

Agata Łazarewicz

Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej

stan obecny i perspektywy rozwoju



Praca DYPLOMOWA – LICENCJACKA napisana w Katedrze Zarządzania
Strategicznego i Logistyki na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu
pod kierunkiem dr Anny Baranieckiej



Uniwersytet Ekonomiczny
we Wrocławiu

Agata Łazarewicz

**Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej
– stan obecny i perspektywy rozwoju**

PRACA DYPLOMOWA LICENCJACKA

Promotor:

dr Anna Baraniecka

Katedra Zarządzania Strategicznego i Logistyki

WROCLAW 2020

Promotor:

dr Anna Baraniecka

Katedra Zarządzania Strategicznego i Logistyki

DTP:

Ewa Ogórek, AD REM

© Agata Łazarewicz, 2020

Publikowane w poszczególnych rozdziałach teksty mają charakter autorski,
a za ich treści odpowiada Autor

ISBN 978-83-66458-60-4

Realizacja:

Wydawnictwo „AD REM”

58-500 Jelenia Góra, al. Wojska Polskiego 91/1

www.adrem.jgora.pl

W przypadku wykorzystania publikacji należy podać źródło:

Łazarewicz A., *Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej – stan obecny i perspektywy rozwoju*, Wydawnictwo „AD REM”, Jelenia Góra, 2020

Abstract

Artificial intelligence in space logistics – present state and perspective of development

The main goal of this work is to present potential applications of Artificial Intelligence (AI) in space logistics as well as discuss already realized projects based on this technology and to present the current state of space sector with plans for the exploration of Solar System. An additional goal is the analysis of the Polish IT companies which provide services based on Artificial Intelligence and to examine their interest in expanding their activities to provide services for the space sector. Motivation in taking up the subject came from constantly growing importance of artificial intelligence and projects from the branch of space exploration in the global and domestic economy as well as author's personal interests in modern technologies. The author's internship at the Polish Space Agency – an organization that promotes and supports the development of the Polish space sector – was important in undertaking work on the subject.

The research methods used in this work are based on the analysis and criticism of the literature and diagnostic survey using a questionnaire (among IT and high technologies companies related to artificial intelligence). The research problem simply may be reduced to question “Does artificial intelligence have development potential in space logistics?” and if so, “in what areas should it be used?”

The research hypothesis, which the author verifies in this work, assumes that AI technologies have many potential applications concerning space logistics, and their use can significantly improve the processes associated with the implementation of space missions.

This work consists of three main chapters. First chapter function as an introduction to space logistics and explains all related to its terms and issues. The topics discussed there are the conditions that create outer space, issues arising from conducting activities in extra-terrestrial space and space industry technologies. Cognizance of these issues is necessary to understand the studied topic and the essence of space logistics.

The second chapter is focused on the topic of Artificial intelligence, the meaning of its name and related to its technologies. Aim of this chapter is to show AI's potential in both traditional and space logistics as well as to present the development barriers of this technology. The presented examples are based on real-life projects and concepts that alongside with the development of AI have a chance to be implemented into the industry.

The last chapter is devoted to earlier conducted research. The first subchapter focuses on the characteristics of research, presenting a research problem, hypothesis, research tools and a group of respondents, thanks to which it was possible to obtain information on the artificial intelligence sector in Poland. In turn, the results of the survey and analysis of the prospects for the development of AI technology in space logistics are presented in the later parts of said subchapter. Information about the potential of Polish IT companies in the space sector and the area in which they have the best opportunities for development is also presented here.

Literature and the source materials used in this work are associated mainly with the topics of Artificial Intelligence, logistics and the space sector. The most information comes from the official websites, in particular the NASA and ESA and related institutions, companies and project groups.

Wstęp

Od pewnego czasu można zauważyć coraz większe zainteresowanie związane z eksploracją kosmosu, zarówno ze strony agencji kosmicznych z całego świata, jak i sektora prywatnego. Perspektywa turystyki kosmicznej, kolonizacji Marsa, czy kosmicznego górnictwa opartego na międzyplanetarnym łańcuchu dotychczas stanowiła tylko futurystyczną wizję gospodarki przyszłości, jednak dynamiczny rozwój kosmicznych technologii oraz rosnące znaczenie sztucznej inteligencji coraz bardziej przybliża nas do osiągnięcia tych celów.

Niniejsza praca ma na celu wskazać potencjalne zastosowania sztucznej inteligencji (AI) w logistyce kosmicznej, omówić dotychczas zrealizowane projekty oparte na tej technologii oraz przedstawić aktualny stan sektora kosmicznego wraz z planami odnośnie eksploracji Układu Słonecznego. Z kolei celem dodatkowym jest analiza polskich firm informatycznych świadczących usługi wykorzystujące sztuczną inteligencję oraz zbadanie ich zainteresowania poszerzeniem działalności o świadczenie usług dla sektora kosmicznego. Motywacją do podjęcia takiej tematyki pracy było rosnące znaczenie sztucznej inteligencji oraz projektów z zakresu eksploracji kosmosu w gospodarce światowej i krajowej, jak i zainteresowania autorki związane z nowoczesnymi technologiami. Istotne znaczenie w podjęciu prac nad wskazaną tematyką miał staż autorki w Polskiej Agencji Kosmicznej – organizacji promującej i wspierającej rozwój polskiego sektora kosmicznego.

Użyte w pracy metody badawcze opierają się na analizie i krytyce piśmiennictwa oraz sondażu diagnostycznym przy wykorzystaniu kwestionariusza ankietowego (badanie wśród firm informatycznych i wysokiej technologii związanych ze sztuczną inteligencją). Problem badawczy sprowadza się do pytania „Czy sztuczna inteligencja ma potencjał rozwoju w logistyce kosmicznej?” oraz jeśli tak, to „w jakich obszarach powinna być stosowana?”.

Hipoteza badawcza, którą autorka w niniejszej pracy poddaje weryfikacji, zakłada, iż technologie AI mają wiele potencjalnych zastosowań w odniesieniu do logistyki kosmicznej, a ich stosowanie może znacznie usprawnić procesy związane z realizacją misji kosmicznych,

Praca składa się z 3 głównych rozdziałów. Pierwszy z nich stanowi wprowadzenie do logistyki kosmicznej oraz wyjaśnia wszelkie związane z nią zagadnienia. Poruszane są tu tematy dotyczące uwarunkowań, jakie tworzy przestrzeń kosmiczna, problematyki wynikającej z prowadzenia działalności w przestrzeni pozaziemskiej oraz technologii przemy-

słu kosmicznego. Poznanie tych zagadnień jest konieczne w celu zrozumienia badanego tematu, jak i samej istoty logistyki kosmicznej.

W drugim rozdziale poruszana jest tematyka sztucznej inteligencji, znaczenia jej nazwy oraz związanych z nią technologii. Rozdział ten ma za zadanie ukazać potencjał AI zarówno w zwykłej logistyce, jak i logistyce kosmicznej oraz przedstawić bariery rozwojowe tej technologii. Przedstawione przykłady opierają się na rzeczywistych projektach oraz koncepcjach, które wraz z rozwojem AI mają szansę zostać wprowadzone w życie.

Ostatni rozdział pracy poświęcony jest przeprowadzonym badaniom. Pierwszy podrozdział skupia się na charakterystyce badań, czyli przedstawieniu problemu badawczego, hipotezy, narzędzi badawczych oraz grupy respondentów, dzięki której możliwe było uzyskanie informacji na temat sektora sztucznej inteligencji w Polsce. Z kolei w dalszej części prezentowane są wyniki ankiety oraz analiza perspektyw rozwoju technologii AI w logistyce kosmicznej. Znajduje się tu również informacja na temat potencjału polskich firm informatycznych w sektorze kosmicznym oraz obszaru, w którym mają najlepsze szanse na rozwój.

Literatura oraz materiały źródłowe użyte na potrzeby pracy związane były przede wszystkim z tematyką sztucznej inteligencji, logistyki oraz sektora kosmicznego. Najwięcej informacji pochodziło z oficjalnych stron agencji kosmicznych, w szczególności NASA i ESA, oraz od powiązanych z nimi instytucji, firm i grup projektowych.

Spis treści

Abstract.....	3
Wstęp	5
Rozdział 1. Rozwój logistyki kosmicznej	9
1.1 Istota logistyki kosmicznej	9
1.2 Przestrzeń kosmiczna jako uwarunkowanie rozwoju logistyki kosmicznej.....	14
1.3 Międzyplanetarny łańcuch dostaw.....	21
1.4 Technologie przemysłu kosmicznego	26
1.5 Potencjał Księżyca w logistyce kosmicznej	30
1.6 Eksploracja Marsa.....	33
Rozdział 2. Istota i znaczenie sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej	37
2.1 Sztuczna inteligencja	37
2.2 Sektor sztucznej inteligencji na świecie i w Polsce.....	44
2.3 Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej.....	46
2.4 Zastosowanie sztucznej inteligencji w robotyce kosmicznej	48
2.5 Zastosowanie sztucznej inteligencji w analizie zdjęć satelitarnych i astronomicznych.....	56
2.6 Bariery rozwojowe sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej	63
Rozdział 3. Perspektywy rozwoju sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej ...	65
3.1 Charakterystyka badań.....	65
3.2 Prezentacja wyników badań.....	66
3.3 Analiza perspektyw rozwoju sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej	76
Zakończenie	79
Spis literatury	81
Spis źródeł internetowych.....	82
Spis rysunków.....	88

Rozdział 1. Rozwój logistyki kosmicznej

1.1 Istota logistyki kosmicznej

Wszechświat od zawsze ciekawił ludzi, jednocześnie stanowiąc dla nich zagadkę. Do dzisiaj nie znamy wszystkich praw rządzących przyrodą, a znaczna część fizyki opiera się na teoriach. Jednak dynamiczny rozwój nauki już w ubiegłym stuleciu pozwolił nam zbliżyć się do poznania nowych koncepcji na temat otaczającej nas przestrzeni pozaziemskiej oraz zapoczątkował eksplorację kosmosu.

Kluczowym wydarzeniem mającym miejsce 4 października 1957 roku było wyrzucenie przez ZSRR pierwszego sztucznego satelity Sputnik 1 na orbitę okołoziemską. Rozpoczęło to wyścig kosmiczny między Związkiem Radzieckim, a Stanami Zjednoczonymi jednocześnie stając się ważnym aspektem kulturowej, technologicznej i ideologicznej rywalizacji między mocarstwami w czasie zimnej wojny. Próby wyniesienia w przestrzeń kosmiczną pierwszych satelitów stanowią także początek logistyki kosmicznej.¹

Logistyka kosmiczna jako gałąź logistyki obejmuje wszelkie procesy zachodzące w zwykłej logistyce, jednak jej głównym obszarem działania jest przestrzeń kosmiczna. Jak mówi jedna z najbardziej popularnych w literaturze definicja, „*logistyka jest procesem planowania, realizowania i kontrolowania sprawnego i efektywnego ekonomicznie przepływu surowców, materiałów, wyrobów gotowych oraz odpowiedniej informacji z punktu przychodzenie do punktu konsumpcji w celu zaspokojenia wymagań klienta*”.² Według innej definicji, odnoszącej się bezpośrednio do sektora kosmicznego, „*logistyka kosmiczna to teoria i praktyka zarządzania przepływem materiałów, usług i informacji na potrzeby realizacji celów systemu kosmicznego*”. Znaczenie logistyki w eksploracji kosmosu związane jest z jej wpływem na sprawność i bezpieczeństwo w przemieszczaniu się w przestrzeni kosmicznej oraz z ograniczeniem kosztów wynikających z optymalizacji procesów logistycznych. Działania realizowane w ramach logistyki kosmicznej muszą być odpowiednio dostosowane do warunków kosmicznych, gdyż statki kosmiczne narażone są na szereg zagrożeń, takich jak chociażby zmienne gęstości gazu neutralnego na niskiej orbicie ziemskiej, intensywne promieniowanie elektromagnetyczne, czy gęsty przepływ plazmy. Z ko-

¹ M. Denys, *Kosmiczna zimna wojna: USA vs ZSRR*, www.obserwatormiedzynarodowy.pl/2019/09/05/kosmiczna-zimna-wojna-usa-vs-zsrr-denys/ (23.02.2020).

² J. Coyle, E. Bardi, J. Langley Jr., D. Kempny (red.) *Zarządzanie Logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002, s. 51-52.

lei w przypadku komunikacji i nawigacji radiowej sygnał może zostać zakłócony przez propagację fal elektromagnetycznych lub plazmę jonosferyczną w najwyższej warstwie atmosfery ziemskiej.³

Na podstawie idei, cech i zasad działania, logistyce kosmicznej najbliższa jest logistyka wojskowa. Związane jest to z wysokimi wymaganiami stawianymi przed realizacją misji kosmicznych, takimi jak zapewnienie bezpieczeństwa podejmowanych działań, wysoki standard usług logistycznych oraz odpowiedni poziom synchronizacji i integracji przepływów fizycznych i informacyjnych. Ponadto, sektor kosmiczny jest wykorzystywany w naziemnych działaniach militarnych. Za przykład mogą posłużyć satelity szpiegowskie przeznaczone do przechwytywania sygnałów z Ziemi oraz do prowadzenia operacji zwiadowczych.

Można powiedzieć, że logistyka jest kluczowym elementem determinującym skuteczność projektów kosmicznych. Jest również istotna ze względu na możliwości, jakie zapewniają innowacyjne projekty logistyczne, dostosowane do ekstremalnie trudnych warunków panujących w przestrzeni kosmicznej. W odniesieniu do sektora kosmicznego, logistyka zajmuje się planowaniem i realizacją misji kosmicznych, prowadzeniem badań na temat przestrzeni kosmicznej (oraz wszystkiego co się w niej znajduje), jak również pozyskiwaniem i wykorzystywaniem danych astronomicznych dla celów komercyjnych, rządowych, czy też naukowych. Misje kosmiczne przeważnie mają charakter badawczy, gdyż nastawione są na eksplorację Układu Słonecznego, badanie struktury planet i gwiazd lub przeszukiwanie odległych galaktyk przy pomocy odpowiednich narzędzi. Największym zainteresowaniem ze strony agencji kosmicznych z całego świata cieszą się Księżyc i Mars, gdyż są najbliższymi ciałami niebieskimi względem Ziemi. Zarówno na naturalnym ziemskim satelicie, jak i na czwartej planecie Układu Słonecznego kryją się złoża potencjalnie korzystnych ekonomicznie surowców, a także materiały, które pozwolą na lepsze poznanie naszej galaktyki. Jednakże, zdobywanie wiedzy na temat otaczającego nas świata nie jest jedynym powodem, dla którego misje kosmiczne są realizowane. Najlepszymi przykładami są tu sieci telefoniczne, telewizja satelitarna oraz system nawigacji satelitarnej GPS, których działanie oparte jest na wykorzystaniu satelitów wyniesionych w ramach misji kosmicznych na orbity okołoziemskie. Realizacja misji kosmicznych jest również uważana za wyznacznik przewagi konkurencyjnej na tle polityczno-gospodarczym. Stąd też agencje kosmiczne z całego świata starają się poczynić jak największe postępy w rozwoju sekto-

³ A. Baraniecka, *Space Logistics – Current Status and Perspectives, Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics, Vol 82, Modelling of Logistics Processes and Systems. Part XXI*, 2019, s. 67-78.

ra kosmicznego. Najbardziej istotnymi agencjami kosmicznymi z perspektywy rozwoju logistyki kosmicznej są: amerykańska agencja kosmiczna NASA (National Aeronautics and Space Administration), międzynarodowa organizacja krajów europejskich ESA (European Space Agency), w której skład wchodzi między innymi POLSA (PAK – Polska Agencja Kosmiczna), chińska CNSA (China National Space Administration), rosyjski ROSKOSMOS oraz japońska JAXA (The Japan Aerospace Exploration Agency). Powołana w 2014 roku Polska Agencja Kosmiczna, pomimo krótkiego czasu funkcjonowania, agencja aktywnie realizuje cele swojej działalności.

