertyzie. To do barier wskazanych wyżej będą się musiały odnieść polskie inicjatywy eksploracyjne.

Drugim punktem odniesienia dla polskich projektów eksploracji są strategiczne dokumenty ESA, w szczególności powstała w tym roku (2025) Strategia 2040, wytyczająca cele agencji w pięciu obszarach. Jednym z nich jest eksploracja, przebiegająca według scenariusza przedstawionego na poniższym rysunku.

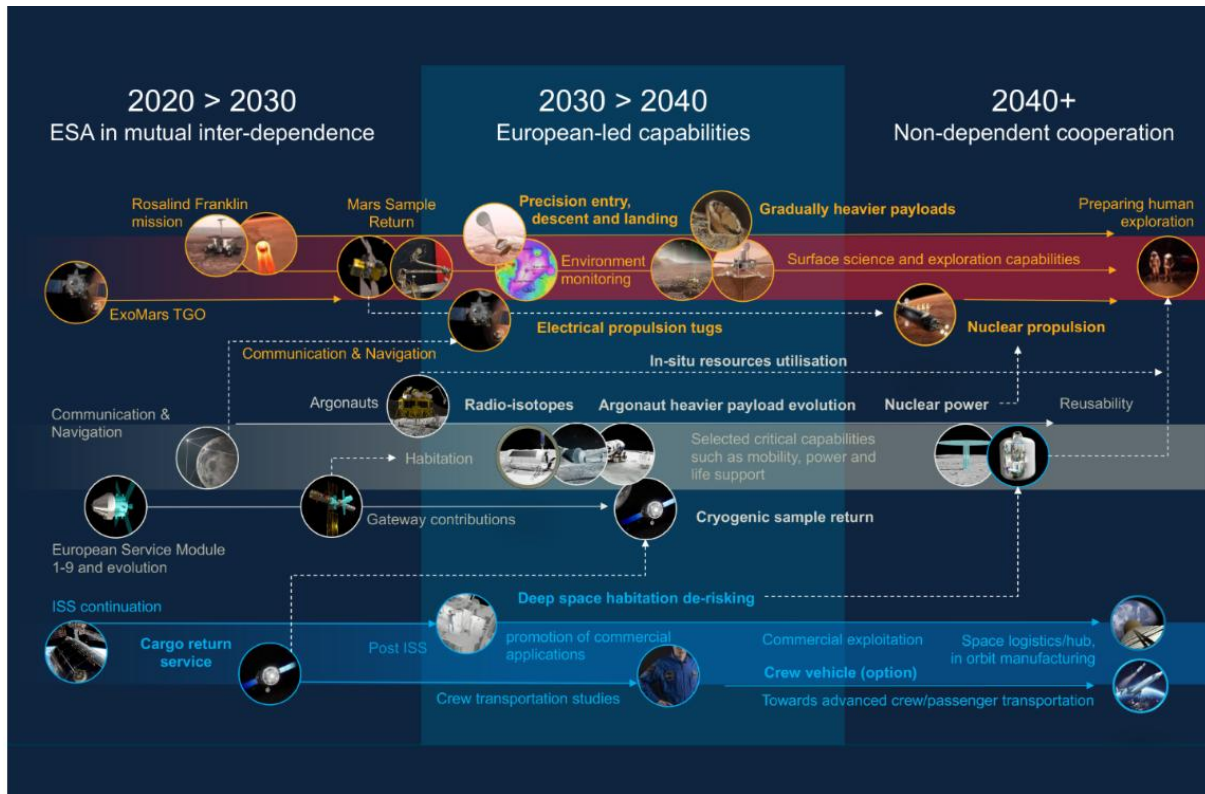
ESA już rozpoczęła przygotowania do wdrożenia tego programu inicjując dwa pod-programy:

- Trzy moduły dla stacji orbitalnej Gateway: Lunar I-Hub, Lunar View and Lunar Link.
- Moonlight program dedykowany zbudowaniu infrastruktury telekomunikacyjnej i nawigacyjnej wokół Księżyca w standardzie LunarNet

Niezależnie, ESA poprzez europejskie firmy kosmiczne przygotowuje kilka kluczowych rozwiązań niezbędnych w eksploracji, np. :

- Łazik Mona Luna
- Lądowniki Argonaut., składające się z modułu lądującego (LDE) i ładunku zmieniającego się z misją (Passanger).
- Heracles, planowana na koniec dekady misja przeniesienia próbek powierzchni Księżyca do stacji Gateway

Polskie firmy nie uczestniczą w tych misjach, ale mają szanse na rozwój podobnych inicjatyw we współpracy międzynarodowej w przyszłości.



