

Dr Anna Baraniecka
 Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
 ORCID: 0000-0002-4281-5537
 e-mail: anna.baraniecka@ue.wroc.pl

Znaczenie międzyplanetarnych łańcuchów dostaw w zrównoważonej eksploracji kosmosu

The importance of interplanetary supply chains in sustainable space exploration

Streszczenie

Intensyfikacja eksploracji kosmosu wiąże się z wykorzystaniem ziemskich zasobów naturalnych, co w kontekście wyczerpywania się ich złóż oraz kryzysu klimatycznego może spotkać się ze sprzeciwem społecznym. Rozwiązaniem gwarantującym zrównoważenie celów społecznych, ekonomicznych i środowiskowych misji kosmicznych jest konfigurowanie międzyplanetarnych łańcuchów dostaw, które pozwalają m.in. na wykorzystanie zasobów naturalnych z obiektów kosmicznych (Księżyc, Mars, planetoidy). Celem niniejszego artykułu jest prezentacja dotychczasowego dorobku teoretycznego w zakresie konfigurowania międzyplanetarnych łańcuchów dostaw oraz wskazanie znaczenia rozwoju tych łańcuchów dla osiągnięcia zrównoważonej eksploracji kosmosu. Autorka stawia tezę, że rozwój międzyplanetarnych łańcuchów dostaw może przyczynić się do zrównoważonej eksploracji kosmosu, a tym samym zwiększyć poziom społecznej akceptacji projektów kosmicznych.

Słowa kluczowe:

międzyplanetarne łańcuchy dostaw, logistyka kosmiczna, misje kosmiczne, zasoby *in situ*, ISRU — wykorzystanie zasobów *in situ*

Abstract

The intensification of space exploration is associated with the use of the Earth's natural resources, which in the context of the depletion of their resources and the climate crisis may meet with social opposition. The solution for balancing the social, economic and environmental goals of space missions is to configure interplanetary supply chains that allow, inter alia, on the use of natural resources from space objects (Moon, Mars, asteroids). The aim of this article is to present the theoretical achievements to date in the field of configuring interplanetary supply chains and to indicate the importance of the development of these chains for achieving sustainable space exploration. The author claims that the development of interplanetary supply chains can contribute to the sustainable exploration of space, and thus increase the level of social acceptance for space projects.

Keywords:

interplanetary supply chains, space logistics, space missions, in-situ resources, ISRU — In-Situ Resources Utilization

JEL: Q2, O3, M10

Wprowadzenie

Eksploracja kosmosu trwająca od połowy ubiegłego stulecia przyspieszyła głównie dzięki rozwojowi nowych technologii. Do tej pory celem misji kosmicznych były głównie badania naukowe, jednak wraz z wejściem do sektora kosmicznego prywatnych przedsiębiorstw podróże w przestrzeni kosmicznej oraz ich plany łączą się coraz częściej z celami komercyjnymi. Setki lotów w kosmos, jakie mają miej-

sce w ciągu ostatnich dekad, generują olbrzymie koszty i wykorzystują ziemskie zasoby naturalne. To w kontekście wyczerpywania się pokładów więszości zasobów naturalnych Ziemi oraz nasilającego się kryzysu klimatycznego skłania do poszukiwania zrównoważonych rozwiązań, które pozwoliłyby utrzymać tempo eksploracji kosmosu przy jednoczesnym ograniczeniu wykorzystania zasobów naturalnych na naszej planecie. Takim rozwiązaniem są międzyplanetarne łańcuchy dostaw, które pozwalają

na wykorzystanie tzw. zasobów *in situ*, czyli dostępnych na miejscu (w obiektach kosmicznych, takich jak Księżyc, Mars czy planetoidy). Obecnie zasoby te są przedmiotem zainteresowania ziemskich przedsiębiorstw, gdyż stanowią alternatywę dla mało dostępnych i wyczerpujących się zasobów niektórych metali czy minerałów. Jednak surowce te mogą być przede wszystkim wykorzystywane do wsparcia misji kosmicznych, tych bliskich — międzyplanetarnych, jak również tych odległych — międzygwiazdowych. Aby zapewnić dostęp do tych zasobów oraz uczynić efektywnym ich pozyskiwanie, konieczne jest — wzorem ziemskich praktyk — zbudowanie infrastruktury punktowej i liniowej łączącej Ziemię z obiektami w przestrzeni kosmicznej oraz zapewnienie odpowiedniej koordynacji przepływów fizycznych i informacyjnych między tymi obiektami. Choć sama idea zarządzania międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw jest tożsama z jej ziemskim odpowiednikiem, to uwarunkowania wykorzystania tych koncepcji są znacząco różne. Niezwykle wymagające warunki przepływu ludzi, towarów i informacji w kosmosie, bardzo wysokie koszty z tym związane oraz ciągle obecne ograniczenia technologiczne nie zrażają naukowców, inżynierów i pasjonatów tematu do podejmowania prac nad projektowaniem sieci łączącej Ziemię z kosmicznymi obiektami (orbitami, punktami Langrange'a, Księżycem, Marsem, planetoidami). Powstaje coraz więcej publikacji, opracowań, projektów badawczych opartych nie tylko na przewidywaniach teoretycznych, ale również na doświadczeniach ze zrealizowanych misji kosmicznych, a eksploracja kosmosu staje się zagadnieniem interdyscyplinarnym, studiowanym nie tylko przez fizyków, astronomów czy inżynierów, ale również przez przedstawicieli nauk społecznych. Przestrzeń kosmiczna staje się nowym obszarem rozwoju naukowego i aktywności gospodarczej człowieka.

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja dotychczasowego dorobku teoretycznego w zakresie konfigurowania międzyplanetarnych łańcuchów dostaw oraz wskazanie znaczenia rozwoju tych łańcuchów dla osiągnięcia zrównoważonej eksploracji kosmosu. Autorka stawia tezę, że rozwój międzyplanetarnych łańcuchów dostaw może przyczynić się do zrównoważonej eksploracji kosmosu, a tym samym zwiększyć poziom społecznej akceptacji projektów kosmicznych. Metodą wspierającą osiągnięcie celu i potwierdzenie tezy jest krytyczny przegląd literatury i innych źródeł. Szczególne miejsce w tym przeglądzie zajmuje dorobek badaczy z Massachusetts Institute of Technology (MIT), którzy we współpracy z Amerykańską Agencją Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA) przygotowali zaawansowane rozwiązania strategiczne i operacyjne do konfigurowania międzyplanetarnych łańcuchów dostaw. Ważne miejsce w analizie teorii dotyczącej tematu artykułu zajmuje zagadnienie związane z zasobami *in*

situ i ich wykorzystaniem dla zrównoważonej eksploracji kosmosu.

Artykuł składa się z wprowadzenia, części zasadniczej i zakończenia. W pierwszej części artykułu zaprezentowano ewolucję koncepcji zarządzania międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw od logistyki pojedynczych misji poprzez stałe misje związane z funkcjonowaniem Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS — International Space Station), aż po plany misji kampanijnych z uwzględnieniem sieci łączącej Trzy Ciała (jak określa się system Ziemia, Księżyc i Mars). W tym miejscu autorka poświęca dużo uwagi logistyce kosmicznej, która jest fundamentem zarządzania międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw. Kolejną część artykułu dotyczy obecnego dorobku związanego z międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw, ze szczególnym uwzględnieniem symulacji sieci dostaw Ziemia–Księżyc–Mars, a ostatnia poświęcona jest koncepcji wykorzystania miejscowych zasobów naturalnych obiektów kosmicznych (ISRU — In-Situ Resources Utilization). Całość rozważań zamyka podsumowanie.

Od logistyki kosmicznej do międzyplanetarnych łańcuchów dostaw

Rozwój koncepcji zarządzania międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw wynika z tych samych przesłanek, które wpłynęły na popularyzację zarządzania ziemskimi łańcuchami dostaw. Świadomość korzyści ekonomicznych z integracji procesów i zasobów oraz koordynacji i kontroli przepływów pomiędzy ogniwami łańcucha dostaw skupiła uwagę inicjatorów i uczestników projektów kosmicznych na rozwiązaniach z zakresu zarządzania łańcuchem dostaw, nadając im tym samym wysoki priorytet i wskazując jako obszar istotnych inicjatyw naukowo-badawczych.