Największym budżetem, a zarazem największym potencjałem rozwojowym charakteryzuje się agencja kosmiczna NASA. Na działania w sektorze kosmicznym, w skład czego wchodzi między innymi eksploracja kosmosu, rozwój technologii, działania na niskiej orbicie okołoziemskiej, projekty badawcze oraz aeronautyka, przeznaczono 22 559 miliardów dolarów amerykańskich.⁴ Jednakże należy zauważyć, iż wiele inicjatyw realizowanych jest we współpracy z innymi agencjami kosmicznymi, w ramach współpracy międzynarodowej. Od pewnego czasu angażowane są również firmy prywatne, dzięki czemu mogą mieć własny wkład w rozwój sektora kosmicznego.⁵ Przyczyniły się do tego w głównej mierze programy NASA, ukierunkowane na rozwój partnerstwa publiczno-prywatnego. Przykładem jest program COTS (Commercial Orbital Transportation Services) koordynujący dostarczanie ładunku oraz załogi do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej przez firmy prywatne.⁶

Pomimo wielu badań, przestrzeń kosmiczna nadal jest dla nas środowiskiem nieznanym, a misje pozaziemskie wymagają o wiele większych nakładów surowców niż ma to miejsce w przypadku logistyki naziemnej. Dużym problemem są również ograniczenia odnośnie ilości ładunku, jaki może być zabrany w przestrzeń kosmiczną. Stąd kwestie rodzaju i metod jego doboru i pakowania są traktowane wysoce priorytetowo. Ważną kwestią są także ewentualne błędy systemowe i usterki. Dostarczenie odpowiednich narzędzi bądź zamienników części maszyn może zająć nawet do kilku miesięcy oczekiwania.⁷

⁴ *FY 2021 President's Budget Request Summary*, www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy_2021_budget_book_508.pdf (28.05.2020).

⁵ *International cooperation*, www.nasa.gov/subject/3582/international-cooperation/ (28.05.2020).

⁶ *Commercial Orbital Transportation Services (COTS)*, www.nasa.gov/commercial-orbital-transportation-services-cots (28.05.2020).

⁷ A. Baraniecka, *Space Logistics – Current Status and Perspectives*, *Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics, Vol 82, Modelling of Logistics Processes and Systems. Part XXI*, 2019, s. 67-78.

Z tej racji najmniejsze błędy mogą dużo kosztować i zadecydować o powodzeniu misji. By operacja była jak najbardziej ekonomiczna, konieczne jest utworzenie odpowiedniego planu działania, dlatego pierwszy etap logistyki kosmicznej jest zarazem najważniejszym procesem. Duże znaczenie ma również rozwój technologiczny, gdyż stanowi podstawę rozwoju logistyki kosmicznej. Automatyzacja procesów oraz inteligentna analiza danych pozwalają na realizację misji, które dotychczas były niemożliwe bądź zbyt ryzykowne do przeprowadzenia. Dzięki autonomicznym maszynom wysyłanym w przestrzeń kosmiczną możliwe jest przeprowadzanie bezzałogowych ekspedycji badawczych, które nie narażają ludzkiego życia, za to przynoszą wiele naukowych korzyści. Ponadto, odpowiednio przeszkolone systemy oparte na sztucznej inteligencji pozwalają na uniknięcie czynnika błędu ludzkiego oraz na podejmowanie jak najbardziej optymalnych decyzji, co skutkuje większą szansą na powodzenie misji.

Można powiedzieć, że logistyka kosmiczna jest próbą przeniesienia ziemskiej wiedzy i zdobywanych przez lata doświadczeń logistycznych do kosmosu. Od czasu II wojny światowej zbadano wiele prawidłowości i stworzono liczną bazę technik ułatwiających zarządzanie logistyczne zarówno w sektorze wojskowym, jak i prywatnym, a teraz także i w logistyce kosmicznej.⁸ Jednak nie wszystkie metody działające na powierzchni ziemi sprawdzają się również w przestrzeni pozaziemskiej, dlatego konieczne jest stałe poszerzanie wiedzy na temat warunków kosmicznych, dążenie do znacznego postępu technologicznego, oraz zdobywanie doświadczenia na podstawie przeprowadzanych wypraw kosmicznych.

Funkcje logistyki kosmicznej z punktu widzenia cyklu życia systemu kosmicznego, według NASA definiowane są mianem LCLS (Life Cycle Logistics Support). Cykl życia obejmuje planowanie, rozwój oraz wdrażanie i zarządzanie kompleksową, efektywną i skuteczną strategią wsparcia systemów kosmicznych. W LCLS zawierają się również studia koncepcyjne, rozwój koncepcji i technologii, planowane projekty technologiczne, ostateczne wersje projektów oraz ich realizacja, produkcja maszyn kosmicznych, montaż systemów, integracja, testowanie, uruchamianie i obsługa usług i produktów oraz likwidacja systemów. Głównymi celami są zagwarantowanie optymalnego projektu systemu, wysokiej efektywności kosztowej jego funkcjonowania, gwarancja sprawnej obsługi serwisowej oraz ciągłe doskonalenie.⁹

⁸ M. Skarżyński, *Logistyka w II wojnie światowej – produkcja przemysłowa*, „Logistyka”, 2014 nr 3, s.70; *Supply Chain Analogies*, www.strategic.mit.edu/spacelogistics/analogies.php (23.02.2020).

⁹ A. Baraniecka, *Space Logistics – Current Status and Perspectives*, *Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics*, Vol 82, *Modelling of Logistics Processes and Systems. Part XXI*, 2019, s. 67-78.

Aktualnie zainteresowanie sektorem kosmicznym jest na etapie dynamicznego wzrostu co wpływa na coraz większą ilość podejmowanych przedsięwzięć kosmicznych zarówno przez sektor publiczny, jak i prywatny. Komercjalizacja sektora kosmicznego pozytywnie wpływa na rozwój nauki oraz otwiera wiele możliwości związanych z ekonomicznym wykorzystaniem przestrzeni kosmicznej. Za przykład może posłużyć cieszące się coraz większym zainteresowaniem kosmiczne górnictwo. W Układzie Słonecznym znajduje się wiele planet bogatych w surowce, których na Ziemi zaczyna brakować. Ponadto, realizacja długoterminowych misji kosmicznych związana jest z wykorzystaniem znacznych ilości zapasów, takich jak chociażby paliwo. Dzięki kosmicznemu górnictwie ten problem może być rozwiązany. Jednakże, by górnictwo kosmiczne mogło przynosić zyski, konieczne jest opracowanie odpowiedniego łańcucha dostaw, który zapewniłby optymalny transport surowców z punktów wydobywania do miejsca docelowego. Zadanie to jest dodatkowo utrudnione przez odległości między Ziemią a potencjalnymi złożami materiałów oraz ograniczoną ilość statków kosmicznych.

Przełomowym wydarzeniem zmieniającym perspektywę rozwoju sektora kosmicznego było wynalezienie przez amerykańską firmę SpaceX rakiety nośnej Falcon 9, która to po wzniesieniu kapsuły w przestrzeń kosmiczną jest w stanie z powrotem wrócić na Ziemię. W porównaniu do innych rakiet, Falcon9 nie trafia do morza, lecz jest w stanie bezpiecznie wylądować na ziemi. Dzięki temu, rakieta może być wielokrotnie wykorzystywana, co daje wiele możliwości w perspektywach bardziej złożonych misji kosmicznych oraz znacząco redukuje koszty przeprowadzanych lotów. Tym samym przyczynia się do zwiększenia zainteresowania kosmicznymi usługami transportowymi zarówno ze strony instytucji rządowych, jak i sektora prywatnego.¹⁰ 30 maja 2020 roku miał również miejsce pierwszy załogowy lot kosmiczny realizowany przez firmę prywatną, którego celem było przetransportowanie dwóch astronautów do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, przy pomocy statku kosmicznego Crew Dragon oraz rakiety Falcon 9. Lot został przeprowadzony dzięki współpracy SpaceX i NASA w ramach misji Demo-2. Wydarzenie to dało początek dla nowej ery komercyjnych lotów załogowych oraz otworzyło sektor kosmiczny na nowe możliwości.¹¹

Podsumowując, zadania realizowane w ramach logistyki kosmicznej w głównej mierze skupiają się na funkcjonowaniu w ekstremalnie trudnych warunkach przestrzeni ko-

¹⁰ A. Baraniecka, *Space Logistics – Current Status and Perspectives*, *Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics*, Vol 82, *Modelling of Logistics Processes and Systems. Part XXI*, 2019, s. 67-78.

¹¹ M. Lewis, *International Space Station welcomes first SpaceX Crew Dragon with NASA Astronauts*, blogs.nasa.gov/commercialcrew/2020/05/31/international-space-station-welcomes-first-spacex-crew-dragon-with-nasa-astronauts/ (25.05.2020).

smicznej, realizowaniu misji kosmicznych na znacznych odległościach między punktami wyjściowymi, a docelowymi oraz na odpowiednim planowaniu przedsięwzięć ze względu na bardzo wysokie koszty i ograniczoną ilość środków transportu. Eksploracja kosmosu przyczynia się do postępu cywilizacyjnego, ukazując dotąd nieznaną perspektywę oraz zaspokaja ambicje poznawcze człowieka.

1.2 Przestrzeń kosmiczna jako uwarunkowanie rozwoju logistyki kosmicznej

Bez znajomości odpowiednich praw fizyki ani warunków panujących w przestrzeni kosmicznej, żadna wyprawa poza powierzchnię ziemską nie doszła by do skutku. Planety, gwiazdy oraz wszelkie obiekty znajdujące się w kosmosie oddziałują na siebie nawzajem w zależności od swojego położenia oraz masy – dlatego to Ziemia krąży wokół Słońca, a Księżyc od milionów lat jest satelitą Ziemi. Jednak przy zachowaniu pewnych warunków, dowolny obiekt o masie mniejszej niż dwa inne oddziałujące na siebie ciała będzie w stanie zachować swoje stałe położenie, bez wchodzenia w orbitę innych obiektów. Daje to wiele możliwości przy planowaniu misji kosmicznych na większą skalę, gdzie podstawą będzie dostęp do stacji kosmicznych rozmieszczonych w różnych obszarach Układu Słonecznego.

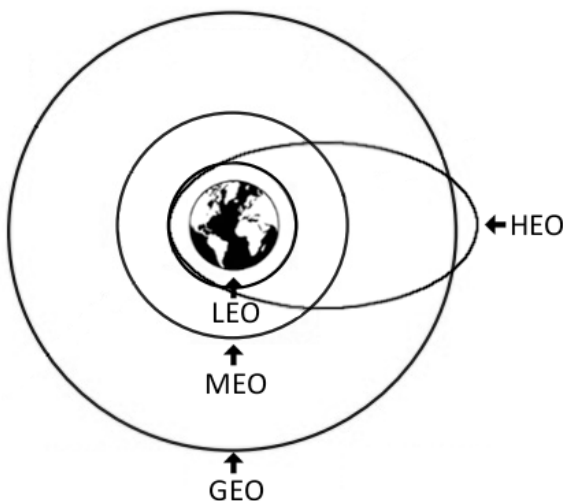
Orbitą nazywamy tor ciała niebieskiego okrążającego inne, większe ciało niebieskie. Jest to regularna, powtarzająca się ścieżka znajdująca się na różnych wysokościach względem ciała, które okrąża. Każdy obiekt znajdujący się na orbicie nazywany jest satelitą. Satelita może być naturalna (przykładem jest tu Księżyc), bądź sztuczna (jak Międzynarodowa Stacja Kosmiczna), czyli wyniesiona na orbitę przez człowieka. Wszystkie orbity mają kształt eliptyczny, co oznacza, że mogą występować na przykład w kształcie koła bądź owalu. Satelity krążące wokół Ziemi, w tym Księżyc, nie zawsze znajdują się w tej samej odległości względem Ziemi. Najbliższy punkt w jakim satelita może się znaleźć nazywany jest perygeum, z kolei najdalszy punkt to apogeum. W przypadku planet krążących wokół Słońca, najbliższym punktem na orbicie jest peryhelium, a najdalszy aphelium. Czas potrzebny satelicie na pokonanie jednej, pełnej orbity nazywany jest okresem orbitalnym. Przykładowo okres obiegu Ziemi wokół Słońca wynosi rok.¹²

Do głównych orbit okrążających Ziemi zaliczamy orbitę geostacjonarną, orbitę silnie eliptyczną, średnią orbitę okołoziemską oraz niską orbitę okołoziemską. Orbity te zostały ukazane na rysunku znajdującym się na następnej stronie (Rysunek 1). Im dalej od powierzchni Ziemi znajduje się orbita tym większe koszty trzeba ponieść by wnieść na nią

¹² F. Wild, *What is an Orbit?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html (29.02.2020).

satelitę. Orbita geostacjonarna, zwana również geosynchroniczną orbitą równikową (GEO – Geosynchronous Equatorial Orbit), okrąża Ziemię nad równikiem z zachodu na wschód na wysokości 36 000km, co czyni ją największą orbitą okołoziemską. Pełen obrót zajmuje jej 23 godziny 56 minut i 4 sekundy, czyli tyle samo co pełen obrót Ziemi wokół własnej osi. Dzięki temu satelity umieszczone na orbicie GEO sprawiają wrażenie bycia na stałej pozycji nad wybranym punktem równika Ziemi. Jest to idealna orbita dla telekomunikacji lub do monitorowania wzorców pogodowych i warunków środowiskowych na całym kontynencie. Za pomocą zaledwie trzech satelitów możliwe jest pokrycie sygnałem prawie całej Ziemi, jednak żeby móc odebrać ten sygnał wymagana jest wysoka moc transmisji oraz większe anteny w północnych i południowych regionach Ziemi. Niestety, wysokie budynki w mieście ograniczają jakość transmisji, a sygnał nie może być odbierany przez standardowe telefony komórkowe. Minusem satelitów GEO są także kosztowne naprawy. W celu wyniesienia satelity na orbitę geostacjonarną wykorzystywana jest geostacjonarna orbita transferowa (Geostationary Transfer Orbit). Jest to eliptyczna orbita ziemską, której najwyższy punkt pokrywa się z wysokością orbity geostacjonarnej, z kolei najniższy punkt może znajdować się w dowolnym miejscu nad atmosferą, przeważnie do kilkuset kilometrów nad powierzchnią Ziemi.

Główne orbity okołoziemskie



Rysunek 1. Główne orbity okołoziemskie

Źródło: opracowanie własne.