6. Analiza kompetencji i potencjału w Polsce

Przegląd polskich firm i rozwijanych przez nie technologii przeprowadzony na podstawie baz danych POLSA i ZPSK pokazuje, że polskie kompetencje w dziedzinie eksploracji grupują się w następujących obszarach:

- (i) Platformy satelitarne
- (ii) Instrumenty optyczne
- (iii) Robotyka kosmiczna
- (iv) Zaawansowane systemy i urządzenia mechaniczne
- (v) Komputery pokładowe
- (vi) Nawigacja satelitarna
- (vii) Systemy zasilania instrumentów naukowych
- (viii) Napędy

Na dobrej drodze do osiągnięcia podobnego poziomu jest:

- (ix) Telekomunikacja

Polskie podmioty sektora kosmicznego można podzielić na pięć grup, w zależności od zaawansowania technologicznego i stopnia złożoności rozwijanych technologii:

- (i) Firmy rozwijające platformy satelitarne i kompletne ładunki, np. Creotech, ScanWay, CBK PAN
- (ii) Firmy o dużym doświadczeniu i potencjale technologicznym tworzące rozwiązania na zlecenie klienta w swoim obszarze kompetencji, np. Astronika, GMV, Sener Polska, N7 Space
- (iii) Firmy dysponujące zaawansowanymi elementami i podsystemami do zastosowania w misjach satelitarnych, np. KPLabs, SpaceForest, Thorium, PIAP Space
- (iv) Firmy stosunkowo młode, które mają pomysł na nową technologię, osiągnęły poziom Proof-of-concept (TRL 3) i szukają szansy na dalszy rozwój
- (v) Start-upy – świeżo założone firmy z pomysłem (TRL 1)

Warto podkreślić aktywność polskich firm w pozyskiwaniu kontraktów i projektów z ESA i KE.

Prasa branżowa donosiła ostatnio o sukcesach polskich firm – liderów sektora kosmicznego w naszym kraju. Warto je tu wymienić:

- Firma Creotech jest liderem zespołu budującego małego satelitę, który będzie krążył wokół Księżyca i wykonywał zobrażenia powierzchni. Misja jest realizowana w programie ESA, a firma ScanWay dostarcza system obrazujący
- Firma ScanWay jest zaangażowana w trzy projekty księżycowe: MANI – mapowanie powierzchni księżyca (misja ESA), Lumi – wysokorozdzielcze mapowanie okolic południowego bieguna Księżyca (misja ESA) oraz misja na pokładzie satelity amerykańskiej firmy Intuitive Machines, w której Scanway umieści teleskop multispektralny.
- PIAP Space jest liderem projektu ESA - RAVEN, który zakłada wystanie satelity z ramieniem robotycznym i chwytakiem do usuwania śmieci kosmicznych.

Te przykłady (a jest wiele innych) wskazują, że współpraca w programach ESA i NASA jest możliwa, gdy kompetencje polskich firm są wysoko oceniane.

W załączniku A do niniejszej ekspertyzy przedstawiona jest analiza ponad 50 podmiotów kosmicznych z Polski, które dysponują technologiami możliwymi do wykorzystania w misjach księżycowych. Wiele z tych firm posiada technologie o wysokim TRL = 9, dysponuje zatem doświadczeniem w przygotowaniu urządzeń pracujących w przestrzeni kosmicznej. Kolejna grupa przedsiębiorstw może dostarczyć technologii o poziomie zaawansowania 5-6, co pozwoli na stworzenie modeli lotnych w ciągu kolejnych 3 lat. Wreszcie ostatnia grupa, to firmy, które dokonały sprawdzenie, że ich koncepcja technologiczna jest słuszna (TRL 3) i przeprowadziły testy funkcjonalne prototypu (TRL 4).

W sumie, polskie firmy tworzą zróżnicowany ekosystem pod względem rozwoju technologicznego, a zadaniem interesariuszy sektora kosmicznego w Polsce jest wspieranie podmiotów na niskim poziomie TRL, dawanie szansy na udział w misjach kosmicznych tym, którzy są na poziomie TRL 6 i lobbowanie za systematycznym zasilaniem kontraktami, firm o ugruntowanej pozycji, tak by mogły zaplanować długofalowy rozwój.