Przez analogię do najbardziej popularnych definicji związanych z zarządzaniem łańcuchem dostaw (Witkowski, 2003, s. 17, 29) międzyplanetarny łańcuch dostaw można określić jako zespół organizacji wraz z posiadanymi przez nie infrastrukturą i zasobami oraz zarządzanymi przez nie procesami, zlokalizowanymi na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej, między którymi przepływają strumienie produktów, informacji i gotówki. Natomiast zarządzanie międzyplanetarnymi łańcuchami dostaw można zdefiniować jako integrację kluczowych procesów zachodzących w ogniwach tego łańcucha dostaw, zlokalizowanych na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej, które dostarczają określone produkty, usługi i informacje w celu zaspokajania potrzeb ekonomicznych, społecznych i naukowych związanych z obecnością człowieka w kosmosie.

Podobnie jak w przypadku ziemskich łańcuchów dostaw, tak również w tych zlokalizowanych w przestrzeni kosmicznej kluczową rolę odgrywa logistyka. Istotę, zakres i cel logistyki kosmicznej zaprezentowano na rysunku 1.

Logistyka kosmiczna odpowiada m.in. za planowanie, realizację i kontrolę przepływów fizycznych i informacyjnych między Ziemią a obiektami w kosmosie, jak również w samej przestrzeni kosmicznej. Logistyka kosmiczna wpływa tym samym na bezpieczeństwo misji kosmicznych związanych z dostępnością i jakością produktów czy informacji. Na przykład w programie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) kluczową kwestią dla bezpieczeństwa misji jest przewidywanie zapotrzebowania na części zamienne, śledzenie i przechowywanie narzędzi i sprzętu, a nawet wysyłanie odpowiedniej ilości prowiantu dla załogi (Shull i in., 2006). Należy przy tym zakładać, że stopień skomplikowania tego typu działań i ich wpływ na skuteczność i efektywność projektów kosmicznych będzie znacząco większy w przypadku programów wykraczających poza orbitę ziemską, szczególnie w przestrzeni międzyplanetarnej. Ewolucję znaczenia logistyki kosmicznej zaprezentowano na rysunku 2.

Dla dobrego zrozumienia istoty logistyki kosmicznej ważne wydaje się poznanie podstawowych cech i uwarunkowań, które różnicują ją od jej ziemskiego odpowiednika. Różnice te powodują, że nie wszystkie koncepcje czy narzędzia z sukcesem stosowane na Ziemi można wykorzystać do wsparcia projektów kosmicznych. Oczywiście najbardziej wyraźna różnica polega na tym, na co logistyka kosmiczna i ziemska oddziałują. To, jak łatwo się domyślić, determinuje szereg innych różnic, których przegląd zaprezentowano w tabeli 1.

Jak wskazuje cytowana wyżej definicja logistyki kosmicznej, obsługuje ona systemy (zespoły ludzi, obiektów i zasobów), które są budowane na potrzeby wsparcia określonych projektów kosmicznych. Do obecnie działających systemów kosmicznych zalicza się m.in. system wynoszenia obiektów na niską i geostacjonarną orbitę Ziemi (satelity, teleskopy), system obsługi stałej obiektów kosmicznych (ISS, satelity, teleskopy), system obsługi bezałogowych (sondy kosmiczne) i załogowych (program Apollo) misji międzyplanetarnych.

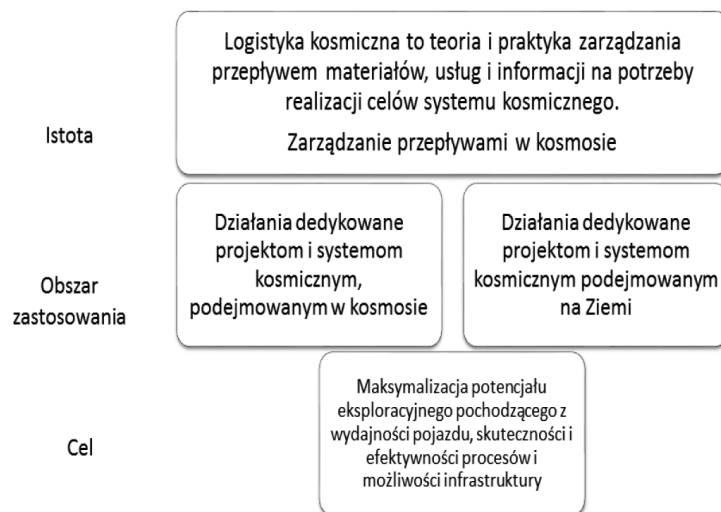
Do systemów, które będą obsługiwane w przyszłości, można zaliczyć: system obsługi obiektów kosmicznych, takich jak nowe stacje kosmiczne czy obiekty górnictwa i turystyki kosmicznej, system obsługi załogowych misji międzyplanetarnych (Ziemia–Księżyc–Mars, np. program Artemis) czy system obsługi misji międzygwiazdowych (np. planowana na 2030 r. misja Interstellar Probe). Współcześnie działające i planowane systemy kosmiczne zaprezentowano na rysunku 3.

Obecne i przyszłe cele eksploracji, jakie wspiera kosmiczna logistyka, dotyczą m.in. pozyskiwania danych i zasobów, a pośrednio tworzenia warunków do efektywnego i skutecznego przemieszczania się w przestrzeni kosmicznej, tak w obszarze międzyplanetarnym (loty towarowe i załogowe w obrębie Trzech Ciał — Ziemi, Księżycy i Marsa), jak również międzygwiazdowym (loty sond międzygwiazdowych). NASA zdefiniowała funkcje logistyki kosmicznej przez pryzmat cyklu życia systemu (projektu) kosmicznego, określanego mianem Life Cycle Logistics Support (LCLS) (NASA, 2012). Cele LCLS to:

- zagwarantowanie optymalnego bezpieczeństwa i dostępności operacyjnej systemu kosmicznego;

Rysunek 1

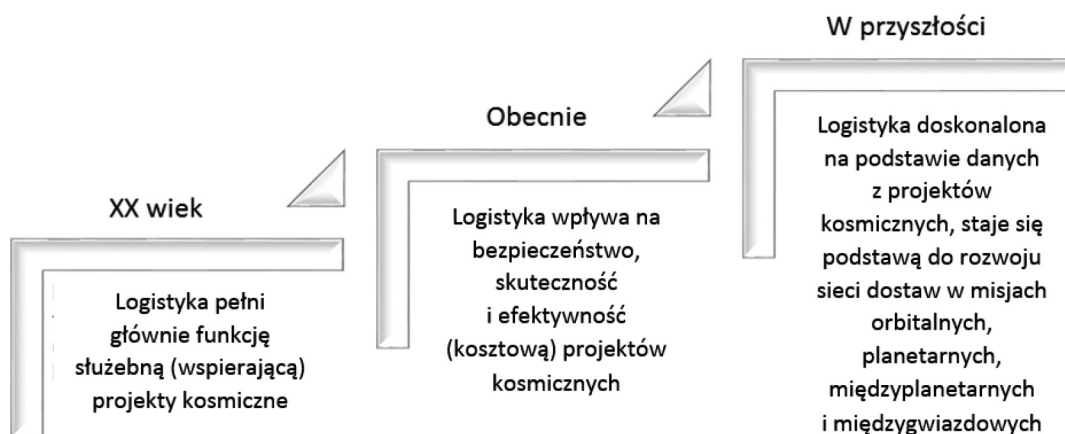
Istota, obszar zastosowania i cel logistyki kosmicznej



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Snead, 2004; Baraniecka, 2019.