Orbity w kształcie elipsy zaliczane są do orbit silnie eliptycznych (HEO – Highly Elliptical Orbits). Ze względu na kształt orbity, satelity znajdujące się na jej torze mogą być w różnej odległości względem Ziemi w zależności od punktu na orbicie, w którym się właśnie znajdują. Daje to wiele możliwości jeśli chodzi o zasięg. Według drugiego prawa Keplera obiekty znajdujące się na orbicie okołoziemskiej poruszają się znacznie szybciej, gdy są bliżej Ziemi. Z tego względu, satelita znajdujący się na orbicie silnie eliptycznej większą część czasu spędzi w pobliżu apogeum, czyli najdalszego punktu na orbicie względem Ziemi, gdzie będzie poruszał się bardzo wolno. Z kolei im bliżej Ziemi będzie się znajdował, tym jego prędkość zacznie się zwiększać. Dzięki temu, satelita przez większą część czasu może być w polu widzenia swojego obszaru operacyjnego. Poprzez umieszczenie wielu satelitów na tej samej orbicie, ale w różnych odstępach, można uzyskać stały zasięg. HEO nie muszą się ograniczać do okrążania równika, jak ma to miejsce w przypadku orbity geostacjonarnej, przez co są w stanie zapewnić zasięg dla dowolnego punktu na globie nawet na obszarach polarnych.¹³

Niska orbita okołoziemiska (LEO – Low Earth Orbit) znajduje się na wysokości między 160km a 1000km nad powierzchnią Ziemi. Każdy obiekt znajdujący się poniżej tej wysokości gwałtownie zaczyna spadać do atmosfery gdzie ulega spaleniom bądź rozbija się o powierzchnię Ziemi. Satelity znajdujące się na tej orbicie podróżują z prędkością około 7,8km/s. Przy tej prędkości satelita okrąży Ziemię w około 90 minut. Ogólnie rzecz biorąc, to właśnie na tej orbicie odbywa się znaczna część misji kosmicznych (załogowych jak i bezzałogowych). Oprócz znacznej ilości satelitów komunikacyjnych, nawigacyjnych czy wojskowych, mieści się tu także Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (*ISS – International Space Station*), do której kierowana jest znaczna część misji załogowych. Niska orbita okołoziemiska wykorzystywana jest tak często z kilku powodów. Pierwszy z nich jest czysto ekonomiczny, gdyż umieszczenie rakiet czy promów kosmicznych na wysokości większej niż 1000km wymaga znacznie większej ilości paliwa niż ma się to w przypadku orbity LEO. Drugim powodem jest mniejsze opóźnienie komunikacyjne niż ma się to w przypadku innych orbit okołoziemskich. Zaletą niskiej orbity okołoziemskiej jest także to, iż obrazy satelitarne wykonane z niskiej wysokości są bardzo dokładne, co jest korzystne w przypadku satelitów szpiegowskich bądź przy tworzeniu map terenu. Niestety, popularność orbity LEO doprowadziła do pojawienia się kosmicznych śmieci w postaci niedziałających satelitów, odrzuconych części rakiet czy gruzu powstałego w skutek kolizji owych

¹³ *Highly Elliptical Satellite Orbits*, www.electronics-notes.com/articles/satellites/basic-concepts/highly-elliptical-orbit-heo.php (02.03.2020).

pozostałości. Kosmiczne śmieci zalegając na orbicie zabierają miejsce innym, działającym satelitom oraz stanowią zagrożenie dla misji kosmicznych czy nawet dla ludzi znajdujących się na Ziemi.¹⁴ Komercjalizacja LEO jest kolejnym krokiem w eksploracji i ekspansji ludzkości w kierunku układu słonecznego. Orbita LEO zapewnia idealne środowisko do szkolenia załóg, badań i testowania sprzętu do celów eksploracji kosmosu. W celu wsparcia rozwoju komercjalizacji tej orbity, NASA zwiększyła dostęp do znacznych zasobów i infrastruktury Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, dzięki czemu firmy prywatne również mogą poszerzyć zakres swojej działalności o sektor kosmiczny.¹⁵

Do niskiej orbity okołoziemskiej zaliczamy również orbity biegunowe (Polar Orbits). Jak sama nazwa wskazuje, przelatują nad regionami polarnymi Ziemi z północy na południe. Tor orbity satelity nie musi przecinać biegunów Ziemi idealnie, by orbita mogła zostać nazwana biegunową. Orbita przechodząca w odległości od 20 do 30 stopni od biegunów nadal jest klasyfikowana jako orbita biegunowa. Orbity te znajdują się przeważnie na małych wysokościach od 200 do 1000km, dzięki czemu satelity mogą przelatywać nad biegunami nawet kilka razy dziennie, w związku z czym idealnie nadają się do obserwacji Ziemi. Rodzajem orbity biegunowej jest orbita heliosynchroniczna (Sun Synchronous Orbit). Zsynchronizowana jest razem ze Słońcem, co oznacza, że obraz z satelity zawsze przedstawia Ziemię naświetloną pod tym samym kątem. Ułatwia to obserwację Ziemi, prognozowanie pogody, czy też badania Słońca. Satelity na heliosynchronicznej orbicie przeważnie znajdują się na wysokości między 600 a 800km.

Między orbitami LEO i GEO znajduje się średnia orbita okołoziemska (MEO – Medium Earth Orbit). Zaczyna się na wysokości około 1000 km i jest szczególnie odpowiednia dla satelitów wykorzystywanych głównie w telekomunikacji, zwłaszcza w nawigacji. Spowodowane jest to tym, iż satelity wyniesione na MEO mają możliwość większego pokrycia terenu wiązkami transponderów, niż ma się to w przypadku satelitów znajdujących się na orbitach LEO. Satelity na tej orbicie poruszają się z prędkością 7,3km/s i okrążają Ziemię co najmniej dwa razy dziennie.¹⁶

Każda z orbit ma swoje ograniczenia, więc wybór orbity jest zależy od potrzeb. Im dalej od powierzchni Ziemi, tym więcej czasu potrzeba by sygnał z satelity wrócił na Ziemię.

¹⁴ M. Williams, *What is Low Earth Orbit?*, www.universetoday.com/85322/what-is-low-earth-orbit/ (29.02.2020); M. Niepytalski, *Kosmiczny śmietnik i orbitalna ekologia*, www.holistic.news/kosmiczny-smietnik-i-orbitalna-ekologia/ (29.02.2020).

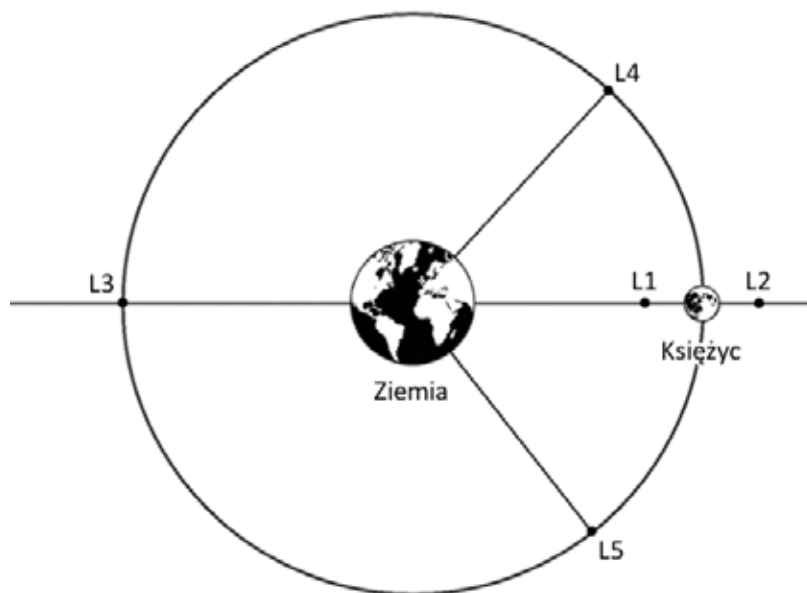
¹⁵ *LEO Economy FAQ*, www.nasa.gov/leo-economy/faqs (29.04.2020).

¹⁶ *Types of orbits*, www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits (29.02.2020).

Stąd nasuwa się wniosek, że bliższe orbity bardziej nadają się do szybkiej komunikacji z powierzchnią Ziemi. Plusem jest także niski koszt wystrzelenie rakiety na niską orbitę okołozemską. W przypadku dalszych orbit koszt jest znacznie większy, gdyż silnik rakietowy potrzebuje więcej mocy by wzbić się wyżej. Kolejną zaletą niższych orbit jest dokładność zdjęć satelitarnych. Im bliżej powierzchni Ziemi, tym obraz jest wyraźniejszy, jednakże uchwycenie całej planety wymaga wielu satelitów i bardzo dużej ilości zdjęć. Z kolei orbita geostacjonarna pozwala na uchwycenie znacznego obszaru Ziemi, niestety kosztem jakości zdjęć.

Wśród wielu odkryć dotyczących przestrzeni kosmicznej, niezwykle istotne z punktu widzenia logistyki kosmicznej wydaje się również ustalenie wpływu pól grawitacyjnych na proces przepływów fizycznych i informacyjnych. W ramach teorii grawitacyjnych, kluczowe dla procesów logistycznych są teorie dotyczące, tzw. punktów libracyjnych. Punkty libracyjne, inaczej zwane punktami Lagrange'a, są to miejsca w przestrzeni w układzie dwóch powiązanych ze sobą grawitacyjnie ciał, w którym trzecie ciało o pomijanej masie można pozostawiać w spoczynku względem dwóch głównych ciał. W układzie dwóch ciał znajduje się pięć punktów libracyjnych oznaczanych symbolami od L_1 do L_5 . Pierwsze 3 z nich znajdują się na prostej przechodzącej przez oba ciała. Wystarczy lekko zmienić położenie obiektu znajdującego się w którymkolwiek z tych punktów, by bezpowrotnie oddalił się od pierwotnego położenia, gdyż za tymi punktami siły odśrodkowe przewyższają połączone siły grawitacji obu ciał i starają się wyrzucić materię z układu. Z tego względu, punkty L_1 , L_2 i L_3 są uznawane za niestabilne. Zupełnie inaczej będą zachowywać się obiekty umieszczone w jednym z pozostałych dwóch punktów Lagrange'a. Punkty L_4 i L_5 usytuowane są pod kątem prostym do linii łączącej obie gwiazdy, stanowiąc jednocześnie wierzchołki dwóch trójkątów równobocznych, których wspólną podstawą jest odcinek utworzony z dwóch oddziałujących na siebie ciał niebieskich. Obiekt wytracony z któregoś z tych punktów będzie obiegał go po orbicie o kształcie przypominającym łezkę. Z tego względu punkty L_4 i L_5 uznawane za stabilne. Na rysunku 2 przedstawione zostały punkty libracyjne w układzie Ziemia-Księżyc.

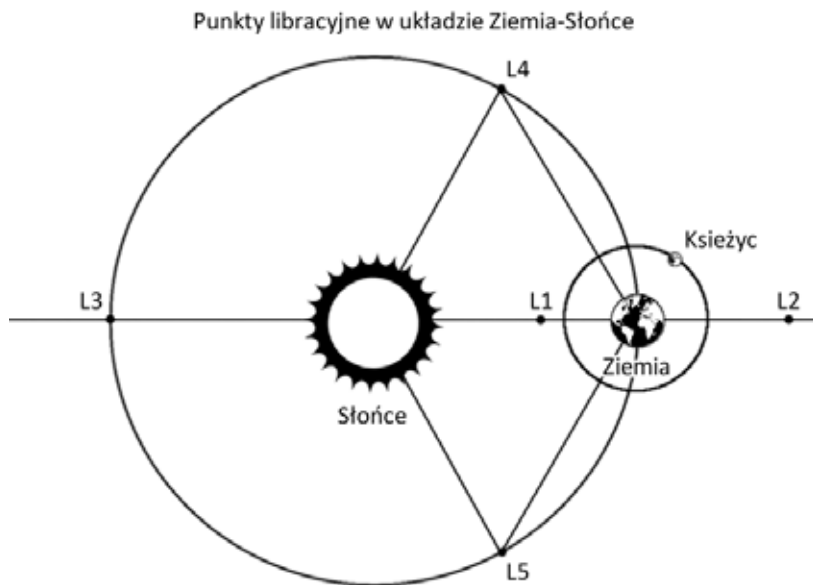
Punkty libracyjne w układzie Ziemia-Księżyc



Rysunek 2. Punkty libracyjne w układzie Ziemia-Księżyc

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.nasa.gov/centers/ames/research/2008/Lissauer.html

Pierwszy punkt nazywany jest wewnętrznym punktem Lagrange'a. Wyznacza on miejsce w przestrzeni, gdzie siła przyciągania obu ciał równoważy się, stąd dla układu Ziemia-Księżyc może być cenną lokalizacją dla stacji kosmicznej. Punkt L_2 , patrząc z perspektywy Ziemi znajduje się poza naszym satelitą – po ciemnej stronie Księżycy. Dzięki swojemu położeniu jest dobrym miejscem do umieszczenia radioteleskopu, ponieważ Księżyc chroni go przed zakłóceniami radiowymi z Ziemi. Przeciwnościem punktu L_2 jest punkt L_3 , który całkowicie zasłonięty jest przez Ziemię jeśliby patrzeć z powierzchni Księżycy. Punkt L_4 i L_5 wyznaczają miejsca, gdzie trzecie ciało niebieskie mogłoby znaleźć stałą pozycję w polu grawitacyjnym Ziemi i Księżycy, stąd są one potencjalnie bardzo ważne w kolonizacji kosmosu. Według identycznego schematu można rozpatrywać układ Ziemia-Słońce, co zostało przedstawione na rysunku 3.



Rysunek 3. Punkty libracyjne w układzie Ziemia-Słońce

Źródło: opracowane własne na podstawie solarsystem.nasa.gov/resources/754/what-is-a-lagrange-point/

Punkt L_1 układu Ziemia-Słońce znajduje się blisko planety i ciągle jest oświetlany przez Słońce, przez co przydatny jest przy prowadzeniu obserwacji tej gwiazdy lub w pozyskiwaniu energii słonecznej. Orbita w pobliżu tego punktu została już wykorzystana przez obserwatorium SOHO. Z kolei punkt L_2 z perspektywy Słońca znajdowałby się za Ziemią, dzięki czemu stale byłby w półcieniu Ziemi. Czyniłoby to z niego dobre miejsce do prowadzenia obserwacji planet zewnętrznych lub obszaru poza Układem Słonecznym. Na orbitach w pobliżu tego punktu umieszczono już między innymi satelitę Planck oraz Kosmiczne Obserwatorium Herschela.¹⁷ Punkty libracyjne otwierają wiele perspektyw jeśli chodzi o przyszłą kolonizację kosmosu oraz prowadzenie wypraw badawczych. Stanowią też podstawę przy planowaniu międzyplanetarnego łańcucha dostaw, który jest podstawą logistyki kosmicznej.

Mówiąc o uwarunkowaniach kosmicznych należy również poruszyć temat przepływu informacji. Dzięki sprawnej komunikacji oraz synchronizacji danych przy każdym etapie realizacji procesów logistycznych jesteśmy w stanie efektywnie zarządzać łańcuchem do-

¹⁷ *What are Lagrange Points?*, www.solarsystem.nasa.gov/faq/88/what-are-lagrange-points/ (23.02.2020); *What are Lagrange Points?*, www.esa.int/Enabling_Support/Operations/What_are_Lagrange_points (23.02.2020).

staw. Niestety, największym problemem związanym z zapewnieniem stałej komunikacji na większych odległościach są ograniczenia wynikające z praw fizyki. Każda informacja może przemieszczać się maksymalnie z prędkością światła, która wynosi dokładnie 299 792 458 m/s. W związku z tym, na przykładzie trasy Ziemia-Mars, sygnał dotarłby do miejsca docelowego w czasie nie krótszym niż 6 minut. Otrzymanie informacji zwrotnej potrzebowałoby kolejnych 6 minut, stąd łączny czas komunikacji w przestrzeni kosmicznej zajmowałby minimum 12 minut. Należy również wziąć pod uwagę, iż Ziemia nie zawsze znajduje się w tej samej odległości od Marsa, a przepływ informacji jest zależny od szybkości sieci i innych zakłóceń występujących w przestrzeni kosmicznej. W związku z tym średni realny czas przesyłu danych wynosiłby 25 minut, a w największym oddaleniu planet nawet 45 minut, co uniemożliwia sprawną komunikację. Dodatkowy problem stwarza słoneczna koniunkcja Marsa, czyli sytuacja, w której Mars i Ziemia są po przeciwnych stronach orbity okołosłonecznej. Słońce produkuje ogromną moc fal elektromagnetycznych, co doprowadza do zanikania łączności między planetami co kilka tygodni. Rozwiązaniem tego problemu może być jednak wykorzystanie punktów libracyjnych L4 i L5 układu Ziemia-Słońce. Satelity umieszczone w tych punktach mogłyby stanowić przekaźnik sygnału między Ziemią a Marsem.¹⁸

1.3 Międzyplanetarny łańcuch dostaw

Podstawowym celem wielu przedsiębiorstw jest rozwój oraz realizacja planów przy jednoczesnej minimalizacji kosztów logistyki i maksymalizacji zasobów. Cel ten stanowi wyzwanie dla logistyki kosmicznej, ze względu na brak możliwości wykorzystania wielu metod optymalizujących procesy, w tym np. metody just-in-time, a także na konieczność planowania działań na dużą skalę wymagających współpracy wielu działów i organizacji. Zarówno agencje państwowe, jak i firmy prywatne starają się rozwijać sposoby wynoszenia w przestrzeń ludzi i ładunków, dążąc do tego by wyprawy kosmiczne stały się powszechne i równie proste w planowaniu, co zwykle loty samolotem.¹⁹ W celu zniwelowania kosztów i zmniejszenia szansy na niepowodzenie misji kosmicznych, przyszłe badania będą musiały opierać się na złożonej sieci łańcucha dostaw na ziemi i w przestrzeni kosmicznej.