7. Propozycja kierunku rozwoju

Są dwie istotne kwestie, które wymagają analizy, a później działania:

- (i) Polska dość wybiórczo lokuje się na mapie domen technologicznych ESA. Nasze atuty to:
 - a. Systemy mechaniczne (Astronika, Adaptronika, Sener Polska i inne firmy)
 - b. Instrumenty optyczne (głównie Scanway, CBK PAN)
 - c. Robotyka kosmiczna (PIAP Space, CBK)
 - d. Komputery pokładowe (KPLabs, CBK)
 - e. Analiza danych obserwacji Ziemi (wiele podmiotów)
 - f. Odbiorniki naziemne GNSS (Hertz Systems)

W pewnym oddaleniu pozostają:

- g. Telekomunikacja (głównie Thorium)
- h. Oprogramowanie lotne (N7 Space)
- i. Oprogramowanie naziemne (ITTI, GMV)
- j. Napędy (Instytut Lotnictwa, Space Forest)

W bardzo niewielkim stopniu zajmujemy się technologiami materiałowymi, dużymi systemami telekomunikacyjnymi, instrumentami mikrofalowymi, rozwiązaniami dla podsystemu termicznego i AOCS, fotonika, satelitarne systemy nawigacyjne i wiele innych

Warto zadbać, by i w tych dziedzinach pojawili się nowi, ambitni aktorzy na polskiej scenie tacy, którzy z biegiem lat osiągną status wiarygodnych partnerów przedsięwzięć europejskich i światowych. Jest to istotne z trzech punktów widzenia:

- umożliwia polskim integratorom sięganie po technologie krajowe
- zwiększa możliwości wykorzystania funduszy ze składki opcjonalnej ESA
- poszerza możliwości współpracy międzynarodowej; w prawie każdej dziedzinie technologii będzie można sięgnąć po polską firmę

- (ii) Polska nie przebija się jeszcze do pierwszej linii wykonawców i podwykonawców złożonych systemów ESA takich, jak konstelacja Moonlight, czy Gateway. Wynika to trochę z faktu, że europejski sektor kosmiczny jest konserwatywny i zhierarchizowany. Warto walczyć o coraz wyższe miejsce w hierarchii, bo niesie to za sobą cięższe kontrakty, możliwość ustalenia swojej pozycji w danej dziedzinie technologii, zdobywanie doświadczenia w dużych/przetomowych projektach. Dojście do grona zapraszanych do takich projektów wymaga stałego wkładu finansowego do ESA, inwestowania w infrastrukturę i kadry oraz przełamania pewnych stereotypów. Warto wyznaczyć sobie okres 5 lat na realizację takiego celu. W kolejnym kroku należałoby postarać się o liderowanie dużym konsorcjom, ale taki krok będzie wymagał jeszcze większych nakładów i lobbingu politycznego

8. Plan rozwoju technologii / ścieżka TRL

Przy tak dużej liczbie przedsiębiorstw trudno jest wskazać plan rozwoju technologii dla każdej z nich wymagałoby to wielu rozmów z każdym z przedsiębiorców, w których można byłoby przedyskutować plany rozwoju spółki z pozycji jej Zarządu, określić stan obecny spółki i stan oczekiwany po 3-5 latach rozwoju, określić wymagane nakłady finansowe, zbadać rynek, przeanalizować technologie konkurentów, itp. W przypadku 30 – 40 firm to praca na rok dla kilkusobowego zespołu.

Wydaje się, że takie działania mogłyby realizować Polska z udziałem zaproszonych ekspertów. Ważne jest też uzyskanie referencji korzystając z przykładu przedsiębiorstw, które już osiągnęły najwyższy TRL: jak długo zajmowało takim spółkom przejście przez kolejne stopnie drabiny TRL.

Na pewno też warto, by Polska dysponowała ekspertami w każdej z domen technologicznych, a ci mogli śledzić postępy technologii i raportować je do Agencji w cyklu rocznym.