Rysunek 2

Ewolucja znaczenia logistyki kosmicznej w eksploracji kosmosu



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1

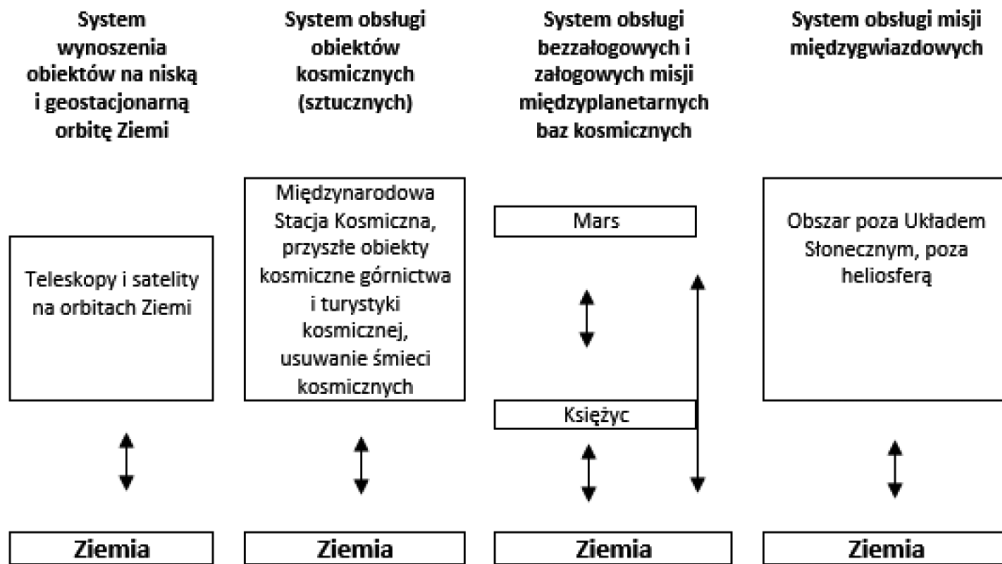
Różnice między logistyką ziemską i kosmiczną

Element różnicujący	Logistyka ziemska	Logistyka kosmiczna	Konsekwencje
Udział ładunku w całkowitej pojemności środków transportu	Duży, dominujący	Niewielki, co wiąże się ze specyfiką napędu raketowego	Niezwykle staranny dobór ładunku, duże znaczenie pojemności opakowań zbiorczych i transportowych oraz sposobów pakowania, rozwój koncepcji odroczenia (<i>postponement</i>)
Harmonogram i czas dostawy	Związany z potrzebami odbiorcy	Uwarunkowany wieloma czynnikami, w tym dynamiką trajektorii orbitalnych czy układem obiektów kosmicznych	Konieczność dostosowania dostaw do terminów (parametrów) okna startowego czy układów obiektów kosmicznych korzystanych dla czasu i kosztów dostaw. Brak możliwości szybkiej reakcji. Niezgodność może uniemożliwić dostawę
Koszty dostawy	Relatywnie niskie, uzależnione od odległości i środka transportu	Bardzo wysokie	Ograniczanie dostaw doraźnych (nieplanowanych), ograniczenia intensyfikacji działań w przestrzeni kosmicznej. Długa i kosztowna faza budowy infrastruktury kosmicznej (np. baz na orbitach czy obiektach kosmicznych)
Uwarunkowania zewnętrzne	Przyjazne, zazwyczaj niewymagające dodatkowych zabezpieczeń dostaw. Możliwość wyboru transportu alternatywnego	Bardzo niekorzystne, ograniczające wybór środków transportu i zasobów	Konieczność stałego monitorowania stanu pogody kosmicznej, lokalizacji kosmicznych odpadów, szczególne zabezpieczenia załogi, automatyzacja transportu

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ho i in., 2014.

Rysunek 3

Obecne i przyszłe systemy kosmiczne



Źródło: opracowanie własne.

- zagwarantowanie wysokiej efektywności kosztowej funkcjonowania projektu (systemu) przy zapewnieniu jego kluczowych parametrów projektowych i wydajnościowych;
- zagwarantowanie sprawnej obsługi serwisowej elementów systemu kosmicznego;
- ciągłe doskonalenie, w tym dążenie do minimalizacji logistycznego śladu węglowego.

Funkcje logistyki kosmicznej według NASA zaprezentowano na rysunku 4.

Jak przewiduje W. A. Evans (Evans, 2006), logistyka kosmiczna zdecydowanie wpłynie na skuteczność i efektywność przyszłych misji kosmicznych. Intensyfikacja przepływów w przestrzeni kosmicznej, m.in. poprzez rozwój takich sektorów jak turystyka czy górnictwo kosmiczne, pozwoli na budowę i wykorzystanie stałej infrastruktury linowej (kosmiczne autostrady) i punktowej (centra dystrybucji składy paliw, stacje montażowe), flot transportowych (raket, statków, holowników) i usług operatorów kosmicznych.

Dzięki efektowi synergii i idei współdzielenia zmniejszy się ryzyko i zwiększy prawdopodobieństwo zwrotu z inwestycji, co przyczyni się do rozwoju kosmicznego sektora TSL, intensyfikując konkurencję i obniżając koszty. Logistyczne działania w projektach kosmicznych będą odbywały się w ramach międzynarodowej, ścisłej współpracy, tak jak miało to miejsce do tej pory w przypadku kosmicznych projektów naukowo-badawczych.

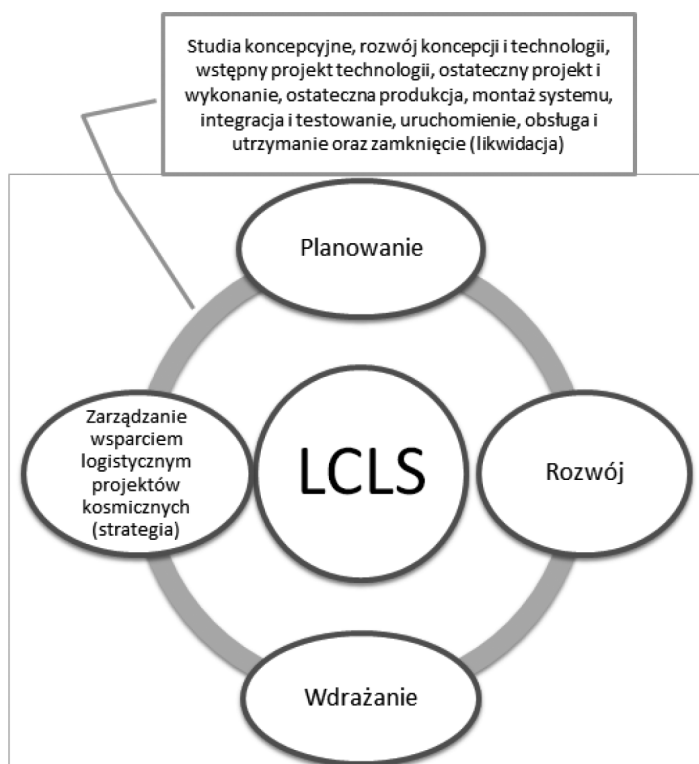
Zmiana paradygmatu w logistyce kosmicznej jako fundament rozwoju międzyplanetarnych łańcuchów dostaw

Wizja rozwoju kosmicznej logistyki, jak również zmiany, jakie zachodzą współcześnie w gospodarce i społeczeństwie, skłoniły zarówno teoretyków, jak i praktyków podejmujących omawianą tematykę do przeglądu i zmiany paradygmatu towarzyszącego procesowi planowania, realizacji i kontroli przepływów w przestrzeni kosmicznej. Zmiana ta dotyczy szczególnie dwóch aspektów logistyki kosmicznej, tj. poziomu standaryzacji i skali podejmowanych działań oraz podejścia do wpływu na środowisko i społeczeństwo.

Budowanie pojedynczych systemów logistycznych dla każdej kolejnej misji wiąże się z dużymi kosztami i niską wydajnością, wpływa też negatywnie na środowisko. Postuluje się zatem, aby zastąpić pojedyncze terminowe systemy logistyczne trwałą, elastyczną siecią logistyczną łączącą ogniwa ziemskie i kosmiczne, jednak skupiającą się głównie na przepływach w kosmosie, pozwalającą na kampanijność, a zatem większą intensywność i standaryzację, a następnie efektywność projektów kosmicznych (Ho i in., 2016). Ponadto, z uwagi na istotny wpływ projektów kosmicznych na życie na Ziemi, postuluje się, aby będąca ich częścią logistyka miała bardziej zrównoważony charakter (Shull i in., 2006; de Weck, 2021).