¹⁸ *Internet na Marsie*, www.spacex.com.pl/internet-na-marsie (29.04.2020).

¹⁹ P. Stefaniak, *Kosmos dla każdego. Czy polski przemysł zarobi na orbicie?*, www.eecpoland.eu/2019/pl/wiadomosci/kosmos-dla-kazdego-czy-polski-przemysl-zarobi-na-orbicie,318560.html (23.02.2020).

Konieczne jest utworzenie odpowiedniego łańcucha dostaw, który poradzi sobie z trudnym środowiskiem, a także wykorzysta to, co oferuje kosmos.

Termin „łańcuch dostaw” tradycyjnie używany jest w odniesieniu do logistyki naziemnej, gdzie przepływ materiałów i towarów odbywa się między zakładami produkcyjnymi, magazynami i sklepami detalicznymi. Jedna z najbardziej znanych definicji mówi, iż „jest to sieć organizacji zaangażowanych poprzez powiązania z dostawcami i odbiorcami w różne procesy i działania, które tworzą wartość w postaci produktów i usług dostarczanych ostatecznym konsumentom”.²⁰ Poprawa poziomu usług, tak samo jak obniżenie kosztów transportu i przechowywania zapasów zostały osiągnięte w wielu organizacjach dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu, planowaniu i optymalizacji łańcucha dostaw. Naukowcy coraz częściej zdają sobie sprawę, że misje kosmiczne z załogą, takie jak utrzymanie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) lub rozbudowa i wykorzystanie użytkowej powierzchni księżycowej, nie powinny być traktowane jako osobne misje, lecz jako zintegrowany łańcuch dostaw, który usprawni eksplorację przestrzeni kosmicznej, przyczyni się do rozwoju nauki, zminimalizuje koszty transportu, zmniejszy ryzyko niepowodzeń, a także zwiększy odporność maszyn i pojazdów na awarie.

W celu sprostania przyszłym wymaganiom logistyki kosmicznej w 2007 roku rozpoczęto prace nad projektem, którego wynikiem był program pod nazwą SpaceNet. Jest to zintegrowany, międzyplanetarny system zarządzania łańcuchem dostaw i logistycznego planowania, a także narzędzie symulacyjne. Celem systemu jest umożliwienie architektom misji, planistom, inżynierom systemów oraz logistykom skupienie się na tym co będzie potrzebne do wspierania przyszłych misji eksploracyjnych z załogą, przede wszystkim w systemie Ziemia-Księżyc-Mars.²¹ Projekt został opracowany na potrzeby NASA przez Instytut Technologii w Massachusetts (MIT – *Massachusetts Institute of Technology*), Jet Propulsion Laboratory (centrum badawcze NASA) z Kalifornijskiego Instytutu Technicznego oraz Payload Systems Inc. Główną ideą przedsięwzięcia było przeniesienie ziemskiej wiedzy oraz doświadczeń logistycznych do przestrzeni kosmicznej w celu utworzenia narzędzia do zarządzania międzyplanetarnym łańcuchem dostaw. Głównymi badaczami całego przedsięwzięcia są profesorowie Massachusetts Institute of Technology – profesor nadzwyczajny aeronautyki, astronautyki i systemów inżynierskich Olivier de Weck oraz profesor systemów inżynierskich David Simchi-Levi.²²

²⁰ M. Christopher, *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw*, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Warszawa 2000, s. 14.

²¹ O. de Weck, D. Simchi-Levi, R. Shishko, J. Ahn, E. Gralla, D. Klabjan, J. Mellein, S. Shull, A. Siddiqi, B. Bairstow, G. Lee, *SpaceNet v1.3 User's Guide*, 2007, s. 3

²² *People*, strategic.mit.edu/spacelogistics/people.php (23.02.2020).

Opisane wyżej przedsięwzięcie miało za zadanie sprostać siedmiu głównym celom postawionym przez badaczy projektu. Pierwszym z nich było znalezienie analogii w naziemnych łańcuchach dostaw (zarówno dla projektów wysokiego ryzyka, kapitałochłonnych, jak i tych obsługujących odległe środowiska) oraz zdefiniowanie i zastosowanie kryteriów dotyczących zastosowania naziemnych modeli SCM. System SCM (Supply Chain Management) jest to zaawansowany system planowania i optymalizowania łańcucha dostaw pozwalający na kontrolę przepływu produktów, informacji i usług. Tworzony jest przez grupy zintegrowanych aplikacji obsługujących poszczególne obszary logistyczne. Drugi cel opierał się na zbudowaniu elastycznego środowiska modelowania opartego na sieci, które pozwoliłoby na przechwytywanie węzłów i łuków (zarówno tych kosmicznych jak i naziemnych) międzyplanetarnego łańcucha dostaw. Model musi brać pod uwagę zarówno zapotrzebowanie na energię, jak i zależności czasowe w sieci. Z kolei trzeci cel tyczył się opracowania prawdopodobnych modeli podaży i popytu według klas zasobów wykorzystywanych w misjach kosmicznych, które zostały przedstawione poniżej (Rysunek 4).

Zapotrzebowanie przy załogowych misjach kosmicznych			
Materiały pędne		Eksploracja i badania	
Prowiant		Utylizacja odpadów	
Operacje załogi		Obiekty mieszkalne i infrastruktura	
Konserwacja i utrzymanie		Transport	
Przechowywanie		Inne	

Rysunek 4. Zapotrzebowanie przy załogowych misjach kosmicznych

Źródło: opracowane na podstawie: strategic.mit.edu/spacelogistics/demand.php

Czwarty cel polegał na stworzeniu przyjaznego narzędzia do symulacji i sterowania łańcuchem dostaw. Następny cel obejmuje modelowanie historycznych i przyszłych misji kosmicznych, a także tworzenie scenariuszy z nietradycyjnymi operacjami, takimi jak tankowanie w czasie misji. Szóste zadanie związane jest z zaangażowaniem społeczności logistyki kosmicznej w NASA, wykładowców oraz środowiska akademickiego w wyzwaniu

nie stworzenia trwałego łańcucha dostaw dla eksploracji międzyplanetarnej poprzez serię warsztatów i krótkich kursów. Ostatni cel opierał się na wywarceniu wpływu na edukację przyszłych odkrywców i inżynierów angażując studentów uczelni MIT oraz powiązanych instytucji z problematyką międzyplanetarnego łańcucha dostaw, opracowując dodatkowe moduły i zadania dla istniejących kursów łańcucha dostaw i logistyki oraz upowszechnić dostęp do materiałów dla edukacji publicznej.²³

Projekt dotyczący międzyplanetarnych łańcuchów dostaw skupia swoją uwagę na eksploracji przestrzeni kosmicznej, a także na wykorzystywaniu warunków jakie tam panują. Wprowadzenie odpowiedniego systemu jest konieczne do prowadzenia zrównoważonej eksploracji przestrzeni kosmicznej, czyli takiej, w której wszystkie zasoby są odpowiednio wykorzystywane, przy jak najmniejszym generowaniu strat i odpadów. Jednym z głównych wyzwań przy tworzeniu modelu logistyki kosmicznej jest zdefiniowanie odpowiednich komponentów. W przeciwieństwie do logistyki naziemnej, model logistyki międzyplanetarnej musiał zostać szczegółowo określony, gdyż wcześniej jego zakres nie został zdefiniowany.²⁴

Struktura sieci w projekcie międzyplanetarnych łańcuchów dostaw składa się z 6 elementów, jakimi są: sieć, popyt, baza danych, optymalizacja, symulacja oraz miary skuteczności.²⁵ Sieć kosmiczna stanowi podstawę wszelkich decyzji logistycznych. Określa wszystkie możliwe transfery między dostępnymi miejscami w celu zaplanowania odpowiedniej trasy przepływu surowców oraz transportu ludzi. Na podstawie konkretnego scenariusza misji wybierany jest popyt, który wyraża zapotrzebowanie na zapasy oraz ładunek dla każdej z 10 klas. Najważniejsze zaopatrzenie lotu obejmuje materiały eksploatacyjne, części zamienne oraz przedmioty eksploracyjne.²⁶

Zintegrowana baza danych SpaceNet służy jako repozytorium danych do modelowania i symulacji, a także danych logistycznych w czasie rzeczywistym (takich jak lokalizacja zapasów lub status wysyłki).²⁷ Optymalizacja zapewnia najbardziej korzystne rozwiązania logistyczne dla konkretnego scenariusza misji, natomiast symulacja łączy wszystkie pozostałe komponenty modelu, przyjmując scenariusz misji jako dane wejściowe i generując

²³ *Research*, strategic.mit.edu/spacelogistics/research.php (23.02.2020).

²⁴ *Zrównoważona przyszłość w przestrzeni kosmicznej*, www.esa.int/Space_in_Member_States/Poland/Zrownowazona_przyszlosc_w_przestrzeni_kosmicznej (23.02.2020).

²⁵ *Modeling Framework*, strategic.mit.edu/spacelogistics/modeling_framework.php (23.02.2020).

²⁶ *Classes of Supply for Exploration Logistics*, strategic.mit.edu/spacelogistics/classes_supply.php (23.02.2020).

²⁷ *Integrated Database*, strategic.mit.edu/spacelogistics/database.php (23.02.2020).

informacje wyjściowe (wyniki) w celu pełnego opisu i oceny scenariusza misji.²⁸ Ostatnim elementem modelu są miary skuteczności. Każdy łańcuch dostaw jest systemem, dlatego jego konstrukcja powinna obejmować porównywanie alternatywnych możliwości poprzez obiektywne mierzenie efektywności konkretnego scenariusza misji.²⁹

Dla każdej misji (przykładowo – 7 dni na powierzchni Księżyca) konieczne jest obliczenie zapotrzebowania na zapasy i ładunek, by następnie zaspokoić to zapotrzebowanie przenosząc zapasy z miejsca pochodzenia do miejsca docelowego. W tym celu wybiera się konkretną sieć lokalizacji oraz ustala ruch dostaw. Dostawy odbywają się na podstawie algorytmu optymalizacji wybierającego najlepsze rozwiązanie, bądź na podstawie ustaleń użytkownika. Finalnie, wysyłka materiałów jest symulowana w celu wygenerowania łatwego do zrozumienia zestawu wyników, a misja może być oceniona pod względem skuteczności.³⁰

Sieć kosmiczna stanowi podstawowy element składowy wszystkich decyzji logistycznych dla misji kosmicznych. Definiuje cały zestaw dozwolonych transferów do, jak i ze wszystkich dostępnych miejsc. Sieci są tradycyjnie używane w systemach transportu naziemnego do reprezentowania fizycznych lokalizacji i połączeń między nimi. W przypadku sieci transportu kosmicznego koncepcja lokalizacji jest abstrakcyjna, ponieważ lokalizacje stanowią nie tylko powierzchnie planet czy gwiazd, ale także orbity (gdzie obiekty znajdujące się na nich nie utrzymują stałej pozycji) i punkty Lagrange’a. Ponadto sieci kosmiczne mają dodatkowe właściwości zmieniające się w czasie. W logistyce kosmicznej rozróżniamy dwa typy sieci. Pierwszym z nich jest sieć statyczna, inaczej nazywana siecią fizyczną. Stanowi ona zestaw fizycznych lokalizacji (węzłów) i połączeń (łuków) między nimi. Węzły dzielą się na trzy rodzaje – węzły ciał, węzły orbit oraz węzły punktów Lagrange’a. Węzły ciał stanowią powierzchnię planet oraz gwiazd, z kolei węzły orbit to przykładowo niska orbita okołozemska bądź niska orbita okołoksiężycowa. Łuki reprezentują fizyczne połączenia między dwoma węzłami, czyli stanowią trajektorię lotu między dwoma fizycznymi lokalizacjami.

Drugim rodzajem sieci jest sieć rozszerzona czasowo (Time Expanded Network). Została ona utworzona na potrzeby misji, których realizacja jest rozłożona w czasie. Wynika to z możliwości pozostawienia ładunku przez pewien czas w strefie oczekiwania (na orbicie LEO, w wewnętrznym punkcie Lagrange’a lub na orbicie LLO) oraz ko-

²⁸ *The Power of Optimization*, strategic.mit.edu/spacelogistics/optimization.php (23.02.2020).

²⁹ *Measures of Effectiveness*, strategic.mit.edu/spacelogistics/measure_effectiveness.php (23.02.2020).

³⁰ *Simulation*, strategic.mit.edu/spacelogistics/simulation.php (23.02.2020).

nieczności uwzględnienia czasowych właściwości sieci kosmicznej, takich jak ograniczenia prędkości z jaką rakieta może dostać się do celu. Przykładowo, w połączeniu między orbitą LEO a EML1 (First Earth-Moon Lagrange point – wewnętrzny punkt libracyjny między Ziemią a Księżycem) czas przelotu wynosi 3-3.7 dnia, stąd na potrzeby utworzenia schematu sieci rozszerzonej czasowo uznaje się, iż ładunek dotrze do punktu docelowego w czwartym dniu. By utworzyć połączenie między węzłami, konieczne jest spełnienie 3 podstawowych warunków: 1) łuk musi istnieć w sieci statycznej, 2) połączenie musi być rozłożone w czasie (przykładowo: ładunek wysłany z punktu A dotrze do punktu B po 3 dniach) oraz 3) transfer między dwoma punktami jest możliwy do wykonania pod względem dynamiki orbitalnej. Sieć rozszerzona czasowo pozwala na podjęcie szeregu decyzji dotyczących logistyki kosmicznej patrząc przez pryzmat całościowej struktury sieci. Badania, takie jak gdzie utworzyć magazyn, kiedy użyć punktu EML1 jako pośredniego węzła transportowego oraz jak wykorzystać Księżyc jako punkt pośredni dla eksploracji Marsa są naturalną konsekwencją ram decyzyjnych modelu.³¹

1.4 Technologie przemysłu kosmicznego

Przemysł kosmiczny jest jedną z najbardziej zaawansowanych technologicznie gałęzi w gospodarce. Dotyczy nie tylko podróży kosmicznych oraz badań układu słonecznego, ale również wpływa na inne sektory gospodarki. Duże znaczenie ma tu realizacja zadań z zakresu dostarczania urządzeń i usług, których działanie opiera się na wykorzystaniu przestrzeni kosmicznej. Za przykład można wziąć chociażby zastosowanie wszelkiego rodzaju satelitów umożliwiających komunikację z dowolnego miejsca na świecie. Rozwój technologiczny jest głównym czynnikiem podnoszącym poziom innowacyjności gospodarki, stąd wsparcie przemysłu kosmicznego oraz rozwijanie technologii kosmicznych dla wielu państw jest bardzo ważnym elementem polityki gospodarczej. Branża kosmiczna cechuje się wysokim poziomem innowacyjności, gdyż wszelkiego rodzaju pojazdy oraz systemy kosmiczne opierają się na najnowocześniejszych technologiach oraz stale są ulepszane. A co więcej, postęp technologiczny prowadzi do powstania nowych segmentów usług konsumenckich, co stanowi bazę dla nowych zastosowań przestrzeni kosmicznej.³²

³¹ *Space Network Modeling*, strategic.mit.edu/spacelogistics/network.php (23.02.2020).

³² *Przemysł kosmiczny*, www.pmgconsulting.eu/branze/przemysl-kosmiczny (29.04.2020); *Użytkowe oblicze technologii kosmicznych – pogląd polskiego startupu*, www.space24.pl/autorzy/uzytkowe-oblicze-technologii-kosmicznych-perspektywa-polskiego-startupu-komentarz (29.04.2020).