Bardzo ważną kwestią pozostaje stan polskich technologii w dziedzinie eksploracji powierzchni Księżyca. Nie mamy firm pracujących nad reaktorami chemicznymi do produkcji, tlenu, wodoru i paliwa z regolitu księżycowego. Nie prowadzimy prac, nawet studyjnych, nad lądownikami i prawdziwymi (nie studenckimi) łazikami. W pewnym momencie trzeba będzie się zająć kwestią budowy habitatów na powierzchni Księżyca i podtrzymywaniem życia astronautów. Kuszący obszar technologii to rozwój własnych systemów lądowania i startu z Księżyca. Wszystkie te technologie wymagają dotarcia do znacznie szerszego kręgu ich potencjalnych twórców, niż kilkadziesiąt już istniejących firm sektora kosmicznego. To zagadnienie mogłoby być przedmiotem odrębnej ekspertyzy, prowadzonej jednak znacznie dłuższym okresie.

9. Możliwości współpracy międzynarodowej

Przedstawione przykłady sukcesów polskich firm dowodzą, że współpraca międzynarodowa jest nie tylko możliwa, ale też już działa. Firmy o ugruntowanej pozycji mają już swoich partnerów zagranicznych, należy natomiast wspomóc tych, którzy jeszcze takiej współpracy nie nawiązali. Jest wiele instytucji, które mogłyby podjąć się roli brokera takich działań, z Polską na czele.

Przedstawiona analiza została wykonana od strony podażowej: mamy grono polskich firm, które próbujemy dopasować do obszarów technologicznych zdefiniowanych w programach eksploracyjnych. Należałoby też wykonać analizę od strony popytowej. Zgodnie z dokumentem „Moon to Mars” mamy 57 barier technologicznych, których pokonanie warunkuje sukces w programie eksploracyjnym. Większość z nich dotyczy Księżyca. Należałoby dokładnie się z nimi zapoznać, stworzyć katalog możliwych rozwiązań i poszukać w Polsce firm, które chciałyby zaangażować się w realizację najlepszego ich zdaniem pomysłu. Znowu wymaga to grona ekspertów, bo technologie są bardzo rozrzucone – trudno byłoby znaleźć specjalistę, który panuje nad więcej niż 2-3 tematami.

W poprzedniej sekcji przedstawione zostało inne podejście do analizy udziału polskich firm w eksploracji Księżyca, które wymaga aktywnej postawy i wysiłku w zrozumieniu jakie problemy technologiczne trzeba rozwiązać. Wykonanie takiej pracy powinno skutkować:

- (i) Artykułami i prezentacjami konferencyjnymi
- (ii) Nawiązaniem kontaktów z kolegami z zagranicy pracującymi nad podobnymi zagadnieniami
- (iii) Sformułowaniem wspólnych wniosków projektowych
- (iv) Aplikacją o fundusze ESA lub KE

Przedstawiona ścieżka jest żmudna, ale skuteczna. Im szybciej na nią wejdziemy, tym prędyj zbierzemy owoce – ugruntowane zespoły międzynarodowe z udziałem polskich firm i instytutów.

10. Analiza ryzyk i barier

Trzy oczywiste ryzyka instytucjonalne to:

- (i) Brak długofalowego finansowania, wynikający np. z obniżenia składki do ESA. Przedsięwzięcia kosmiczne realizuje się w skali 5-7 lat i taki powinien być horyzont finansowania, przy zgodnej z założeniami realizacji projektów.
- (ii) Brak dostatecznej liczby specjalistów. Polski sektor kosmiczny przeżywa boom, bo zwiększyły się skokowo nakłady. Wykształcenie specjalistów – inżynierów systemowych to okres 3-5 lat. Trzeba stworzyć system kształcenia „na zamówienie” poprzez studia i doktoraty wdrożeniowe oraz studia podyplomowe. To wymaga stworzenia programu i znalezienia mentorów / opiekunów studentów.
- (iii) Zawirowania polityczne, zmiany priorytetów finansowanych dziedzin technologii kosmicznych

Do tego dochodzi ryzyko technologiczne – zaproponowane rozwiązanie może zawieść. Na szczęście istnieją metody łagodzenia skutków takiego ryzyka:

- (i) Dysponowanie rozwiązaniem rezerwowym (plan B)
- (ii) Częste przeglądy postępu w projekcie
- (iii) Otwarte dyskusje w zespole projektowym
- (iv) Wykorzystanie zewnętrznych ekspertów.