Rysunek 4

Funkcje logistyki kosmicznej (według NASA)



Źródło: NASA, 2012.

Proponowane przez naukowców i praktyków zmiany przejawiały się podjęciem wielu inicjatyw związanych z budowaniem stałej sieci przepływów w przestrzeni kosmicznej. Dotyczyły one zarówno infrastruktury liniowej, tzw. autostrad kosmicznych (Lo, 2002), jak również infrastruktury punktowej (programy budowy baz na orbicie Ziemi i Księżyca lub na Księżycu) czy też zagwarantowania dostępności lokalnych zasobów (ISRU) lub wsparcia informatycznego sterowania zapasami (np. program SpaceNet) przy intensyfikacji prac nad wydajnością środków transportu. Elementy budowy sieci kosmicznej w nowym paradygmacie kosmicznej logistyki zaprezentowano na rysunku 5.

Konfigurowanie stałej sieci kosmicznej, która zapewni stałe trasy przelotu i punkty składowania, wydajną i efektywną bazę transportową oraz koordynację i synchronizację przepływów, jest fundamentem projektowania międzyplanetarnych łańcuchów dostaw.

Jednym z najciekawszych projektów badawczych służących tworzeniu takich łańcuchów jest ten dotyczący wykorzystania pól grawitacyjnych i asysty grawitacyjnej oraz punktów (węzłów) Lagrange'a do planowania bardzo długich podróży kosmicznych. Punkty Lagrange'a reprezentują punkty libracji, czyli strefy braku przyspieszenia grawitacyjnego netto z ciał

niebieskich (Grogan, 2010). Chociaż obecne wykorzystanie punktów Lagrange'a w logistyce ogranicza się do satelitów obserwacyjnych, przyszłe misje mogą je wykorzystywać do utrzymywania paliw lub innych magazynów zaopatrzenia. Naukowcy z NASA oraz ich naukowcy partnerzy tworzą mapy traktów grawitacyjnych (autostrad grawitacyjnych), które pozwalają kosmicznym pojazdom poruszać się przy minimalnym zużyciu paliwa. Tego typu projekty w przyszłości pozwolą międzyplanetarnemu systemowi transportowemu korzystać, podobnie jak statki z siły wiatru, z oddziaływania grawitacyjnego planet (Mazarrico i in., 2017, cyt. za: Baraniecka, 2019).

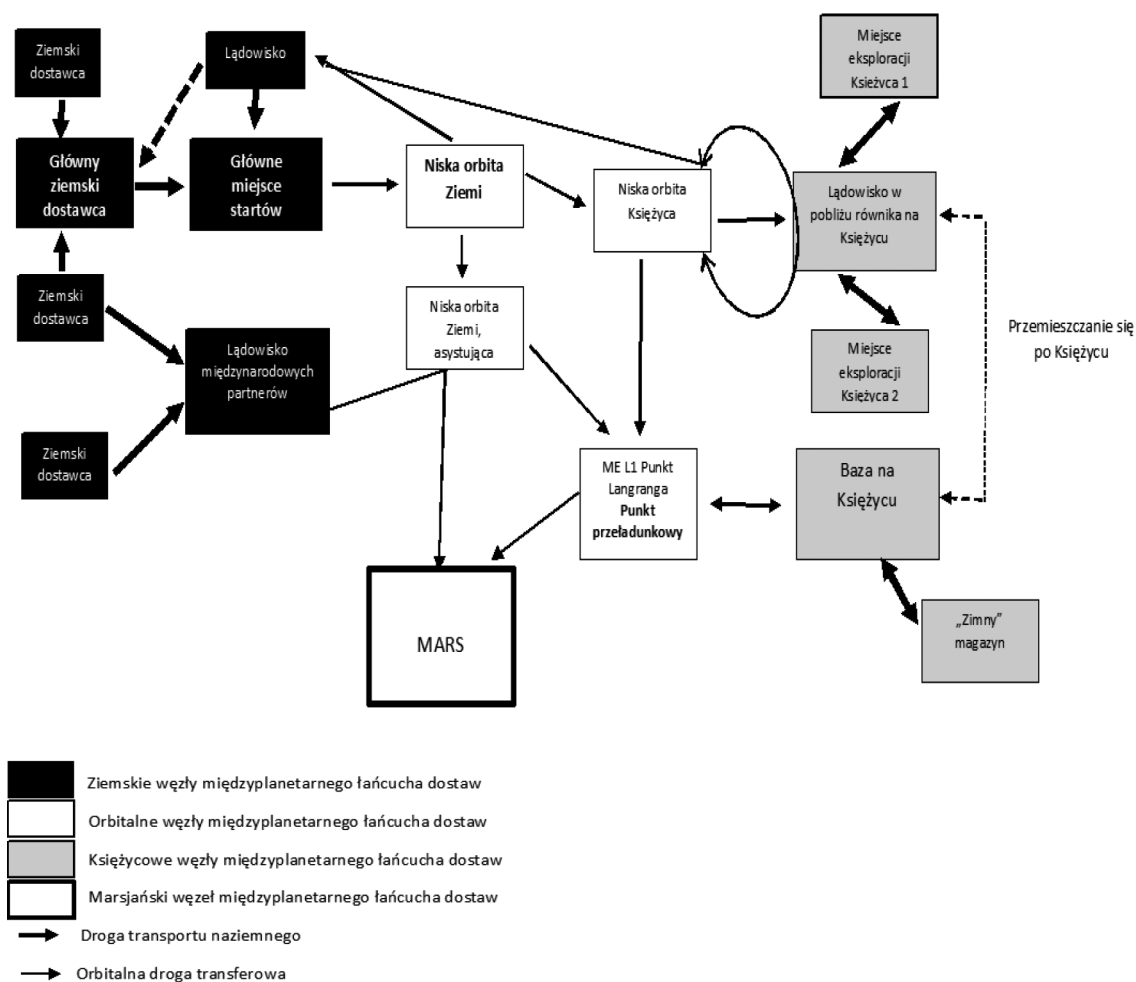
Innym ciekawym projektem towarzyszącym rozwojowi koncepcji międzyplanetarnych łańcuchów dostaw jest program wspierający sterowanie przepływami produktów w przestrzeni kosmicznej SpaceNet¹. Program powstał w ramach większego programu naukowego pod nazwą Space Logistics Project², którą na początku XXI w. zainicjowali naukowcy z Massachusetts Institute of Technology (MIT) we współpracy z NASA. Program służy przygotowaniu do zarządzania międzyplanetarnym łańcuchem dostaw. W ramach Space Logistics Project poszukiwano analogii z naziemnym łańcuchem dostaw i podejmowano próby wykorzystania „ziemskich” koncepcji, analizowano obecną sieć logi-

Rysunek 5
Elementy konfiguracji sieci kosmicznej



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ho, 2015.

Rysunek 6
Międzyplanetarny łańcuch dostaw. Symulacja Ziemia–Księżyc–Mars



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Evans, 2006

styki kosmicznej, przygotowywano eksploracyjne modele popytu i podaży, projektowano międzyplanetarne łańcuchy dostaw z uwzględnieniem aspektów gospodarczych (wykorzystania zasobów *in situ*).