Mówiąc o technologiach przemysłu kosmicznego należy wyjaśnić znaczenie poszczególnych pojazdów oraz maszyn używanych w logistyce kosmicznej. Zrobotyzowane statki kosmiczne to specjalnie zaprojektowane i zbudowane systemy, które mogą funkcjonować w określonych nieprzyjaznych środowiskach. Ich złożoność oraz możliwości znacznie się różnią, a co za tym idzie, mają są one również przeznaczone do różnych celów. Przykładowo, do celów badawczych używane są tak zwane sondy kosmiczne. Zaliczane są one do bezzałogowych statków kosmicznych przeznaczonych do prowadzenia badań naukowych w przestrzeni pozaziemskiej. Wiele sond wyposażonych jest w specjalną aparaturę naukową służącą do mierzenia właściwości przestrzeni kosmicznej, taką jak liczniki promieniowania, spektrometry (służące do rejestracji widma promieniowania elektromagnetycznego), magnetometry (przeznaczone do badań pola magnetycznego) oraz kamery. Z kolei inne sondy korzystają z teleskopów lub innych urządzeń w celu zbierania informacji na temat odległych planet, gwiazd, czy galaktyk. Zadaniem sond kosmicznych jest zebranie danych na temat badanego ciała niebieskiego i dostarczenie ich na Ziemię. Przeważnie odbywa się to drogą radiową, jednak niektóre sondy kosmiczne są w stanie wrócić na Ziemię z próbkami kosmicznymi oraz z danymi zapisanymi na nośnikach informacji, które później badane są przez naukowców.³³ Przykładem sondy kosmicznej przeznaczonej do eksploracji badanego ciała niebieskiego jest tak zwany łazik. Dzięki swojej mobilności ma dużą przewagę nad tradycyjnym lądowikiem, który po odłączeniu się od statku kosmicznego ląduje na powierzchni ciała niebieskiego i w tym samym miejscu zaczyna przeprowadzać badania. Jednak przez konieczność umieszczenia systemu napędowego wewnątrz sady, łazik waży znacznie więcej, co generuje dodatkowe koszty.³⁴ Innym rodzajem sondy, którego zadaniem jest krążenie po orbicie badanego ciała niebieskiego, jest tak zwany orbiter. Orbiter, przeznaczony do badania danej gwiazdy bądź planety może być również nazywany satelitą naukowo-badawczym.

Satelity naukowo-badawcze mają na celu zbieranie informacji na temat Ziemi oraz innych ciał niebieskich znajdujących się w przestrzeni kosmicznej. Satelity skierowane w stronę Ziemi, dzięki kamerom i czujnikom pozwalają uzyskać informacje na temat stanu gleby, roślinności, wód, czy też lodowców. Mierzą gazy występujące w atmosferze, takie jak ozon i dwutlenek węgla, oraz ilość energii, którą Ziemia absorbuje i emituje. W przypadku klęsk żywiołowych, satelity naukowo-badawcze przydatne są przy ocenie zniszczeń, wielkości pożarów, określaniu szybkości i kierunku wiatru oraz do monitorowania aktywności wulkanicznej. Przykładem takich satelitów są satelity meteorologiczne (inaczej

³³ *Spacerober*, www.nasa.gov/centers/jpl/education/spaceprobe-20100225.html (29.04.2020).

³⁴ *Spacecraft Classification*, www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Spacecraft_Classification.html (29.04.2020).

zwane satelitami pogodowymi) służące do monitorowania i rejestrowania pogody, satelity geodezyjne wykorzystywane w celach kartograficznych czy satelity oceanograficzne przeznaczone do obserwacji stanu oceanów. Z kolei satelity nastawione na badanie kosmosu noszą nazwę satelitów astronomicznych. Znane są również jako teleskopy kosmiczne, bądź obserwatoria kosmiczne. Są to instrumenty znajdujący się w przestrzeni kosmicznej, służące do obserwacji odległych planet, galaktyk oraz innych obiektów astronomicznych. Teleskopy kosmiczne przeważnie używane są do prowadzenia obserwacji, których nie można przeprowadzić z powierzchni Ziemi, bądź ich przeprowadzenie utrudnione jest przez różne czynniki związane z atmosferą ziemską. W odróżnieniu od teleskopów naziemnych, obraz z teleskopu kosmicznego nie jest zakłócony przez światło, chmury, pył, czy cząstki występujące w atmosferze, mogące blokować widok z poziomu gruntu.

Sztuczne satelity mają wiele zastosowań, które zarówno usprawniają codzienne życie, pomagają w uzyskiwaniu wiedzy na temat Ziemi, jak i pozwalają poznawać obszary kosmosu, do których normalnie człowiek nie ma dostępu. Satelity wykorzystywane są zarówno przez instytucje państwowe, naukowe, jak i od pewnego czasu przez sektor prywatny. Oprócz satelitów badawczych, rozróżniamy również satelity zwiadowcze, nawigacyjne, telekomunikacyjne oraz stacje kosmiczne. Satelity zwiadowcze, inaczej satelity szpiegowskie, przeznaczone są dla celów wojskowych. Do ich zadań należy rozpoznawanie satelitarne obiektów znajdujących się na Ziemi, przechwytywanie sygnałów, śledzenie przemieszczających się wojsk, ostrzeganie przez atakami raketowymi lub uzyskiwanie informacji o potencjalnych celach na terytorium wrogiego państwa. Satelity zwiadowcze składają się między innymi z czujników elektronicznych i podczerwieni. Umożliwia to robienie zdjęć w nocy, wykrywanie wystrzelonych pocisków oraz podsłuchiwanie poufnych rozmów. Z kolei inny rodzaj, satelity nawigacyjne wykorzystywane są do nawigacji satelitarnej. Polega ona na emitowaniu sygnałów radiowych, których odbiór oraz przetwarzanie pozwalają na pomiar szerokości i długości geograficznej, wysokości nad poziomem morza, kursu, prędkości ruchu odbiornika, czasu, a także innych danych nawigacyjnych. Łącznie 31 satelitów znajdujących się na orbicie MEO tworzy globalny system pozycjonowania GPS (*Global Positioning System*) obejmujący swoim zasięgiem całą kulę ziemską. System GPS używany jest zarówno w transporcie lądowym, wodnym jak i powietrznym.

Satelity telekomunikacyjne służą do przekazywania oraz wzmacniania sygnałów radiowych i telewizyjnych między naziemnymi stacjami. Takie satelity wykorzystywane są w systemach radiowych, w telewizji, wojsku, Internecie oraz sieci telefonicznej. Na orbicie Ziemskiej znajduje się około 2000 satelitów komunikacyjnych, z których korzystają zarówno organizacje rządowe, jak i prywatne. Z komercyjnych projektów warto wspomnieć o przedsięwzięciu realizowanym przez firmę SpaceX, który poprzez konstelację satelitarną

Starlink ma zamiar dostarczać Internet dla całej Ziemi. Umożliwiłoby to objęcie zasięgiem miejsc, w których na ten moment dostęp do sieci jest mocno ograniczony, bądź nawet niemożliwy. Projekt zakłada umieszczenie na niskiej orbicie okołoziemskiej nawet 42000 satelitów telekomunikacyjnych.³⁵ Podobne plany ma firma OneWeb, która ma zamiar udostępniać Internet dzięki 900 sztucznym satelitom okołoziemskim.³⁶ Satelity telekomunikacyjne działają w oparciu o kanały komunikacyjne między nadajnikami (transponderami) a odbiornikami w oparciu o różne lokalizacje na Ziemi. Na jednym satelicie przeważnie montuje się 20-100 transponderów. Dzięki cyfrowej kompresji danych możliwe jest przesłanie przez jeden transponder nawet kilku kanałów telewizyjnych, wielu programów radiowych czy innych usług na jednej fali nośnej. Każdy transponder ma swoją wiązkę skierowaną na konkretny teren Ziemi. Wiązki transponderów ustalane są podczas budowy satelity, przez co po wyniesieniu satelity na orbitę zmiana wiązki jest niemożliwa. Wyjątek stanowią wiązki kierowane, używane w sytuacji gdy satelita nastawiony jest na konkretny obszar, na przykład na jeden kraj, z pominięciem krajów sąsiadujących. W tym przypadku można sterować wiązką z powierzchni Ziemi.

Przykładem sztucznego satelity jest również stacja orbitalna, inaczej zwana stacją kosmiczną. Od pozostałych satelitów odróżnia ją to, iż została zaprojektowana w taki sposób, by ludzie mogli w niej mieszkać przez wiele tygodni, a nawet i miesiące. Stacje orbitalne wykorzystywane są głównie do obserwowania fizjologicznych efektów długotrwałego przebywania ludzi w przestrzeni kosmicznej oraz do prowadzenia szeregu badań i eksperymentów naukowych. Stacją orbitalną jest na przykład Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (*ISS – International Space Station*).³⁷ Jest to statek kosmiczny znajdujący się na orbicie okołoziemskiej na wysokości około 250 mil. Stacja podróżuje z prędkością 17,500 mph, co oznacza, że pełen obrót wokół Ziemi zajmuje jej 90 minut. ISS stanowi zarówno dom dla załogi w czasie trwania ich misji, jak i unikalne laboratorium naukowe. Życie w warunkach mikrogravitacji pozwala astronautom przygotować się do trudniejszych i dłuższych misji kosmicznych, takich jak przykładowo potencjalna podróż na powierzchnię Marsa.³⁸

By satelita mogła okrążyć powierzchnię Ziemi bądź innego ciała niebieskiego, należy ją wprawdzie wynieść poza atmosferę ziemską. Działanie to jest możliwe dzięki rakietom bądź wahadłowcom kosmicznym. Słowo rakietę odnosi się zarówno do silnika raketowego, jak

³⁵ *SpaceX launches 60 Starlink satellites for new megaconstellation, misses rocket landing* www.space.com/spacex-starlink-4-launch-success-misses-rocket-landing.html (23.02.2020).

³⁶ *Technology*, www.oneweb.world/technology (23.02.2020).

³⁷ B. Sawe, *How Many Types Of Satellites Are There?*, www.worldatlas.com/articles/how-many-types-of-satellites-are-there.html (01.03.2020).

³⁸ S. May, *What Is the International Space Station?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-the-iss-58.html (01.03.2020).

i pojazdu kosmicznego poruszającym się dzięki temu silnikowi. Silnik raketowy działa na zasadzie spalania paliwa, które pod wpływem zachodzącej reakcji zamienia się w gorący gaz, który to wypychany z tylnej części silnika sprawa, iż rakieta jest w stanie wznieść się w górę. Rakieta w odróżnieniu od silnika odrzutowego nie potrzebuje do pracy tlenu, dlatego jest w stanie pracować w przestrzeni kosmicznej, gdzie nie ma powietrza. Rakiety wykorzystywane są do wysyłania ludzi w przestrzeń kosmiczną, przesyłania zaopatrzenia do stacji kosmicznych, umieszczania satelitów na orbitach, czy wysyłania sond na inne planety. NASA wykorzystuje również mniejsze rakiety do badań naukowych.³⁹ Podobne zastosowanie mają wahadłowce kosmiczne, z tą różnicą, iż nadają się do wielokrotnego użytku. Wahadłowiec, nazywany potocznie promem kosmicznym, przeznaczony jest do transportu ludzi (nawet do siedmiu astronautów na raz), dostarczania zapasów i sprzętu na ISS oraz wznoszenia satelitów na orbitę okołoziemską. Gdy załoga zakończy swoją misję, wahadłowiec sprowadza ją z powrotem na Ziemię.⁴⁰

1.5 Potencjał Księżyca w logistyce kosmicznej

Księżyc jest jednym z najbardziej zbadanych i opisanych ciał Układu Słonecznego oraz dotychczas jedynym miejscem lądowania załogowych misji kosmicznych. Znajduje się w średniej odległości 384 400 km od Ziemi, a jego pełny obrót wokół planety zajmuje ok 27 ziemskich dni. Ponieważ Ziemia obraca się wokół własnej osi oraz krąży wokół Słońca, z perspektywy ziemskiej Księżyc wydaje się okrążyć Ziemię w 29 dni. Jego ruch jest synchroniczny, przez co tylko jedna z jego stron jest widoczna z powierzchni Ziemi, z kolei drugą półkulę można zaobserwować dzięki satelitom bądź misjom kosmicznym. Ruch synchroniczny ma miejsce, gdy ciało obraca się wokół własnej osi z taką samą prędkością, z jaką obraca się wokół drugiego ciała niebieskiego.

Pierwszy krok w dziedzinie obserwacji Księżyca został poczyniony wraz z wynalezieniem teleskopu. Pozwoliło to Galileuszowi na zaobserwowanie kraterów oraz pasem górskich na powierzchni Księżyca. Zainteresowanie ziemskim satelitą znacznie się zwiększyło w trakcie Zimnej Wojny, kiedy w celu zbadania Księżyca wysłano bezzałogowe sondy, gdy tylko rozwój techniki stworzył taką możliwość. Pierwszymi sondami, które osiągnęły powierzchnię Księżyca były radzieckie sondy programu Łuna. 10 lat później, 20 lipca 1969 roku miał miejsce historyczny moment – w ramach misji Apollo, człowiek po raz pierwszy

³⁹ S. May, *What Is a Rocket?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-rocket-58.html (01.03.2020).

⁴⁰ S. May, *What Was the Space Shuttle?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-the-space-shuttle-k4.html (29.04.2020).

wylądował na Księżycu. Pod koniec lat 90, Księżycem zainteresowały się również inne agencje kosmiczne z całego świata. Dzięki temu uzyskano wiele informacji na temat Księżyca, między innymi dowiedziano się tego, że w okolicach obu biegunów księżycowych występują kratery, wewnątrz których panują bardzo niskie temperatury rzędu -170 stopni Celsjusza oraz, że znajduje się w nich woda dostarczana przez miliardy lat przez różne procesy.⁴¹

Księżyc jest bardzo ważnym elementem logistyki kosmicznej. Według Europejskiej Agencji Kosmicznej misje kosmiczne skierowane na Księżyc powinny być ważnym etapem w eksploracji Układu Słonecznego oraz Wszechświata. Przykładowo, po niewidocznej z Ziemi stronie Księżyca panują idealne warunki do radiowych obserwacji nieba, gdyż nie występują tam żadne szумы od ziemskich nadajników. Wiele korzyści też płynie z bliskiego położenia Księżyca względem Ziemi – zarówno tych komunikacyjnych jak łatwy dostęp do satelitów okołoziemskich, czasowych (krótki czas podróży), czy zaopatrzeniowych. Dzięki temu Księżyc stanowi doskonale miejsce testów dla przyszłych misji kosmicznych, przykładowo na powierzchnię Marsa.

W 2017 roku NASA rozpoczęła prace nad nowym projektem eksploracji księżycowej występującym pod nazwą Artemis. Projekt realizowany jest przy współpracy z amerykańskimi firmami komercyjnymi, Europejską Agencją Kosmiczną, Japońską Agencją Eksploracji Aerokosmicznej oraz z Kanadyjską Agencją Kosmiczną. Głównym celem projektu jest ponowne wysłanie ludzi na Księżyc, w tym pierwszej kobiety. W ramach programu Artemis, NASA ma zamiar wykorzystać nową technologię do badania Księżyca oraz by przygotować się do kolejnych misji załogowych – tym razem na powierzchnię Marsa.

Księżyc jest dobrym miejscem do przeprowadzania badań i eksperymentów. Doskonale nadaje się do wszelkich testów mających na celu przygotowanie NASA, czy też innych Agencji Kosmicznych, do przyszłych lotów kosmicznych w bardziej odległych kierunkach. Ze względu na bliską odległość od Ziemi, ma dobry dostęp do stacji kosmicznych i satelitów, a komunikacja czy dostawa zapasów nie jest utrudniona. Astronauci badając nowe miejsca na powierzchni Księżyca będą mogli dowiedzieć się więcej o naturalnym satelicie ziemskim, Ziemi, a nawet i o Słońcu. Do ich zadań w ramach programu Artemis należy dostanie się do Bieguna Południowego Księżyca, wyszukanie oraz użycie wody, przeprowadzenie badań powierzchni księżycowej, dowiedzenie się jak żyć i pracować na powierzchni innego ciała niebieskiego oraz przetestowanie technologii potrzebnych do przeprowadzenia misji na Marsie.