11. Rekomendacje strategiczne

Rekomendacje dotyczą głównie Polskiej Agencji Kosmicznej, bowiem to ona jest rządowym depozytariuszem wiedzy o polskim sektorze kosmicznym:

- (i) Patrząc od strony podażowej, co najmniej 10-15 polskich firm jest w stanie skutecznie zabiegać o kontrakty z ESA na udział w misjach eksploracji Księżyca. Kolejne 15 ma szansę na taki udział, pod warunkiem wsparcia merytorycznego ze strony Polisy (np. poprzez ekspertów zewnętrznych) oraz finansowego (mniejszego od kontraktów ESA) z polskich instytucji finansujących naukę i rozwój
- (ii) Widok od strony popytowej jest znacznie gorszy; polska ekspertyza pokrywa bardzo niewielki obszar zagadnień, z którymi trzeba będzie się zmierzyć podczas eksploracji Księżyca. Należy zatem taką ekspertyzę zbudować sięgając po podmioty nie zajmujące się do tej pory technologiami kosmicznymi, potrafiącymi natomiast rozwiązać postawione zadania w środowisku ziemskim. Mariaż projektowy takiego partnera z przedstawicielem sektora kosmicznego powinien zaowocować rozwiązaniem problemu, w którym aspekt środowiskowe Księżyca zostały wzięte pod uwagę
- (iii) W okresie, gdy priorytetem sprawy obronności i bezpieczeństwa ambicje eksploracyjne polskiego sektora kosmicznego mogą się wydać decydom nadmierne. Należy skonstruować dobrą politykę informacyjną w stronę władz, w której zalety aktywności eksploracyjnej zostaną mocno podkreślone – zwiększenie prestiżu Polski poprzez znaczące uczestnictwo w projektach o cywilizacyjnej doniosłości, kształcenie najlepszych inżynierów, którzy w przypadku dramatycznym zwiększą potencjał polskich sił zbrojnych, tworzenie rozwiązań pracujących w ekstremalnych warunkach może okazać się opłacalne w przypadku konfliktu.

12. Podsumowanie

Z przedstawionej analizy wynika, że polskie firmy mogą dobrze odnaleźć się (już to robią) w programie eksploracji Księżyca. Można liczyć, że 30 – 35 będzie mogło sięgać po środki z programu opcjonalnego ESA w ciągu najbliższych kilku lat. Obszary kompetencyjne znaczące, o największym potencjale pozyskiwania środków to platformy satelitarne, instrumenty optyczne, roboty kosmiczne, konstrukcje mechaniczne, komputery pokładowe.

Z drugiej strony analizy i działań wymaga włączenie się polskich podmiotów z rozwiązywanie problemów, z którymi polscy przedsiębiorcy sektora kosmicznego do tej pory się nie spotykali. Dotyczy to technologii pozyskiwania zasobów z powierzchni Księżyca, tworzenia warunków do życia dla astronautów, wytwarzanie paliw a dla raket, itp. Pora więc otworzyć się na firmy i instytuty spoza sektora kosmicznego, którym jednak należy zapewnić opiekę i mentoring, aż do momentu, gdy będą dobrze rozumieć zasady tworzenia infrastruktury kosmicznej.

13. Bibliografia i źródła

Strategiczne dokumenty ESA/NASA/KE,

[Moon to Mars Architecture - Strategy and Objectives - NASA](#)

[m2m-objectives-exec-summary.pdf](#)

[m2m_strategy_and_objectives_development.pdf](#)

[add-revision-c-20251211.pdf](#)

[Commercial Lunar Payload Services - NASA](#)

[ILRS, czyli Międzynarodowa Księżycowa Stacja Badawcza - Chiny24.com](#)

Raporty OECD, ESA Technology Tree, NASA 2023 Tech Taxonomy,

[2024 NASA Technology Taxonomy - NASA](#)

[nasa-strategic-technology-roadmaps-april-2023.pdf](#)

[ESA - STM-277 ESA Technology Tree](#)

OECD (2019), *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/c5996201-en>.
ECD (2023), *Harnessing "New Space" for Sustainable Growth of the Space Economy*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a67b1a1c-en>.

OECD (2023), *The Space Economy in Figures: Responding to Global Challenges*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/fa5494aa-en>.

OECD (2024), *The Economics of Space Sustainability: Delivering Economic Evidence to Guide Government Action*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b2257346-en>.