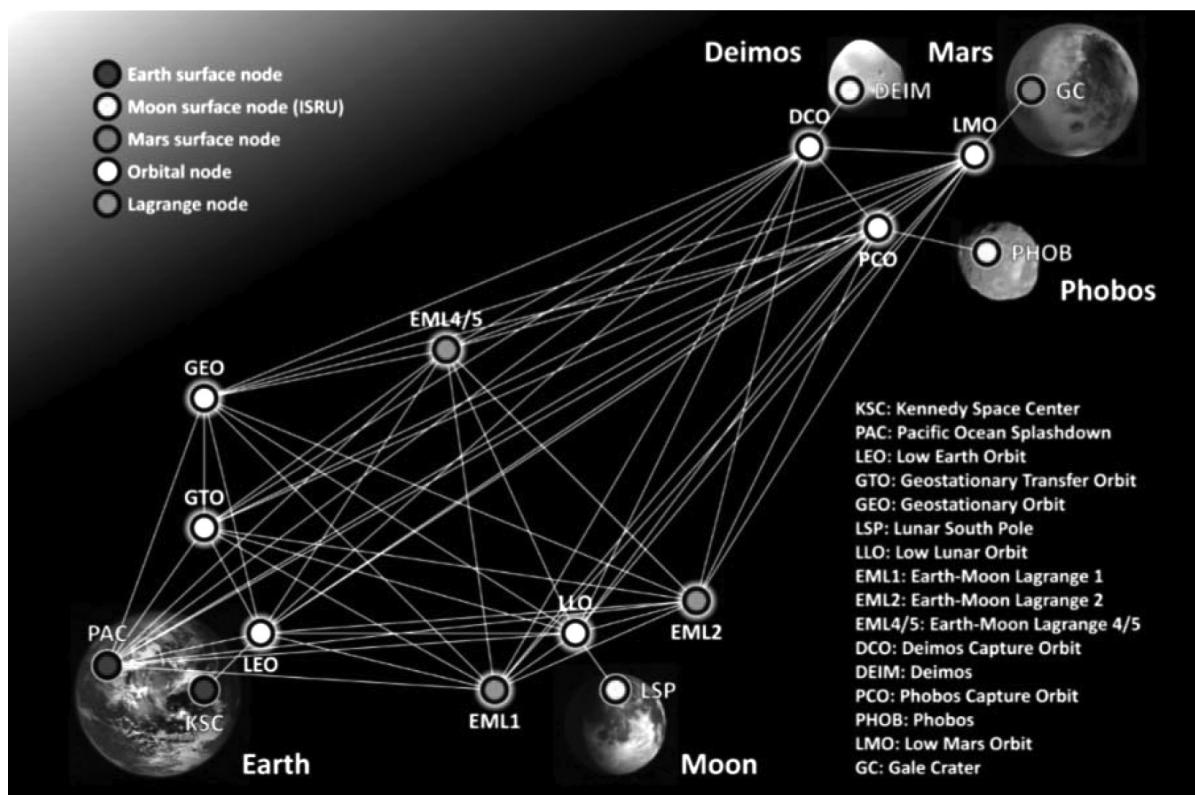
SpaceNet to model z graficznym interfejsem użytkownika, który pozwala budować, symulować i oceniać misje eksploracyjne z perspektywy logistyki (de Weck i in., 2007). Celem SpaceNet jest zapewnienie planistom misji, logistykom i inżynierom systemowego narzędzia wspierającego podejmowanie decyzji. Użytkownicy mogą modelować misje kosmiczne na bazie międzyplanetarnych łańcuchów dostaw, a w tym zakresie identyfikować m.in. parametry ilościowe dostaw, kluczowe parametry transportowe i opracowywać specjalistyczne rozwiązania logistyczne. Pierwsze wersje SpaceNet służyły pojedynczym misjom kosmicznym i pozwalały na wybór trasy przelotu, przypisanie towarów czy przypisanie pojazdów i napędu, ale zmiana paradygmatu logistyki kosmicznej skłoniła twórców do uwzględnienia kampanijności przepływów. I tak powstały kolejne wersje programu, aż do obecnej — SpaceNet v2.5 (Lee i in., b.r.).

Zaawansowane wersje SpaceNet pozwoliły dokonać symulacji dla prostych (wyniesienia na niską orbitę Ziemi, zaopatrzenie ISS), jak również bardziej zaawansowanych projektów, w tym kampanijnych misji kosmicznych (np. obsługa placówki księżycowej na biegunie południowym, globalna eksploracja Księżyca (nomadyczna) czy kampania na Marsie z rozwiązaniami robotycznymi).

Omówione programy rozwojowe związane z projektowaniem międzyplanetarnych łańcuchów dostaw przyczyniają się do powstawania licznych symulacji i wizualizacji tych łańcuchów. Jednym z ważniejszych projektów jest projekt przygotowany na podstawie doświadczeń zebranych przez NASA w ramach licznych misji kosmicznych, w tym tych mających miejsce na orbicie Ziemi czy też na Księżycu (w ramach programu Apollo) i przedstawiający łańcuch dostaw znajdujący się w obszarze: Ziemia–Księżyc–Mars. W omawianej wizualizacji wskazano na tzw. węzły (ang. *nodes*), czyli określone lokalizacje przestrzenne w Układzie Słonecznym. Istnienie węzła niekoniecznie oznacza, że

Rysunek 7

Międzyplanetarny łańcuch dostaw z opcjami węzłów i łuków



Uwaga: **Earth surface node** — węzeł na powierzchni Ziemi; **Moon surface node** — węzeł na powierzchni Księżyca; **Mars surface node** — węzeł na powierzchni Marsa; **orbital node** — węzeł orbitalny; **Lagrange node** — węzeł Lagrange'a; **KSC** — Kennedy Space Center/Centrum Kosmiczne im. J. F. Kennedy'ego; **PAC** — Pacific Ocean Splashdown/miejsce wodowania na Pacyfiku; **LEO** — Low Earth Orbit/niska orbita Ziemi; **GTO** — Geostationary Transfer Orbit/geostacjonarna orbita transferowa; **GEO** — Geostationary orbit/orbita transferowa; **LSP** — Lunar South Pole/księżycowy biegun południowy; **LLO** — Low Lunar Orbit/niska orbita Księżyca; **EML1, EML2, EML 4/5** — Earth-Moon Lagrange point 1, 2, 4/5/punkty Lagrange'a (libracyjne); **DCO** — Deimos Capture Orbit/orbita przechwytyjąca Deimosa; **DEIM** — Deimos (jeden z księżyców Marsa); **PCO** — Phobos Capture Orbit/orbita przechwytyjąca Fobosa; **PHOB** — Fobos (jeden z księżyców Marsa); **LMO** — Low Mars Orbit/niska orbita Marsa; **GC** — Gale Crater/marsjański krater Gale.

Źródło: Takuto i in., 2016, s. 12.

w tej lokalizacji istnieje obiekt lub że węzeł jest używany lub odwiedzany. Węzeł to po prostu sposób na odniesienie się do lokalizacji w przestrzeni. W modelowaniu architektury kosmicznych łańcuchów dostaw wyróżnia się węzły powierzchniowe (planety, inne zwarte obiekty), węzły orbitalne i węzły Lagrange'a (de Weck i in., 2006). W omawianej wizualizacji łańcucha dostaw autorzy wymieniają węzły ziemskie (ang. *terrestrial node*), orbitalne (ang. *orbital node*), księżycowe (ang. *lunar node*) oraz węzeł marsjański (ang. *Martian node*), wskazując również obszary transportu naziemnego (między „ziemskimi” dostawcami i naziemnymi obiektami kosmicznymi) oraz kosmicznego (orbitalne drogi transferowe). Międzyplanetarny łańcuch dostaw w postaci symulacji przepływów między Ziemią, Księżycem i Marsem zaprezentowano na rysunku 6.

Z czasem ten prosty model międzyplanetarnego łańcucha dostaw został udoskonalony i rozbudowany o nowe węzły oraz liczne łuki (czyli powiązania między węzłami), uwzględniono w nim również możliwości posługiwania się zasobami *in situ*. Zaawansowaną wizualizację takiego rozbudowanego łańcucha dostaw z zaznaczonymi węzłami i lukami zaprezentowano na oryginalnej ilustracji (rysunek 7).

Prace nad rozwojem międzyplanetarnych łańcuchów dostaw trwają. Naukowcy przy współpracy z praktykami misji kosmicznych starają się tworzyć nowe rozwiązania, testować je i wykorzystywać jako bazę do dalszych badań. W tabeli 2 wskazano na najważniejsze koncepcje, które do tej pory wykorzystano do opisywania i modelowania międzyplanetarnych łańcuchów dostaw.