Planowana droga transportowa wygląda następująco: astronauci przedostaną się na orbitę okołoksiężycową na pokładzie statku kosmicznego Orion przy pomocy aktualnie najpotężniejszej rakiety na świecie – Space Launch System (SLS). Następnie zadokują

⁴¹ *Earth's Moon*, www.solarsystem.nasa.gov/moons/earths-moon/in-depth/ (01.03.2020).

statek na stacji kosmicznej Gateway, gdzie będą przygotowywać się do misji na Księżyc i nie tylko. Po zakończeniu misji na powierzchni Księżyca z powrotem wrócą na Gateway, by następnie kierować się na Ziemię statkiem Orion. By misja załogowa mogła się odbyć, NASA musi przetestować raketę oraz statek kosmiczny w locie. W tym celu zaplanowano 3 misje. Artemis 1 będzie lotem próbnym rakiety SLS wraz ze statkiem kosmicznym Orion bez załogi. Następnie odbędzie się lot Artemis 2, w którym to załoga okrąży Księżyc, jednak jeszcze bez lądowania na powierzchni Księżyca. Jeśli lot ten zakończy się powodzeniem, będzie mógł zostać uznany za najdalszą podróż kosmiczną, jakiej kiedykolwiek doświadczył człowiek. Trzecią misją będzie lot Artemis 3, w którym to załoga trafi na powierzchnię Księżyca do 2024 roku.⁴²

Zainteresowanie naturalnym satelitą ziemskim można również zaobserwować ze strony Chin. W 2019 roku Chińska Agencja Kosmiczna ogłosiła, iż misja Chang'e-4 polegająca na wylądowaniu po drugiej stronie Księżyca została zakończona z sukcesem. Program badań księżycowych Chang'e rozpoczął się w 2004 roku – jest to bardzo ważny krok ze strony Chin w kierunku eksploracji kosmosu. Program obejmuje orbitowanie i lądowanie na Księżycu oraz dostarczanie próbek z powrotem na Ziemię. Dotychczas dzięki obserwacjom udało się wykazać, iż dwie półkule Księżyca znacznie się od siebie różnią. Półkula skierowana w stronę Ziemi jest stosunkowo płaska, z kolei druga strona jest gęsto usiana kraterami uderzeniowymi. Następnym etapem projektu jest misja Chang'e-5, której planowana realizacja przypada na koniec 2020 roku. Jej celem będzie zebranie 2kg próbek i sprowadzenie ich na Ziemię. Od powodzenia tej misji zależy następne misje księżycowe. Chiny mają w planach przeprowadzić szczegółowe prace badawcze na Południowym Biegunie Księżycowym, których celem jest zbadanie składu geologicznego, zlokalizowanie wody oraz badanie środowiska kosmicznego. Chińska Agencja Kosmiczna rozważa również głębsze zbadanie Układu Słonecznego – Marsa, asteroid oraz Jowisza, a także załogową misję księżycową. Z myślą o tym został zaprojektowany program Chang'e-8, w którym to będą testowane technologie niezbędne do budowy księżycowej bazy naukowej.⁴³

Do eksploracji Księżyca przyczynia się również Europejska Agencja Kosmiczna (ESA – European Space Agency). Pierwszym europejskim urządzeniem, które wyląduje na Księżycu w tym dziesięcioleciu będzie wiertło oraz zestaw do analizowania próbek skał księżycowych. Urządzenia zostaną przetransportowane na Księżyc w ramach rosyjskiej misji Luna-27. Podobnie jak w przypadku Chińskiej misji Chang'e-7, głównym ce-

⁴² F. Wild, *What is the Artemis Program?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-the-artemis-program-58.html (01.03.2020).

⁴³ *China declares Chang'e mission complete success*, www.cnsa.gov.cn/english/n6465719/c6805233/content.html (02.03.2020); *Future Chinese Lunar Missions*, nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/cnsa_moon_future.html (02.03.2020).

lem lądownika Luna-27 będzie zbadanie składu gleby w pobliżu księżycowego bieguna południowego. Według Davida Parkera (dyrektor ESA), skały księżycowe mogłyby zostać wykorzystywane na przykład do wytwarzania tlenu lub paliwa, co pozwoliłoby na jeszcze większą eksplorację dotychczas niezbadanych rejonów księżycowych. Odpowiedzi na takie pytania jak ilość wody i jej dostępność pomogłyby zaplanować przyszłe misje księżycowe z wykorzystaniem lokalnych zasobów.⁴⁴

Księżyc ma dużą wartość z wielu powodów. Przykładem są występujące na Księżycu surowce, takie jak chociażby Hel-3, platyna, czy też woda. Hel-3, przez naukowców nazywany „kosmicznym pierwiastkiem”, naturalnie nie występuje na Ziemi, za to może stanowić dobre źródło energii. Wykorzystywany jako paliwo w reakcji fuzji termojądrowej może pozwolić na produkcję czystej energii, pozbawionej dwutlenku węgla i radioaktywnych odpadów. Szacuje się, iż złoża tego pierwiastka mogłyby zaspokoić zapotrzebowanie na energię na nawet 250 lat.⁴⁵ Z kolei woda może posłużyć zarówno do wytwarzania paliwa raketowego, jak i zapewnienia wody pitnej po odpowiednim przetworzeniu. Księżyc jest również istotny ze względu na swoje położenie. Jest najbliższym ciałem niebieskim względem Ziemi, stąd stanowi strategiczne miejsce pod względem dalszej eksploracji przestrzeni kosmicznej. Pozwala również na testowanie nowych, kosmicznych technologii oraz przeprowadzanie badań i obserwacji mających na celu lepsze poznanie Układu Słonecznego.

1.6 Eksploracja Marsa

Mars jest czwartą planetą układu słonecznego. Ze względu na odległość od Słońca, jego okres orbitalny jest dwa razy dłuższy niż Ziemi, co powoduje iż rok na Marsie trwa 687 ziemskich dni. Z kolei jeden dzień, czyli obrót wokół własnej osi, zajmuje 24 godziny i 37 minut.⁴⁶ Tak samo jak Ziemia, Mars jest planetą skalistą, posiada skorupę, płaszcz oraz rdzeń. Podobnie jak w przypadku Księżyca, powierzchnia Marsa usiana jest kraterami uderzeniowymi. Geologicznie Mars jest bardzo podobny do Ziemi – do tego wniosku pozwoliły dojść badania przeprowadzone na podstawie obserwacji satelitarnych, danych zebranych w czasie misji kosmicznych oraz analizy meteorytów pochodzenia marsjańskiego. Dotychczas wszystkie skały i minerały zidentyfikowane na Marsie można także znaleźć w różnych rejonach Ziemi. Mars nie posiada aktywnej tektoniki płyt, zbiorników wodnych

⁴⁴ *One step closer to prospecting the Moon*, www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/One_step_closer_to_prospecting_the_Moon (02.03.2020).

⁴⁵ *Izotop z Księżyca wywoła rewolucję w energetyce?*, www.energetyka24.com/izotop-z-ksiezycy-ca-wywola-rewolucje-w-energetyce (25.05.2020).

⁴⁶ *Mars Facts*, mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/ (28.02.2020).

(takich jak rzeki, jeziora czy morza), ani globalnego pola magnetycznego, co przekłada się na wysokie promieniowanie, gdyż pole magnetyczne chroni planetę przed promieniowaniem kosmicznym oraz wiatrem słonecznym.⁴⁷ Ma za to cienką warstwę atmosfery, w której przeważa dwutlenek węgla (około 96%), z niewielkimi ilościami innych gazów, takimi jak argon i azot. Naukowcy uważają, iż w przeszłości Mars mógł mieć gęstsza atmosferę, jednak jej znaczną ilość stracił przez wiatr słoneczny.⁴⁸ Dzięki atmosferze, na Marsie mogą zachodzić różne zjawiska atmosferyczne oraz zmiany pół roku.⁴⁹ Mars posiada dwa księżyce noszące nazwy Fobos i Deimos. Wydaje się, że ich materiały powierzchniowe podobne są do asteroid z zewnętrznego pasa asteroid, który znajduje się między orbitami Jowisza i Marsa. Prowadzi to większość naukowców do przekonania, że księżycy Marsa są schwytanymi asteroidami.⁵⁰

Istnieje kilka strategicznych, praktycznych i naukowych powodów, dla których ludzie badają Czerwoną Planetę. Jednym z nich jest to, iż Mars jest zaliczany do najbardziej dostępnych miejsc w Układzie Słonecznym, co z pewnością jest bardzo ważnym aspektem jeśli chodzi o kolonizację kosmosu. Warunki na powierzchni Marsa są o wiele bardziej przyjazne do zamieszkania przez istoty żywe w porównaniu z większością planet i księżyców Układu Słonecznego. Kolejną korzyścią wynikającą z eksploracji Marsa są występujące na tej planecie bogate złoża cennych i potrzebnych surowców wyczerpujących się na Ziemi – Mars mógłby stanowić ich nowe źródło. Na tę chwilę stałe sprowadzanie surowców jest nieopłacalne, jednak mogłoby się to zmienić przy odpowiednim wykorzystaniu międzyplanetarnego łańcucha dostaw oraz rozwijaniu technologii kosmicznych. Ponadto, badanie Czerwonej Planety może dać odpowiedź na wiele pytań związanych z Układem Słonecznym, a nawet pomóc w dowiedzeniu się skąd się wzięło życie.

W 1994 roku NASA utworzyła Program Eksploracji Marsa (MEP – Mars Exploration Program), który ma na celu zbadanie planety i zapewnienie ciągłego przepływu informacji naukowych oraz odkryć dzięki starannie wybranej serii robotycznych orbiterów, lądowców i mobilnych laboratoriów połączonych siecią szerokopasmową Mars-Ziemia. W ramach programu MEP, naukowcy postawili przed sobą cztery główne cele badawcze, które chcą osiągnąć w trakcie aktualnych oraz przyszłych misji kosmicznych. Pierwszym zadaniem jest ustalenie, czy na powierzchni Marsa kiedykolwiek występowało życie. Cel opiera się na założeniu, iż Mars i Ziemia podczas ich wczesnej historii mogły być względem

⁴⁷ J. Roszkowska-Remin, *Ziemskie pole magnetyczne*, www.jednaziemia.pl/planeta-ziemia/57-magnetyzm/3808-ziemskie-pole-magnetyczne.html (28.02.2020).

⁴⁸ *Atmosphere*, mars.nasa.gov/#red_planet/3 (28.02.2020).

⁴⁹ *The planet*, mars.nasa.gov/#red_planet/2 (28.02.2020).

⁵⁰ *Martian Moons*, mars.nasa.gov/all-about-mars/moons/summary/ (28.02.2020).

siebie podobnymi światami, a ponieważ życie na Ziemi powstało stosunkowo wcześniej, to ustalenie czy występowało również na Marsie jest kluczową kwestią. Drugi cel opiera się na zrozumieniu procesów jakie zachodziły na Marsie, oraz jak klimat planety ewoluował w czasie, by osiągnąć obecny stan. Jednym z problemów jest ustalenie czy marsjańska atmosfera posiada cechy, które są uniwersalne dla atmosfer planet. Trzeci cel polega na zrozumieniu pochodzenia oraz ewolucji Marsa jako systemu geologicznego poprzez przebadanie zarówno powierzchni Marsa jak i jego wnętrza. Cel ten dzieli się na trzy zadania; dokumentacja zapisów geologicznych zachowanych w skorupie planety oraz interpretacja procesów, które go utworzyły, określenie struktury, składu, dynamiki i ewolucji wnętrza Marsa oraz określenie przejawów ewolucji Marsa na podstawie jego księżyców.

Czwarty, ostatni cel ma za zadanie przygotować NASA do eksploracji planety z ludzką załogą – zarówno w odniesieniu do pojedynczych misji na powierzchnię Marsa, jak i do eksploracji jego księżyców czy wprowadzenia stałej obecności człowieka na tej planecie. Zadanie obejmuje rozważanie w jaki sposób zrobotyzowane misje lotnicze mogą pomóc przygotować się do potencjalnej misji załogowej, oraz w jaki sposób mogą zredukować ryzyko związane z każdą misją, poprzez analizę poprzednich misji. By osiągnąć ten cel należy wpięrcz zdobyć wystarczającą wiedzę na temat Marsa, by móc zaprojektować misję o jak najmniejszym ryzyku niepowodzenia, odpowiedniej wydajności i przy akceptowalnych kosztach.⁵¹

Odkrycia naukowe dokonywane w trakcie jednej misji oraz pozyskane dane mogą przyczynić się do określenia celu przyszłych misji. Na przykład misje orbitalne dostarczają wiele informacji na temat potencjalnych miejsc lądowania pojazdów kosmicznych, co jest kluczowe przy logistycznym planowaniu przebiegu przyszłych misji. Z kolei pomiary wyższych i niższych partii atmosfery mają na celu utworzenie dokładnych modeli klimatycznych, co zwiększy bezpieczeństwo zarówno przyszłej załogi jak i satelitów czy łazików. Bezpieczeństwo załogi zależy również od badań poziomów i źródeł radiacji oraz toksyczności pyłów, a także badań nad potencjalnymi, marsjańskimi bakteriami, które mogłyby powodować zatrucia wśród załogi. Ważnym aspektem misji na Czerwoną Planetę jest też określenie zapotrzebowania na surowce oraz określenie źródeł ich otrzymania. Naukowcy poszukują miejsc o wysokiej wartości naukowej, które zapewniłyby zasoby umożliwiające ludziom lądowanie, życie i pracę na Marsie. Lokalnie pozyskane zasoby naturalne, takie jak woda i tlen, są w tym przypadku kluczowe – płynna woda potencjalnie może być wydobywana z lodu gruntownego, atmosfery lub z uwodnionych minerałów, z kolei tlen może być generowany z dwutlenku węgla. Natomiast produkcja paliwa z metanu prosto z marsjańskiej atmosfery umożliwiłaby znacznie większe pole działania, jeśli

⁵¹ *Science goals*, mars.nasa.gov/#red_planet/1 (28.02.2020).

chodzi o transport na powierzchni Czerwonej Planety. Nauka umożliwi eksplorację, a eksploracja umożliwia poszerzanie wiedzy, stąd organizowanie misji kosmicznych zmniejsza ryzyko niepowodzenia przyszłych misji załogowych na powierzchnię Marsa, oraz optymalizuje przebieg trasy i zużycie surowców.⁵²

NASA aktualnie prowadzi pięć programów eksploracji Marsa. Misja InSight Lander zajmuje się eksploracją wnętrza Marsa w celu dowiedzenia się jak powstają planety skaliste,⁵³ MAVEN zbiera informacje na temat krytycznych pomiarów marsjańskiej atmosfery, aby zrozumieć dramatyczne zmiany klimatu na czerwonej planecie,⁵⁴ Mars Reconnaissance Orbiter obserwuje Marsa w celu zidentyfikowania przeszkód, które mogłyby zagrozić bezpieczeństwu przyszłych lądowców i łazików,⁵⁵ misja Mars Science Laboratory, w ramach której łazik Curiosity zbiera próbki skał, gleby i powietrza w celu analizy, by uzyskać odpowiedź na pytanie czy na Marsie były kiedykolwiek warunki do życia drobnoustrojów⁵⁶ oraz 2001 Mars Odyssey, który obejmuje wykonanie pierwszej globalnej mapy rozpięczenia pierwiastków chemicznych i minerałów, które składają się na powierzchnię Marsa.⁵⁷ W eksploracji Marsa biorą udział także inne agencje kosmiczne oraz firmy prywatne. ESA prowadzi misję Mars Express, której głównym celem jest poszukiwanie z orbity wody na powierzchni Marsa⁵⁸, oraz program ExoMars 2016 (we współpracy z rosyjską agencją Roscosmos), który ma na celu sprawdzenie, czy na Marsie kiedykolwiek istniało życie.⁵⁹ W 2020 roku na powierzchnię Marsa zostaną wysłane dwa kolejne łaziki mające za zadanie badać powierzchnię Marsa w celu poszukiwania życia – łazik ExoMars 2020 w ramach programu Europejskiej Agencji Kosmicznej, oraz łazik Mars2020 w ramach programu NASA. Również w tym roku rozpoczną się misję wysłania na Czerwoną Planetę orbitera Hope Zjednoczonych Emiratów Arabskich, japońskiego orbitera, chińskiego łazika oraz kapsuły Dragon prywatnej firmy SpaceX.⁶⁰

⁵² *Mars*, www.spacex.com/pl/mars (28.02.2020).