Wyniki projektów H2020/HE,

[60th_DG_DEFIS_Horizon_2020-Horizon_Europe.pdf](#)

[Horizon Europe Space Research call 2024: 10 new EU Space Research projects ready for take-off - European Health and Digital Executive Agency \(HaDEA\)](#)

[Results of Horizon Europe Space-related Calls 2021 - 2022 - Defence Industry and Space + aef15bfa-a3bb-49b5-a047-65b091bc9c90_en](#)

[Poland in orbit: five EU-funded space research projects in the spotlight - European Health and Digital Executive Agency \(HaDEA\)](#)

Bazy danych o podmiotach sektora kosmicznego w Polsce

[Baza podmiotów - POLSA - Polska Agencja Kosmiczna](#)

[PL_6955_08_space_layout_wybrane_v20_sklad_net.pdf](#)

Publikacje naukowe.

Załącznik A. Lista podmiotów polskiego sektora kosmicznego i ich poziom TRL

Podmiot	Rozwijana technologia	TRL obecny i czas osiągnięcia TRL 9	Obszar eksploracji
4D Fusion	Wydruk mieszanek polimerów i regolitu	Obecnie: TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 – min 6 lat; dużo technologii krytycznych	Budowa habitatów i innych konstrukcji na Księżycu
AATC	Czujnik czystości mikrobiologicznej	TRL 4 Osiągnięcie TRL 9 – min 5 lat; wymaga wsparcia ze strony firm produkujących sprzęt pracujący w kosmosie	Podtrzymanie życia, ochrona przed transferem mikroorganizmów
Adaptronica	Absorbery drgań; Zwiększenie dokładności elementów AOCS (cmg), absorbcja drgań przy startach rakiet	TRL 4-6 w zależności od urządzenia Osiągnięcie TRL 9 – min 3 lata;	Systemy transportu powierzchnia Księżycza – Gateway
AROBS Polska	Rozwój układów FPGA	TRL 6 Osiągnięcie TRL 9 – min 3 lata;	Kontrolery instrumentów
Astronika	Zaawansowane rozwiązania mechaniczne: wysuwane anteny i boomy, penetratory planetarne, wyrzutniki satelitów, układy mocujące i zwalniające	TRL 4-9, w zależności od urządzenia; Osiągnięcie TRL 9 – min 3 lata;	Urządzenia pracujące na powierzchni Księżycza: penetrator, hopper, rozkładane systemy anten RF
AstroFarma	Podłoża do uprawy roślin na bazie regolitu	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 – min 6 lat; wymaga partnera, który zapewni automatyzację procesu	Systemy produkcji żywności na Księżycu
Blue Dot Solutions	Lekkie obudowy mechaniczne PLUTONIC – system synchronizacji czasu przy pomocy radia	TRL 4-5 Osiągnięcie TRL 9 – min 5 lat; TRL 5 Osiągnięcie TRL 9 – min 4 lata;	Transport urządzeń i materiałów na Księżyc
CBK PAN	Kompletne instrumenty naukowe Podsystemy: Zasilanie, Komputery pokładowe, Mechanika, Termika Robotyka i sterowanie	TRL 9, w przypadku konieczności rozwoju nowego urządzenia: TRL 3 (znacząca modyfikacja) lub TRL 6 (nieduża modyfikacja) TRL 6 – 9 TRL 3-6 Osiągnięcie TRL 9; min 3 lata	Ładunek na satelity wokółksiężycowe, lądowiki i łaziki
Centrum Technologii Kosmicznych AGH	Transportery regolitu Łaziki marsjańskie	TRL 4 Osiągnięcie TRL 9; min 5 lat TRL 4 Osiągnięcie TRL 9; min 5 lat	Systemy mechaniczne na powierzchni Księżycza, łaziki
ChipCraft	Odbiorniki GNSS (naziemne) => podniesienie do standardów kosmicznych	TRL 2 Osiągnięcie TRL 9 min 8 lat; Odbiorniki kosmiczne muszą być dostosowane do dużych zmian częstotliwości	Systemy nawigacji wokół Księżycza; Moonlight
Cilium Engineering	Triangulacja położeń satelitów przy pomocy rozproszonych obserwacji optycznych / laserowych z powierzchni	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 min 6 lat;	Ustalanie dokładnych pozycji satelitów na orbicie księżycowej => wsparcie systemu Moonlight