Koncepcja wykorzystania zasobów *in situ*. Zrównoważona logistyka kosmiczna

Projekt międzyplanetarnych łańcuchów dostaw, jak wiele kosmicznych rozwiązań teoretycznych, ma szansę na komercjalizację. Budowa kosmicznych sieci będzie wymagać bardzo dużych nakładów czasu i pieniędzy, w tym zasobów naturalnych. W przeciwieństwie do dotychczasowych misji i projektów kosmicznych budowa kosmicznych łańcuchów dostaw nie musi wiązać się z wykorzystaniem ziemskich surowców, mogą je bowiem zastąpić te, które znajdują się w przestrzeni kosmicznej. Co istotne międzyplanetarne łańcuchy dostaw mogą zapewnić dostęp do zasobów *in situ* pochodzących z Księżyca, Marsa czy planetoid wszystkim innym misjom i projektom kosmicznym, pozwalając tym samym na bardziej zrównoważoną eksplorację kosmosu.

O tym, jak istotne jest wykorzystanie zasobów *in situ*, mogą świadczyć symulacje poziomu kosztów energii i zużytego czasu dla poszczególnych operacji kosmicznych. Na rysunku 8 zaprezentowano schemat międzyplanetarnego łańcucha dostaw oraz zużywanych w ramach jego eksploatacji energii i czasu. Koszt manewru rakiety w postaci zmiany prędkości (ΔV) w warunkach idealnych (określonej jako koszt energii i wyrażanej w km/s) odzwierciedla koszty ekonomiczne i środowiskowe. Przykładowo lot na Międzynarodową Stację Kosmiczną „kosztuje” rakietę ok. 9,4 km/s. To ilość energii, jaką rakietę musi zużyć, żeby startując z Ziemi, wejść na właściwą orbitę. W przypadku lotów na Księżyc w ramach programu Apollo NASA przewidywała koszt ok. 16,5 km/s.

Tabela 2

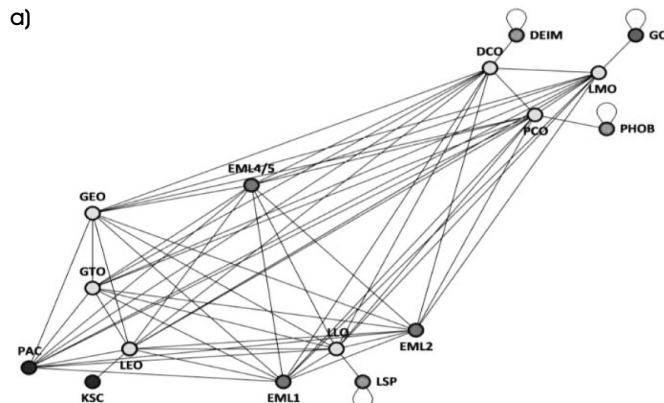
Ziemski vs kosmiczny łańcuch dostaw

Koncepcje	Obszary różnicujące	Ziemskie łańcuchy dostaw	Kosmiczne/międzyplanetarne łańcuchy dostaw
Koncepcja 1. Sieci	Ogniwa (węzły)	Dostawcy, producenci, dystrybutorzy, detaliści	Dostawcy ziemscy i kosmiczni (ISRU), środki transportu, zasoby, magazyny orbitalne, lokalizacje w kosmosie, procesy na powierzchni planet
	Łączniki (łuki)	Transport — różne gałęzie transportu/operatorzy logistyczni	Transport kosmiczny/operatorzy logistyczni
Koncepcja 2. Sterowanie zapasami (<i>push-pull</i>)	Przedmioty dostaw	SKUs	Materiały eksploatacyjne, części zamienne, przedmioty do eksploracji itd.
	Popyt	Wygenerowany przez klienta, prognozowany (<i>pull i push</i>)	Zaplanowany (głównie <i>push</i>) Odraczanie (<i>postponement</i>) w procesach na powierzchni planet lub obiektów w kosmosie (<i>pull</i>)
Koncepcja 3. Redukcja kosztów	Elementy	Produkty modułowe, które można łatwo rozbudować (standaryzacja)	Modułowe, łatwe w utrzymaniu pojazdy (obieg zamknięty, rakiety recyklingowe)

Źródło: de Weck i in., 2006.

Rysunek 8

Simulacja zużycia energii i czasu w trakcie przepływów w międzyplanetarnym tańczeniu dostaw *
 a) węzły i łuki w międzyplanetarnym tańczeniu dostaw, b) koszt manewru (ΔV), km/s, c) czas lotu (TOF — *time of flight*) w dniach ziemskich



b) Do

Z

ΔV [km/s]	KSC	PAC	LEO	GTO	GEO	EML1	EML2	EML4/5	LLO	LSP	DCO	DEIM	PCO	PHOB	LMO	GC
KSC			9.50													
PAC																
LEO	9.50			2.50	4.33	3.77	3.43	3.97	4.04		5.48	5.77	5.93			
GTO	12.00	2.50			1.83	1.27	0.93	1.47	1.54		4.48	4.37	3.83			
GEO	13.83	4.33				1.38	1.47	1.71	2.05		2.98	3.27	3.43			
EML1	13.27	3.77					0.14	0.33	0.64		1.98	1.87	1.33			
EML2	12.93	3.43						0.34	0.64		2.56	2.45	4.01			
EML4/5	13.47	3.97							0.98		2.40	2.69	2.85			
LLO	13.54	4.04								1.87	1.40	1.29	0.75			
LSP											2.40	2.69	2.85			
DCO	14.98	5.48											2.85			
DEIM	1.66	1.66										0.01	1.59		1.75	
PCO	15.27	5.77											0.66		0.66	
PHOB	1.95	1.95												0.01	1.24	
LMO	2.11	2.11														4.10
GC																4.10

■ Energia potrzebna do wyhamowania

c) Do

Z

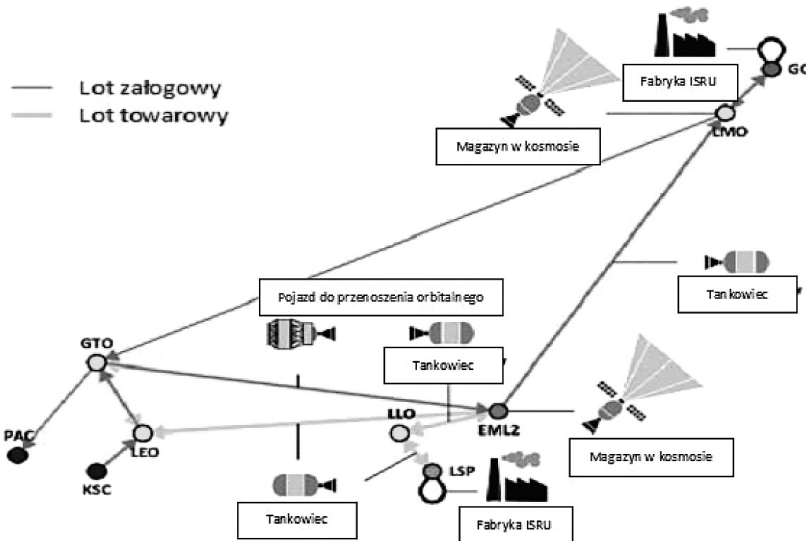
TOF [days]	KSC	PAC	LEO	GTO	GEO	EML1	EML2	EML4/5	LLO	LSP	DCO	DEIM	PCO	PHOB	LMO	GC
KSC			1													
PAC																
LEO	1			1	1	3	4	4	4		180	180	180			
GTO	1	1			1	3	4	4	4		180	180	180			
GEO	1	1	1			3	4	4	4		180	180	180			
EML1	3	3	3	3			1	4	1		180	180	180			
EML2	4	4	4	4	4	1		4	1		180	180	180			
EML4/5	4	4	4	4	4	4	4		4		180	180	180			
LLO	4	4	4	4	4	1	1	4			180	180	180			
LSP										1						
DCO	180	180	180	180	180	180	180	180	180			1	1		1	
DEIM												1				
PCO	180	180	180	180	180	180	180	180	180		1			1	1	
PHOB														1		
LMO	180	180	180	180	180	180	180	180	180		1	1				1
GC																1

Uwaga: skróty zostały wyjaśnione pod rysunkiem 7.