⁵³ *InSight (Discovery Mission)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/insight/ (28.02.2020).

⁵⁴ *Mars Atmospheric and Volatile Evolution*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/maven/ (28.02.2020).

⁵⁵ *Mars Reconnaissance Orbiter*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-reconnaissance-orbiter/ (28.02.2020).

⁵⁶ *Mars Science Laboratory*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-science-laboratory/ (28.02.2020).

⁵⁷ *2001 Mars Odyssey*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/odyssey/ (28.02.2020).

⁵⁸ *Mars Express (ESA)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/express/ (28.02.2020).

⁵⁹ *ExoMars 2016 Mission (ESA/Roscosmos)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/esa-exomars-2016-tgo/ (28.02.2020).

⁶⁰ *Past, present, future, timeline*, mars.nasa.gov/#red_planet/5 (28.02.2020).

Rozdział 2. Istota i znaczenie sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej

2.1 Sztuczna inteligencja

Już od chwili wynalezienia pierwszych komputerów w latach 40 ubiegłego wieku, oczekiwano pojawienia się maszyn, które swoją inteligencją mogłyby dorównać inteligencji ludzkiej. Sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach życia oraz wpływa na rozwój różnych obszarów nauki, takich jak zarządzanie, logistyka, ekonomia czy nawet medycyna. Inteligentne algorytmy pozwalają na tworzenie i odkrywanie nowych zależności w świecie oraz usprawniają pracę dotychczas wykonywaną przez człowieka lub przez zwykłe programy komputerowe.

Termin sztuczna inteligencja (AI – Artificial Intelligence) po raz pierwszy został użyty na konferencji w Dartmouth w 1955 roku przez amerykańskiego informatyka Johna McCarthy'ego. Naukowiec zdefiniował to pojęcie jako „naukę i inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn” oraz zaproponował inne nazwy dla tej dziedziny, takie jak inteligencja obliczeniowa, inteligencja syntetyczna, czy obliczeniowa racjonalność. Wraz z rozwojem technologicznym termin sztucznej inteligencji również ulegał zmianie. Wbrew pozorom, przypisanie konkretnej definicji nie jest proste, a samej nazwie przypisuje się wiele znaczeń.⁶¹ Głównie wynika to z braku precyzyjnej i jasnej definicji słowa „*inteligencja*”, która jest pojęciem wieloznacznym. W języku potocznym, za inteligencję uznajemy zdolność rozwiązywania problemów praktycznych, predyspozycje językowe oraz kompetencje społeczne. Inteligencja jako cecha ludzkiego mózgu związana jest szybkością przetwarzania informacji oraz umiejętnością dochodzenia do konkretnych, prawidłowych wniosków. Z kolei według ekspertów zajmujących się tą dziedziną badań, inteligencja jest zdolnością uczenia się poprzez analizę własnych doświadczeń oraz umiejętnością adaptacji w otaczającym nas środowisku. Tak rozumiane cechy mogą być charakterystyczne nie tylko dla ludzi, ale również dla zwierząt, czy dla zaawansowanych samouczących się programów.⁶²

Według współczesnych definicji, sztuczna inteligencja to „prace nad metodami obliczeniowymi, które umożliwiałyby (maszynom) postrzeganie, wnioskowanie, działanie”,

⁶¹ K. Różanowski, *Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia*, „Zeszyty Naukowe Warszawskiej Szkoły Informatyki”, Warszawa 2007, s. 110.

⁶² *Encyklopedia PWN*, www.encyklopedia.pwn.pl/haslo/inteligencja;3915042.html (29.04.2020); J. N. Kok, E. J. W. Boers, W. A. Kusters, P. van der Putten, *Artificial Intelligence: definition, trends, techniques, and cases*, EOLSS, Oxford 2009, s. 1-2.

„dziedzina nauki, zajmująca się rozwiązywaniem problemów efektywnie niealgorytmizowalnych, w oparciu o modele wiedzy” lub „dziedzina nauki próbująca wyjaśnić i emulować inteligentne zachowania za pomocą metod obliczeniowych”⁶³. Najogólniej rzecz ujmując, AI jest działem informatyki zajmującym się tworzeniem programów, które mają za zadanie imitować inteligencję człowieka poprzez generowanie procesów myślowych. Najczęściej jednak sztuczną inteligencją nazywa się maszyny bądź systemy informatyczne, które w oparciu o reguły ludzkiego rozumowania przetwarzają informację i dochodzą do konkretnych wyników, przewyższając swoją mocą obliczeniową możliwości przeciętne człowieka. Celem AI jest odtwarzanie ludzkiego sposobu postrzegania rzeczywistości oraz umiejętności reagowania na zaistniałe wydarzenia, jednocześnie przekraczając barierę umysłu człowieka w tym zakresie. Za przykład mogą posłużyć programy stosowane do rozpoznawania tekstów, obrazków i dźwięków, translatory językowe, algorytmy zdolne do udowadniania twierdzeń z zakresu logiki i matematyki, samouczące się maszyny oraz gry symulacyjne. Należy jednak pamiętać, iż sztuczna inteligencja jest tylko programem, stąd nie jest zdolna do wszechstronnego myślenia, kreatywności, improwizacji czy empatii – jej inteligencja wynika z dużej ilości przeanalizowanych danych oraz skomplikowanych algorytmów powstałych metodą prób i błędów.⁶⁴

W celu określenia, czy program rzeczywiście zdaje się przejawiać zachowania inteligentne, stosuje się tak zwany Test Turinga. Test ten ma za zadanie określić zdolności AI do posługiwania się językiem ludzkim oraz pośrednio ma dowodzić opanowania przez tę maszynę umiejętności myślenia w podobny sposób do myślenia ludzkiego. Test Turinga został zaproponowany w 1950 roku przez Alana Turinga w ramach odpowiedzi na pytanie „czy maszyny mogą myśleć?”, które było poruszane w jego pracy „Computing machinery and intelligence”. Sposób przeprowadzenia testu wygląda następująco: człowiek w postaci sędziego ma za zadanie przeprowadzić pięciominutową rozmowę w języku naturalnym z co najmniej dwoma rozmówcami, nie wiedząc czy jego partner jest człowiekiem, czy maszyną. Jeśli sędzia nie będzie w stanie odróżnić maszyny od człowieka, wtedy można powiedzieć, iż program zaliczył test z wynikiem pozytywnym.⁶⁵

John R. Searle, amerykański filozof oraz profesor Uniwersytetu Kalifornijskiego rozróżnia dwa rodzaje sztucznej inteligencji. Pierwsza z nich, nazywana słabą Sztuczną

⁶³ K. Różanowski, *Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia*, „Zeszyty Naukowe Warszawskiej Szkoły Informatyki”, Warszawa 2007, s. 111.

⁶⁴ *Sztuczna inteligencja – wsparcie czy zagrożenie dla ludzkości?*, www.kopernik.org.pl/wystawy/artukul/sztuczna-inteligencja-co-to-jest-jak-moze-pomoc-ludzkości/ (29.04.2020).

⁶⁵ A. M. Turing, *Computing machinery and intelligence*, „Mind”, Londyn 1950.

Inteligencją (weak AI), odnosi się do programów wyspecjalizowanych w wykonywaniu ograniczonej ilości zadań bądź w rozwiązywaniu konkretnych problemów. Przez bardzo wąską i specyficzną dziedzinę działania jest w stanie osiągnąć lepsze wyniki pod względem jakości i szybkości, niż jakby to samo zadanie zostało wykonane przez człowieka, jednak na tym jej możliwości się kończą. Słaba Sztuczna Inteligencja nie jest w stanie wykonać zadań, do których nie została przeznaczona. Przykładem słabej AI są automatyczne tłumacze językowe, czy głosowi asystenci jak Cortana. Z kolei druga, silna Sztuczna Inteligencja (strong AI), jest odzwierciedleniem przekonania, według którego pewne formy AI mogą posiadać wszystkie cechy ludzkiego umysłu. Jak mówi autor założenia, „według silnej sztucznej inteligencji, komputer nie jest jedynie narzędziem do studiowania działania umysłu, lecz odpowiednio zaprogramowany komputer jest w rzeczywistości umysłem”⁶⁶. W praktyce, silna AI jeszcze nie powstała, a jej osiągnięcie wykracza poza aktualne możliwości technologiczne.

Według innej klasyfikacji, podział J.R. Searle został rozszerzony o kolejną, trzecią kategorię. Słaba AI określana jest tu jako wąska sztuczna inteligencja (ANI – Artificial Narrow Intelligence), z kolei silna AI (nazywana również jako AGI – Artificial General Intelligence) stwarza warunki do kolejnego rodzaju jakim jest Superinteligentna AI (ASI – Artificial Super Intelligence). Zarówno AGI, jak i ASI są hipotetycznymi programami komputerowymi, które mogłyby być w stanie wykonywać powierzone zadania tak samo bądź lepiej niż człowiek, jednak Superinteligentna AI z założenia znacząco przewyższałaby swoją inteligencją ludzki intelekt. Według Demisa Hassabisa, badacza Sztucznej Inteligencji, silna AI powinna czerpać wiedzę z metod, według których ludzki mózg przetwarza informacje, jednak nie powinna wzorować swojego działania na fizycznym systemie, na którego podstawie działa mózg. Innymi słowy, powinna się skupić na zrozumieniu oprogramowania mózgu, a nie na jego budowie.⁶⁷

Jedną z najważniejszych gałęzi sztucznej inteligencji jest uczenie maszynowe (ML – machine learning), czyli rodzaj algorytmu, który tworzy się samodzielnie i wyprawdza wyniki na podstawie danych wejściowych. Jest to proces, który w odróżnieniu od klasycznego podejścia do programowania, nie wymaga z góry określonych instrukcji postępowania, lecz podania celu i dostarczenie danych, na których podstawie program może zdobywać wiedzę. Zbiór danych, z którego korzysta algorytm jest zbiorem wielu obiektów

⁶⁶ J. R. Searle, *Minds, brains and programs*, Behavioral and Brain Sciences 3, Cambridge University Press 1980, s. 417.

⁶⁷ H. Hodson, *Deep Mind and Google: the battle to control artificial intelligence*, „1843”, April/May 2019; *Trzy drogi rozwoju sztucznej inteligencji. Czym jest obecnie?*, www.brainintelligence.pl/sztuczna-inteligencja-czym-jest-obecnie (29.04.2020).

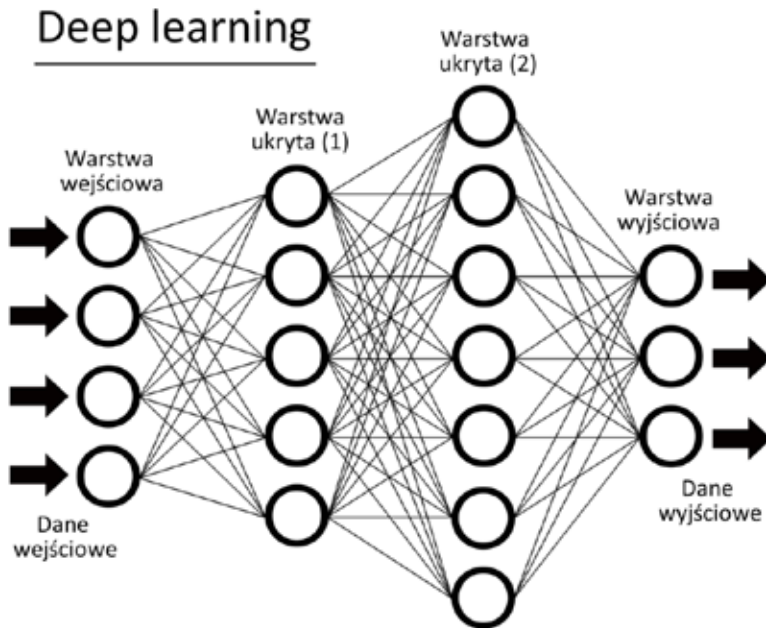
nazywanych przykładami, gdzie każdy przykład posiada wiele cech, które zostały obiektywnie zmierzone. Według Toma M. Mitchella, profesora Carnegie Mellon University, „uczenie maszynowe jest badaniem algorytmów komputerowych, które pozwalają programom komputerowym na automatyczne doskonalenie się poprzez doświadczenie”. Metoda ta wymaga obecności człowieka, który przekazując algorytmowi tysiące przykładów uczy maszynę jak czerpać z nich wiedzę. Im większe są zasoby danych, do których program ma dostęp, tym więcej jest w stanie się nauczyć.⁶⁸

Machine learning jest interesujący przede wszystkim ze względu na zadania, których wykonanie umożliwia. Z inżynierskiego punktu widzenia, uczenie maszynowe pozwala nam zająć się zadaniami, które są zbyt trudne do rozwiązania za pomocą normalnych programów informatycznych zaprojektowanych i napisanych przez ludzi. Z naukowego i filozoficznego punktu widzenia, uczenie maszynowe pozwala zrozumieć zasady, które leżą u podstaw inteligentnych zachowań, a co za tym idzie, przybliża nas do zrozumienia pracy ludzkiego umysłu. Rozróżniamy trzy główne rodzaje uczenia maszynowego, jakimi są uczenie nadzorowane i nienadzorowane oraz uczenie przez wzmacnianie (Rysunek 5).
Uczenie nadzorowane (supervised learning) polega na wprowadzeniu danych wejściowych wraz z oczekiwanym wynikiem, na przykład poprzez przedstawienie bazy obrazków z informacją co się na nich znajduje. Następnie program dostaje całkowicie nowy plik, jednak przedstawiający tą samą rzecz i jego zadaniem jest przypisanie mu konkretnej nazwy. Z kolei w uczeniu nienadzorowanym (unsupervised learning), program nadal dostaje dane wejściowe, jednak bez informacji o oczekiwanym wyniku. W tym przypadku sztuczna inteligencja ma za zadanie posegregować dane według określonej przez siebie zasady, na przykład dzieląc obrazki według kolorów.⁶⁹ Trzeci rodzaj, czyli uczenie przez wzmacnianie (reinforcement learning) jest uznawany za metodę prób i błędów, gdzie jedyną informacją jaką dostaje program jest sygnał wzmocnienia określający czy wynik działania jest pozytywny lub negatywny. Uczenie się przez wzmacnianie to uczenie się tego, co należy zrobić by zmaksymalizować numeryczny sygnał nagrody. Programowi nie pokazuje się jakie działania należy podjąć, lecz musi on sam odkryć, które operacje przynoszą największą nagrodę. Przykładem może być tu gra, której reguły nie zostały przedstawione programowi, stąd sam musi się dowiedzieć na czym ona polega. Po skończonej turze program dowiadyuje się czy wygrał bądź przegrał, co zmusza go do poprawienia swoich algorytmów. Z zało-

⁶⁸ Y. Bengio, I. Goodfellow, A. Courville, *Deep learning*, The MIT Press, Cambridge 2017, s. 2-3.

⁶⁹ Tamże, s. 105.

żenia, przy każdej następnej turze program powinien wykazywać coraz większe postępy.⁷⁰ Specyficznym rodzajem uczenia maszynowego jest deep learning, inaczej zwana głębokim uczeniem, która to jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi sztucznej inteligencji. Schemat działania tej technologii został ukazany poniżej (Rysunek 5).