Creotech	Platformy satelitarne Podsystemy satelitarne: Zasilanie, komputer pokładowy, AOCS	TRL 9	Główny integrator satelitów w Polsce; lider konsorcjum satelity Twardowski do Księżyca
ELPROMA ELEKTRONIKA	Odbiorniki naziemne Galileo / GPS => przejście do odbiorników księżycowych	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 min 8 lat; Odbiorniki kosmiczne muszą być dostosowane do dużych zmian częstotliwości	Systemy nawigacji wokół Księżyca; Moonlight
Eycore	Modułowy sensor SAR	TRL ?	Bardzo mało informacji o produktach firmy
Fundacja Technology Partners	Materiały kompozytowe do rakiet i sond kosmicznych	TRL 3?	Materiały do zastosowania w strukturach księżycowych
Fundacja Progress and Business	Projektowanie inteligentnych, autonomicznych robotów; potrzebne partnerstwo z wytwórcą robotów	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 min 6 lat;	Roboty księżycowe
GMV Innovating Solutions	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrola misji • Oprogramowanie dla systemów naziemnych – AOCS, GNC • Łączność naziemna – monitoring i kontrola • Odbiorniki GNSS • Operowanie satelitami 	TRL 9	Wiele zastosowań w infrastrukturze satelitarnej i naziemnej wokół Księżyca
Hertz Systems	Odbiorniki naziemne GNSS z modułem kryptograficznym => przejście do wersji satelitarnej	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 min 8 lat; Odbiorniki kosmiczne muszą być dostosowane do dużych zmian częstotliwości	Systemy nawigacji wokół Księżyca; Moonlight
Iceye Polska	Satelity SAR, kompletne rozwiązania	TRL 9	Satelity na orbicie księżycowej; monitorowanie zasobów wody, interferometria SAR
InPhoTech	Sensory światłowodowe	TRL 6?	Do wykorzystania w satelitach wokółksiężycowych i na powierzchni (sensory rozproszone, np. temperatury)
Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy	Napędy plazmowe; duża konkurencja na rynku	TRL 5-6; Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata	Do wykorzystania w przelotach na Księżyc, satelitach wokółksiężycowych
Liftero Propulsion Systems	Napędy plazmowe	TRL 8	Do wykorzystania w przelotach na Księżyc, satelitach wokółksiężycowych
ITWL	DSTAR Satelitarny system wykrywania śmieci kosmicznych ASOPEK Naziemny system monitorowania obiektów wokół Ziemi	TRL 6 Osiągnięcie TRL 9 – 3 lata TRL 6 Osiągnięcie TRL 9 – 3 lata	Do zastosowania w przyszłym odpowiedniku SSA na Księżycu
ITTI	Software do zarządzania sieciami komunikacji pokładowej satelitów	TRL 6; osiągnięcie TRL 9 – max 2 lata	Misje satelitarne, również księżycowe

Jakusz Space	Paliwo z H2O2; Wymaga odpowiednich silników	TRL 6	Do rozważenia jako paliwo produkowane na powierzchni Księżyca
Kosmok P.S.A.	Technologie tankowania satelitów, interfejsy do tankowania	TRL 4 Osiągnięcie TRL 9 – 5 lat	Być może wspomże infrastrukturę wokółksiężycową
KP Labs	Komputery pokładowe, oprogramowanie pokładowe	TRL 9	Inteligentne procesory satelitarne wspomagające, np. lądowanie na Księżycu
N7 Space	Oprogramowanie lotne	TRL 9	Oprogramowanie satelitów i infrastruktury na powierzchni Księżyca
Orbital Matter	Systemy druku 3D na pokładzie satelity	TRL 4-5	Do zastosowania na powierzchni księżycy
PCO	Przyrządy optyczne ; Wymaga partnera, który mógłby pomóc przenieść rozwiązania na satelity	TRL 3	Małe teleskopy na powierzchni Księżyca?
Phonemic	SoC systems based on FPGA	TRL 9	Zastosowania w komputerach pokładowych i komputerach działających na Księżycu
PIAP	Robotyka kosmiczna: ramiona robotyczne, Chwytniki Satelita inspekcyjny RAVEN	TRL 6; Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata Start 2029	Serwisowanie na orbicie Księżyca
Politechnika Poznańska - Kąkolowo	Telekomunikacja – satelitarne moduły łączności	TRL 6 Osiągnięcie TRL 9 – 3 lata	Wykorzystanie w polskich misjach księżycowych
Politechnika Śląska	Projektowanie optyki, justowanie teleskopu	TRL 3 Osiągnięcie TRL 9 – 6 lat	Wsparcie dla firm produkujących sprzęt optyczny
Polskie Zakłady Lotnicze	Wytwarzanie materiałów kompozytowych i metalicznych dla przemysłu lotniczego; wymaga wsparcia dla przejścia do sektora kosmicznego	TRL 2 Osiągnięcie TRL 9 – 6 lat	Materiały dla przemysłu kosmicznego
PUT RocketLab	Projektowanie i budowa małych rakiet z oprzyrządowaniem (awionika)	TRL4- 5 Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata	Rakiety transportowe Księżyc - Gateway
SAB Aerospace	Wyrzutniki satelitów Systemy mechaniczne Satelitów (misja PLUTO)	TRL 9 TRL 9	Partner dla producentów satelitów
SATREV	Integrator cubesatów i nanosatelitów	TRL 9	Potencjalny dostawca małych platform satelitarnych
Scanway	Instrumenty obrazujące Systemy optyczne monitoringu rakiet Spektrometr do analizy wody na powierzchni Księżyca	TRL 9 TRL 9 TRL 4 Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata	Partner w wokółksiężycowych misjach satelitarnych Spektrometry do badania mineralogii Księżyca
Semicon	Produkcja sztywnych i elastycznych płytek PCB	TRL 4-5 Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata	Potencjalny partner w konsorcjach satelitarnych
Sener Polska	Mechanizmy mocujące i separujące Systemy amortyzacji lądowania	TRL 9 TRL 4 Osiągnięcie TRL 9 – 4 lata	Firma już działa w projektach lądowników księżycowych