Źródło: Takuto i in., 2016, s. 25.

Rysunek 9

Scenariusz przepływów w ramach międzyplanetarnego łańcucha dostaw z uwzględnieniem zasobów *in situ*



Uwaga: skróty zostały wyjaśnione pod rysunkiem 7.
Źródło: Takuto i in., 2016, s. 31.

Wspomniany wcześniej nowy paradygmat logistyki kosmicznej zakłada, że realizacja projektów kosmicznych musi odbywać się w sposób zrównoważony. Najważniejszym elementem tej idei jest ograniczanie dostaw z Ziemi i zastąpienie ich dostawami z obiektów kosmicznych. W eksploracji kosmosu wykorzystanie zasobów *in situ* (ISRU — In-Situ Resource Utilization) to praktyka gromadzenia, przetwarzania, przechowywania i wykorzystywania materiałów znalezionych lub wyprodukowanych na innych obiektach astronomicznych (Księżyc, Mars, asteroidy itp.), będących w stanie zastąpić materiały, które w przeciwnym razie zostałyby wyniesione z Ziemi. NASA identyfikuje m.in. następujące możliwości ISRU (NASA, 2020): wydobywanie zasobów, przeładunek i transport materiałów, przetwarzanie zasobów, produkcja powierzchniowa z wykorzystaniem zasobów *in situ*, budowa na powierzchni i powierzchniowe przechowywanie i dystrybucji produktów i materiałów eksploatacyjnych ISRU.

Do najważniejszych zasobów znajdujących się w przestrzeni kosmicznej, pozwalających na zrównoważoną eksplorację, zalicza się przede wszystkim (Duke, 2000):

- energię (obfite nasłonecznienie, izotop hel-3 — dostępny na Księżycu i w atmosferze planet zewnętrznych);
- materiały takie jak: woda³, tlen (bieguny księżycowe, Księżyc, Mars, węglowe asteroidy), gazy obojętne (Mars, niskie stężenia na Księżycu) i metale oraz niemetale (Księżyc, Mars, kamieniste asteroidy)⁴.

Z koncepcją ISRU wiąże się rozwiązanie określane jako ISFR (In-Situ Fabrication and Repair). Jest to grupa rozwiązań, która zapewnia tworzenie nowych części lub wymiany istniejących części lub narzędzi na bazie zasobów *in situ*. Stosując ISFR można zapewnić środki do naprawy systemów podczas transportu kosmicznego oraz w bazach na Księżycu, Marsie i innych ciałach pozaziemskich. Przykładem rozwiązania ISFR jest druk 3D, testowany na potrzeby budowania m.in. kolonii księżycowej.

W miarę rozwoju międzyplanetarnych łańcuchów dostaw, wdrożenie rozwiązań z zakresu ISRU i ISFR pozwoli na poprawę ich efektywności ekonomicznej i środowiskowej. Przykład łańcucha dostaw uwzględniającego zasoby *in situ* zaprezentowano na rysunku 9.

Podsumowanie

Światowa gospodarka rozwija się tak intensywnie jak nigdy wcześniej (nie licząc okresu pandemii). Świadczą o tym nie tylko wskaźniki makroekonomiczne, ale również skala zużycia zasobów naturalnych. Jeśli tempo, w jakim eksploatujemy te zasoby, nie zmniejszy się, czeka nas naturalny kryzys związany z permanentnym ich deficytem. Jako remedium ludzkość wprowadza rozwiązania, która mają spowolnić wskazany trend. Idea zrównoważonego rozwoju, w tym odpowiedzialnego gospodarowania ziemskimi zasobami naturalnymi, jest od lat propa-

gowana na różnych poziomach życia społeczno-gospodarczego. Umiejętne łączenie celów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych jest oczekiwane przez interesariuszy i opinię publiczną. Ta presja, przy ostrzegających się przepisach prawa, tworzy wymagania dla wszystkich aktywności człowieka, nie tylko tych gospodarczych, społecznych, ale również naukowych. W dobie kryzysu klimatycznego wszelkie inicjatywy, które wiążą się ze zużyciem zasobów naturalnych i emisją zanieczyszczeń, poddawane są surowej ocenie opinii publicznej, w tym środowisk i organizacji związanych z ochroną środowiska. Nie inaczej jest z projektami badawczo-naukowymi związanymi z eksploracją kosmosu. Od czasu pierwszych lotów w kosmos w latach 60. ubiegłego wieku miały miejsce setki lotów kosmicznych. Zainteresowanie eksploracją kosmosu ma obecnie wiele przesłanek. Taką przesłanką nie jest już tylko ludzka ciekawość czy politycznie osadzona potrzeba dominacji w kosmosie. Ludzkość potrzebuje alternatywy, jeśli nie dla samej Ziemi, to z całą pewnością dla jej topniejących zasobów. A przestrzeń kosmiczna i obiekty w niej obecne są źródłem wielu surowców i minerałów, które z powodzeniem mogłyby uzupełnić nasze ziemskie zapasy, jak również wzbogacić je w nowe, oryginalne składowe. Jednak to, czemu przede wszystkim mogą służyć kosmiczne zasoby, to same projekty eksploracyjne w przestrzeni kosmicznej. Projekty badawczo-

-naukowe w postaci misji kosmicznych wymagają bardzo wielu ziemskich zasobów, co w opisanej wyżej sytuacji niedoborów spotyka się z coraz ostrzejszym sprzeciwem społecznym. Jednym ze sposobów, by wyjść naprzeciw potrzebom takich projektów przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia zasobów na Ziemi, jest korzystanie z zasobów znajdujących się na kosmicznych obiektach, takich jak Księżyc, Mars czy planetoidy. Obecnie pozyskanie takich zasobów, chociaż technologicznie możliwe, jest wysoce nieefektywne kosztowo. Stąd podejmowane są inicjatywy, które mają zredukować koszty eksploracji kosmosu. Jednym z takich działań, opisanym w niniejszym artykule, jest konfigurowanie międzyplanetarnych łańcuchów dostaw.

Rośnie świadomość, że przyszłe misje kosmiczne, takie jak budowa i utrzymanie placówki księżycowej, nie powinny być traktowane jako odosobnione misje, ale raczej jako zintegrowany łańcuch dostaw. Zarządzanie łańcuchem dostaw na poziomie międzyplanetarnym zmaksymalizuje zyski naukowe, zminimalizuje koszty transportu i zmniejszy ryzyko poprzez zwiększoną dostępność systemu logistycznego i jego odporność na awarie (Gralla i in., 2006; Sindi, DeLaurentis, 2007). To z kolei przyczyni się do redukcji negatywnego wpływu projektów kosmicznych na środowisko Ziemi i wpłynie pozytywnie na wizerunek tego typu inicjatyw oraz ich akceptację przez społeczeństwo.

Przypisy/Notes

¹ <http://spacenet.mit.edu/>

² <http://strategic.mit.edu/spacelogistics/>

³ ULA — United Launch Alliance, spółka joint venture Boeinga oraz Lockheed Martina, projektuje całościową architekturę systemu transportowego dla gospodarki okołoksiężycowej, bazująca na raketach oraz ładownikach, które wykorzystywałyby paliwo wyprodukowane z wody wydobytej na Księżycu i asteroidach. Źródło: <https://www.nasaspacelife.com/2018/03/ula-laying-foundations-econosphere-cislunar-space/>

⁴ Regolit księżycowy jest bogaty w izotop helu, będący idealnym paliwem do wykorzystania w reakcji termojądrowej. Szacuje się, że 100 kg helu-3, pochodzącego z przetworzenia 20 tys. m³ regolitu księżycowego mogłoby przez rok zasilić 2-minionowe miasto. Na Marsie szczególnie cennym surowcem jest deuter, który jest paliwem reaktorów termojądrowych, a także kluczowym surowcem we współczesnym przemyśle energetycznym (za: Łuszczek, 2011).

Bibliografia/References

Literatura/Literature

- Baraniecka, A. (2019). Space logistics — current status and perspectives. *Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics*, 82, 67–78. <https://doi.org/10.26881/etil.2019.82.06>
- Cowley, A., Imhof, B., Teeney, L., Waclawicek, R., Spina, F., Canals, A., Schleppe, J., Soriano, P. L. (2016). An ISRU-Based Architecture for Human Habitats on Mars: the „Lava Hive” Concept. *Acta Futura*, 10, 109–119.
- Duke, M. B. (b.r.). *Space Resources*. Colorado School of Mines, <https://history.nasa.gov/DPT/Technology%20Priorities%20Recommendations/Space%20Resources%20DPT%20Boulder%20000.pdf> (30.11.2021).
- Evans W. A. (2006). *Logistics and Supply Chain Management — A Space Operations Enabler*. SpaceOps 2006, Conference AIAA 2006-5852.
- Evans, W. A., de Weck, O., Laufer, D., Shull, S. (2006). *Logistics Lessons Learned in NASA Space Flight*, NASA/TP-2006-214203, http://strategic.mit.edu/docs/4_17_NASA-TP-2006-214203.pdf (30.11.2021).
- Gralla, E., Shull, S., Lee, G., Shishko, R., de Weck, O. L. (2006). *A Modeling Framework for Interplanetary Supply Chains*. AIAA SPACE 2006 Conference & Exposition, AIAA-2006-7229, San Jose, California, 19–21 Sep. 2006.
- Grogan, P. T. (2010). *A Flexible, Modular Approach To Integrated Space Exploration Campaign Logistics Modeling, Simulation, And Analysis*. Massachusetts Institute Of Technology, September 2010, thesis for S. M. Aeronautics and Astronautics, advisor: Olivier L. de Weck, <http://strategic.mit.edu/docs/SM-41-Grogan-PT-2010.pdf> (30.11.2021).
- Ho, K. (2015). *Dynamic Network Modeling for Space? ight Logistics with Time-Expanded Networks*. Massachusetts Institute Of Technology, June 2015, <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/98557/920684579-MIT.pdf?sequence=1> (30.11.2021).
- Ho, K., de Weck, O. L., Hoffman, J. A., Shishko R. (2014). *Dynamic Modeling and Optimization for Space Logistics Using Time-Expanded Networks*. *Acta Astronautica*, 105(2), 428–443. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.10.026>

- Ho, K., de Weck, O. L., Hoffman, J. A., Shishko R. (2016). Campaign-Level Dynamic Network Modelling for Spaceflight Logistics for the Flexible Path Concept. *Acta Astronautica*, 123, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.03.006>
- Lee, G., Jordan E., Shishko, R., de Weck, O., Armar, N., Siddiqi, A. (b.r.). *SpaceNet: Modeling and Simulating Space Logistics*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 092407, https://trs.jpl.nasa.gov/bitstream/handle/2014/45444/08-2526_A1b.pdf?sequence=1 (30.11.2021).
- Lo, M. W. (2002). The Interplanetary Superhighway and the Origins Program, Physics. *Proceedings, IEEE Aerospace Conference*, 7, <https://doi.org/10.1109/AERO.2002.1035332>
- Łuszczek, K. (2011). Poszukiwania nowych zasobów surowców w układzie słonecznym. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 133(40), 85–94.
- Mazarico, E., Rowlands, D. D., Neumann, G. A., Smith, D. E., Torrence, M. H., Lemoine, F. G., Zuber, M. T. (2011). *Orbit determination of the Lunar Reconnaissance Orbiter*. Springer-Verlag, http://www-geodyn.mit.edu/mazarico_LROPOD_jgeod11.pdf (30.11.2021).
- NASA (2012). *NASA Life Cycle Logistics Support Guidebook*. https://ld.hq.nasa.gov/docs/NASA_LCLS_Guidebook.pdf (30.11.2021).
- Saydam, S., Tapia-Cortez, C., Dempster, A. G., Coulton, J., Fradet, R. Shishko, R., (b.r.). *An Integrated Economics Model for ISRU in Support of a Mars Colony — Initial Results Report Jet Propulsion Laboratory*. California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109.
- Shull, S. A., Gralla, E. L., Armar, N., de Weck, O. (2012). *An Integrated Modeling Tool For Sustainable Space Exploration*. 57th International Astronautical Congress, 2–6 October 2006 IAC-06-D3.3.1. <https://doi.org/10.2514/6.IAC-06-D3.3.01>
- Shull, S. A., Gralla, E. L., Silver, M., de Weck, O. (2006). *Logistics Information Systems for Human Space Exploration: State of the Art and Emerging Technologies*. SpaceOps 2006 Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006–5733.
- Sindi, O., DeLaurentis, D. (2007). *Exploration of a Solar System Mobility Network via a System-of-Systems Engineering Framework*. AIAA Space 2007 Conference & Exposition, AIAA-2007-6257, Long Beach, California, 18–20 September 2007.
- Snead, J. M. (2004). *Architecting Rapid Growth in Space Logistics Capabilities*. 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit AIAA 2004-4068, 11–14 July 2004, Fort Lauderdale, Florida, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Space Logistic Technical Committee. <https://doi.org/10.2514/6.2004-4068>
- Snead, J. M., Hellman, B. H. (2007). *Near-Future Reusable Space Logistics Vehicles*. 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 8–11 July 2007, Cincinnati, OH. <https://doi.org/10.2514/6.2007-5847>
- Takuto, I., de Weck, O. L., Hoffman, J. A., Ohkami, Y., Shishko, R. (2016). Generalized Multi-Commodity Network Flow Model for the Earth–Moon–Mars Logistics System. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 53(1), 25–38. <https://doi.org/10.2514/1.A33235>
- de Weck, O. (2021). *Space Logistics: enabler of the final frontier (1960–2060)*, 1-st Sustainable Space Logistics, digital symposium, February 16–18th 2021, the EPFL Space Center (e-Space) in Lausanne, Switzerland.
- de Weck, O., Simchi-Levi, D., Shishko, R., Ahn, J., Gralla, E., Klabjan, D., Mellein, J., Shull, A., Siddiqi, A., Bairstow, B., Lee, G. (2007). *SpaceNet v1.3 User's Guide*, NASA/TP-2007-214725, January 2007.
- de Weck, O., Simchi-Levi, D., Shishko, R., Parrish J., Steele M. (2006). *Interplanetary Supply Chain Management and Logistics Architectures. Overview*. October 2006, s. 38, <http://strategic.mit.edu/docs/spacelogistics.pdf> (30.11.2021).
- Witkowski, J. (2003). *Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia*. Warszawa: PWE.

Źródła internetowe/Internet sources

<https://www.nasa.gov/isru>

<https://www.nasaspacelight.com/2018/03/ula-laying-foundations-econosphere-cislunar-space/>

Dr Anna Baraniecka

Pracownik naukowy, nauczyciel akademicki, opiekun studenckiego koła naukowego w Katedrze Zarządzania Strategicznego i Logistyki na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Dyscyplina naukowa autorki to nauki o zarządzaniu i jakości, a subdyscypliny to: zarządzanie organizacjami, zarządzanie strategiczne, koncepcje i metody zarządzania, logistyka. Obszar jej obecnych zainteresowań naukowych obejmuje: zarządzanie łańcuchem dostaw, kapitał społeczny łańcucha dostaw, zarządzanie strategiczne, logistykę, ekologiczną, sektory wysokiej technologii, logistykę w przestrzeni kosmicznej.

Dr Anna Baraniecka

PhD, researcher, lecturer, tutor of the student research group at the Department of Strategic Management and Logistics (Faculty of Management, Wrocław University of Economics and Business). The author's scientific discipline is management and quality sciences, and the subdisciplines are: organization management, strategic management, management concepts and methods, logistics. The areas of current scientific interest are: supply chain management, supply chain social capital, strategic management, logistics, ecologistics, high technology sectors, space logistics.