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa	Rakieta Bursztyn na nadtlenek wodoru	TRL 9 (do wysokości 100 km)	Małe rakiety transportowe Księżyc - Gateway
	Stały materiał pędny do deorbitacji	TRL 6	
	Rakieta z silnikiem z wirującą detonacją	TRL 4-5	
SigmaLabs	Detektory promieniowania	TRL 5; Osiągnięcie TRL 9 w 3 lata	Do stosowania wokół i na powierzchni Księżycza
Śląskie Centrum Naukowo-Technologicznego Przemysłu Lotniczego	Produkcja struktur kompozytowych	TRL 9	Wartościowy członek konsorcjów wykorzystujących kompozyty w produkcji satelitów i instalacji na powierzchni
Solar System Resources Corporation	Utwardzanie materiałów na potrzeby dalekich misji kosmicznych	TRL 6? Brak danych	Do rozważenia jako wsparcie przez integratorów satelitów
Spacive	Projektowanie systemów kontroli termicznej satelitów	TRL 9	Wspomaganie projektowe misji wokółksiężycowych i instalacji na powierzchni Po sprawdzeniu w kosmosie oferta produktu rynkowego
	Projektowanie i produkcja izolacji termicznej MLI	TRL 6	
Sybilla Technologies	Obserwacje teleskopowe śmieci kosmicznych z Ziemi	TRL 9 (na Ziemi)	Potencjalne zastosowanie teleskopów na powierzchni Księżycza: obrona przed NEO
TechOcean	Wydruk 3D elementów satelitów o pożądanym właściwościach cieplnych, mechanicznych i antyradiacyjnych	TRL 4	Drukowane elementy mogą mieć lepsze własności przy mniejszej masie; do zastosowania w satelitach i konstrukcjach na Księżycu.
Thales Alenia Space Polska	Analizy strukturalne, projekty mechaniczne i wykonanie przez polskich poddostawców platform i struktur mechanicznych satelity	TRL 9 (misja PLATO)	Już uczestniczy w projekcie i produkcji modułu I-HAB dla stacji Gateway.
Thorium Space	Satelitarne podsystemy telekomunikacyjne w pasmie Ka	TRL 4-5 Osiągnięcie TRL 9 – 5 lat	Moduły telekomunikacyjne do satelitów wokółksiężycowych i terminali na powierzchni
	Produkcja płaskich anten ze sterowaną wiązką	TRL 4-5	
Turbochill	System łożyskowania dla kriogenicznej turbopompy silnika raketowego	TRL 6	Do rozważenia zastosowanie w raketach księżycowych
WiRan	Anteny, diplexery i dzielniki dla transponderów w pasmach S, X, L	TRL 9 (pasma S, L) TRL 7 (pasmo X)	Do zastosowania w polskim systemach telekomunikacji satelitarnej
Wydział Chemii Politechniki Łódzkiej	Materiały kompozytowe dla rakiet i satelitów	TRL 3	Wymaga wsparcia przez użytkownika końcowego, np. producenta satelity, rakiety
Zoppas	Elastyczne systemy grzewcze dla satelitów i urządzeń naziemnych	TRL 9	Już stosowane na wielu misjach kosmicznych