Rysunek 5. Schemat działania technologii deep learning

Źródło: opracowanie na podstawie www.nextbigfuture.com/2019/12/what-are-the-limits-of-deep-learning-going-beyond-deep-learning.html

Głębokie uczenie polega na tworzeniu sieci neuronowych, czyli systemów informatycznych, których funkcjonowanie oraz budowa przypominają pracę ludzkiego mózgu. Sieci neuronowe działają na zasadzie ogromnej ilości połączonych ze sobą prostych procesów, które są w stanie działać w tym samym czasie. Procesy te mają dostęp do pamięci lokalnej oraz są zasilane bardzo dużą ilością informacji. Każdy z procesów posiada dwa punkty – wejścia i wyjścia. Przez punkt wejścia do komórki dociera informacja, która jest

⁷⁰ R. S. Sutton, A. G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, The MIT Press, London 2017, s. 1; S. Kaczmarek, *Machine learning i deep learning – samouczące systemy. Leksykon 2017*, www.it-filolog.pl/machine-learning-i-deep-learning-samouczace-systemy-leksykon-2017/ (29.04.2020).

odpowiednio analizowana i następnie przekazywana do punktu wyjścia w formie reakcji na otrzymaną wiedzę. By sieć neuronowa była w stanie dobrze działać, konieczne jest zapewnienie jej dużej ilości danych, na których podstawie program może się uczyć. Minusem sieci neuronowej jest to, iż nie nadaje się do przetwarzania informacji symbolicznych, obliczeń wymagających wysokiej dokładności, gdyż sieć pracując jakościowo daje przybliżone wyniki, oraz do rozwiązywania zagadnień, gdzie rozumowanie jest przeprowadzane wieloetapowo. Jest to niemożliwe, gdyż nie da się udokumentować procesów zachodzących w sieci neuronowej.⁷¹

Głębokie uczenie jest jedną z podstaw kognitywnego przetwarzania danych, które pozwala programom zrozumieć sygnały wysyłane przez ludzi oraz odpowiadać na zapytania w formie zrozumiałej dla człowieka. Najprościej rzecz ujmując, deep learning to proces, w którym komputer samodzielnie uczy się wykonywać zadania naturalne dla ludzkiego mózgu. Zamiast organizować dane i wykonywać szereg zdefiniowanych równań, program zbiera podstawowe parametry dotyczące danych i przygotowuje się do samodzielnego uczenia dzięki znajdowaniu wzorców z zastosowaniem wielu warstw przetwarzania. Technologia głębokiego uczenia w dużym stopniu usprawniła zdolność komputerów do rozpoznawania, klasyfikowania, a także wykrywania i opisywania różnego rodzaju danych. Deep learning bardzo dobrze sprawdza się w dziedzinach wymagających działań opierających się na wykorzystaniu danych numerycznych. Za przykład mogą posłużyć programy zdolne do klasyfikacji obrazów, rozpoznawania ludzkiej mowy, wykrywania obiektów i opisywania zbiorów danych.⁷² Technologia ta dobrze się sprawdza w znajdowaniu zależności niewidocznych bądź nieokreślonych przez człowieka, a także do przetwarzania Big Data. Termin ten odnosi się do dużych, zmiennych i różnorodnych zbiorów danych, których przetwarzanie i analiza dają bardzo wartościowe wyniki. Przetworzenie takiej ilości danych przez człowieka jest wręcz niemożliwe, stąd deep learning znajduje tu idealne zastosowanie.⁷³

Podstawową różnicą między głębokim uczeniem a uczeniem maszynowym jest to, iż deep learning nie wymaga obecności człowieka by prawidłowo móc działać i zdobywać nową wiedzę. Jedynym zadaniem jakie trzeba wykonać jest przekazanie odpowiedniej ilości danych, by program miał podstawę do nauki. Na przykładzie analizy zdjęcia, program

⁷¹ Y. Bengio, I. Goodfellow, A. Courville, *Deep learning*, The MIT Press, Cambridge 2017, chapter 1.

⁷² K. Gądek, *Deep Learning*, blog.edrone.me/pl/co-to-jest-deep-learning-i-jak-mozemy-go-wykorzystac/ (29.04.2020).

⁷³ *Deep Learning – What it is and why it matters*, www.sas.com/pl_pl/insights/analytics/deep-learning.html (29.04.2020).

oparty na technologii głębokiego uczenia wpierv skanuje każdy piksel, szuka krawędzi i kształtów by na koniec posortować je pod kątem istotności w danym problemie. W ten sposób jest w stanie sam odnaleźć zależności, dzięki którym może przykładowo odróżniać figury, czy postacie znajdujące się na zdjęciu. W przypadku zwykłego uczenia maszynowego wpierv należałoby przekazać programowi zależności, na których podstawie rozróżniamy figury – dopiero wtedy program byłby je w stanie określić.⁷⁴

Istnieją dwa podstawowe podejścia do pracy nad sztuczną inteligencją. Pierwsze z nich, najbardziej odpowiadające definicji sztucznej inteligencji, polega na tworzeniu struktur i programów samouczących się. Jest to tak zwane podejście subsymboliczne, Do tej grupy zaliczamy na przykład deep learning i sieci neuronowe. Drugie podejście, czyli podejście symboliczne, polega na realizowaniu funkcji powszechnie uważanych za składowe inteligencji poprzez tworzenie modeli matematyczno-logicznych analizujących konkretne problemy. Zawierają się tu wszelkie algorytmy genetyczne, metody logiki rozmytej oraz wnioskowanie oparte na doświadczeniu.⁷⁵ Mówiąc o sztucznej inteligencji, warto wyjaśnić na czym polegają algorytmy oparte na logice rozmytej (fuzzy logic). Ludzkie rozumowanie, często niedokładne i rozmyte, jest na pozór gorsze od matematycznej precyzji, jednak niejednokrotnie sposób ludzkiego myślenia okazywał się skuteczniejszy od zero-jedynkowej logiki algorytmów komputerowych. W celu przekazania tej umiejętności maszynom, stosuje się narzędzie jakim jest logika rozmyta. Termin ten został zaproponowany w 1965 roku przez Lotfi Zadeha.⁷⁶ Logika rozmyta polega ona na modelowaniu logicznego rozumowania za pomocą niejasnych bądź nieprecyzyjnych stwierdzeń, gdzie ocenę stanu rzeczy wykonuje się w pewnej skali stopniowania. Ocena ta jest naturalnym sposobem określania pewnych cech w środowisku niepewnym lub na podstawie niekompletnych informacji. Przykładem jest tu zastosowanie słów niski/średni/wysoki lub słabe/silne/umiarkowane. System ten powstał na skutek zauważenia problemów związanych z próbą opisania zjawisk przy pomocy logiki klasycznej. Logika rozmyta związana jest z technikami i metodami służącymi do obrazowania informacji, które są nieprecyzyjne bądź nieokreślone, co pozwala opisać zjawiska o charakterze wieloznacznym.⁷⁷ Zastosowanie tego systemu można

⁷⁴ Y. Bengio, I. Goodfellow, A. Courville, *Deep learning*, The MIT Press, Cambridge 2017, chapter 1, s. 5.

⁷⁵ J. Skrzypczyk, *Sztuczna inteligencja w zagadnieniach inżynierskich*, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2007 s. 14.

⁷⁶ K. Różanowski, *Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia*, „Zeszyty Naukowe Warszawskiej Szkoły Informatyki”, Warszawa 2007, s. 121.

⁷⁷ *Fuzzy Logic*, www.plato.stanford.edu/entries/logic-fuzzy/ (29.04.2020).

znaleźć przykładowo w różnego rodzaju sterownikach służących do sterowania zapasami⁷⁸ lub w ocenie jakości działania systemów transportowych.⁷⁹

2.2 Sektor sztucznej inteligencji na świecie i w Polsce

Mówiąc o wykorzystaniu sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej, należałoby wpięrcw przyjrzyć się zastosowaniu tej technologii w logistyce ziemskiej. Dzięki znacznemu postępcowi technologicznemu, który można zaobserwować w ostatnich latach, nieprzewidywalność zdarzeń w procesach logistycznych przemija na rzecz inteligentnych, informacyjnie doprecyzowanych łańcuchów dostaw. Dobrze funkcjonujący łańcuch dostaw gwarantuje ciągłość przepływu dóbr oraz niweluje wystąpienie problemów, a także wpływa na rentowność i skuteczność biznesu. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji w tym obszarze, możliwa jest optymalizacja procesów, realizacja działań mających zapobiegać powstawaniu błędów w wyniku pracy ludzkiej, a także przewidywanie szans oraz zagrożeń.

Jednym z najważniejszych działań zawartych w zarządzaniu łańcuchem dostaw (SCM – Supply Chain Management) jest planowanie strategii i działań związanych z przepływem surowców i informacji. Należy dążyć do tego, by łańcuch dostaw był jak najbardziej zoptymalizowany, stąd posiadanie niezawodnych narzędzi do opracowywania skutecznego systemu jest niezwykle istotne. W przypadku wdrożenia uczenia maszynowego, procesy decyzyjne w łańcuchu dostaw można znacznie zoptymalizować. Analizując ogromne zbiory danych i stosując inteligentne algorytmy możliwe jest zbilansowanie popytu i podaży przy jednoczesnej optymalizacji procesów dostawy. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń przedsiębiorstwa, AI może przeprowadzić szczegółową analizę wszystkich czynników, które mogą mieć wpływ na popyt, dzięki czemu możliwe jest podjęcie właściwych decyzji biznesowych. Inteligentne prognozowanie popytu może także pomóc w zarządzaniu magazynem i zapasami, co również wpływa na planowanie dostaw. Z kolei aby obniżyć koszty wysyłki i przyspieszyć sam proces transportu towarów, sztuczna inteligencja może zostać użyta w celu wybrania jak najlepszego planu trasy. Jest to szczególnie ważne w przypadku dużych firm świadczących swoje usługi dla wielu klientów. Wybranie najbardziej optymalnej trasy może zaważyć o dostarczeniu przesyłki na czas, co z kolei

⁷⁸ D. Rogowska, *Zastosowanie logiki rozmytej w sterowaniu zapasami*, „Logistyka”, 2011 nr. 5.

⁷⁹ Ł. Muślewski, P. Bojar, K. Migawa, *Ocena jakości działania systemów transportowych z zastosowaniem elementów logiki rozmytej*, „Logistyka”, 2012 nr. 3.

wpływa na jakość świadczonych usług transportowych. Sztuczna inteligencja jest w stanie stale monitorować i przewidywać ruch na trasie oraz inne czynniki, które w jakiś sposób mogą wpłynąć na czas przesyłki. Dzięki analizie map z obrazów satelitarnych, AI może określić, w których miejscach i o jakich godzinach występują największe korki oraz gdzie droga wydaje się być w najgorszym stanie, co również wpływa na szybkość przejazdu. Z kolei dzięki analizie potencjalnych miejsc przeznaczonych na postój, sztuczna inteligencja może brać pod uwagę zajęcie miejsc parkingowych przy planowaniu przerw dla kierowców. Uwzględnienie wszystkich tych czynników pozwala na lepsze rozplanowanie trasy niż ma się to w przypadku standardowych narzędzi nawigacyjnych.

Ciekawym zastosowaniem technologii AI w logistyce jest także usprawnienie komunikacji przy pomocy inteligentnego tłumacza językowego. Przetwarzanie języka naturalnego lub NLP (programowanie neurolingwistyczne) jest doskonałym rozwiązaniem, gdy trzeba rozszyfrować dużą ilość danych w obcym języku. W niektórych przypadkach, bariery językowe mogą być trudne do pokonania. W rezultacie nieporozumienie może doprowadzić do poważnych problemów i nieefektywnych decyzji biznesowych. Takie tłumacze jak Google, czy DeepL mogą znacznie usprawnić komunikację, dzięki stale uczącym się algorytmom, które z każdym rokiem są coraz bardziej efektywne.⁸⁰

Należy stale pracować nad procesami logistycznymi poprzez optymalizację i modernizację przy pomocy dostępnych narzędzi informatycznych. Można zauważyć, że sztuczna inteligencja odgrywa w tym ważną rolę oraz wyznacza nowe perspektywy rozwoju technologicznego przedsiębiorstw we współczesnej gospodarce. Uczenie maszynowe aplikacji oraz całych systemów logistycznych już dziś zajmuje się usprawnianiem dostaw towarów i tras transportowych oraz redukuje wolne przebiegi. Sztuczna inteligencja umożliwia kontekstową analizę nieustrukturyzowanych dotychczas danych oraz wyjaśnia zasadność podjętych działań. Dzięki dużej mocy obliczeniowej oraz umiejętności pracy nad znaczną ilością danych, jest w stanie o wiele lepiej niż człowiek analizować sytuację, zauważać zależności i wybierać jak najbardziej optymalne rozwiązania.⁸¹ Jak zostało ukazane w raporcie EFT z 2018 roku dotyczącego łańcuchów dostaw, biorący udział w badaniu sprzedawcy detaliczni oraz producenci wydali na technologię AI średnio 17 mln USD. Większość firm korzysta ze sztucznej inteligencji jednak w sposób eksperymentalny. Sugeruje to, iż pomimo powszechności tego terminu, dla firm AI jest nadal jest nową technologią.⁸² Z kolei

⁸⁰ A. Haponik, *10 Use Cases of AI and Machine Learning in Logistics and Supply Chain*, www.addepto.com/use-cases-ai-machine-learning-logistics-supply-chain/ (28.05.2020).

⁸¹ *Uczenie maszynowe a logistyka*, „Logistic manager”, 2019 nr 2(6), s. 2 i 12-15.

⁸² *2018 supply chain study*, <https://www.eft.com/content/2018-supply-chain-study> (10.05.2020).

według innego raportu EFT, również przeprowadzonego w 2018 roku, sztuczna inteligencja znajduje się na drugim miejscu zaraz za Blockchainem w technologiach zmieniających obecny wygląd logistyki.⁸³

Z każdym rokiem sektor logistyczny staje się coraz bardziej związany z zaawansowanymi technologicznie maszynami, w szczególności jeśli chodzi o roboty zajmujące się obsługą zapasów magazynowych i czynnościami związanymi z przeładunkami. Niektóre z tych maszyn wyposażone są w technologię AI, co ułatwia sterowanie zapasami oraz minimalizuje koszty. Istnieją już oznaki, iż zaawansowane maszyny, które aktualnie przeznaczone są do wykonywania prostych czynności, będą mogły obsługiwać skomplikowane dostawy. Za przykład może tu posłużyć Amazon, który uznawany jest za pioniera w testowaniu dronów dostawczych. Jego nowy produkt, dron Prime Air wyposażony jest w wiele czujników, a także system sterowania lotem, za którego pracę odpowiada sztuczna inteligencja oparta o technologię uczenia maszynowego. AI oraz czujniki wizualne, termiczne i ultradźwiękowe mają zapewnić maksymalne bezpieczeństwo zarówno dla samego drona, jak i dla otoczenia, w którym się znajduje. Z założenia, nawet jeśli dron straci połączenie z siecią, to dzięki sztucznej inteligencji będzie w stanie odpowiednio sobie poradzić z nowo zaistniałą sytuacją.⁸⁴ Jeśli mowa o sztucznej inteligencji w transporcie, należałoby również wspomnieć o autonomicznych samochodach marki Tesla, które wykorzystują technologię sieci neuronowych do analizy obrazu w czasie rzeczywistym i wykrywania obiektów znajdujących się na drodze, co umożliwia sterowanie samochodem bez udziału kierowcy.⁸⁵

2.3 Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej

Kiedy w 1958 roku powstawała NASA, nikt nie brał pod uwagę wykorzystania komputerów bezpośrednio na statkach kosmicznych. Ówczesne maszyny liczące zajmowały nawet kilka metrów kwadratowych powierzchni, stąd trudno było oczekiwać, iż dałoby się wystrzelić w kosmos komputer takich rozmiarów. Z tego powodu, w czasie trwania misji kosmicznych wszelkie obliczenia musiały być wykonywane zdalnie, z powierzchni Ziemi. Jednak z biegiem czasu zauważono potrzebę zapewnienia stałej pomocy technologicznej dla załogi w czasie ich pobytu w przestrzeni kosmicznej. Było to konieczne do zapewnienia

⁸³ *2018 global Logistics report*, www.eft.com/content/2018-global-logistics-report (10.05.2020).

⁸⁴ *A first look at Amazon's new delivery drone*, www.techcrunch.com/2019/06/05/a-first-look-at-amazons-new-delivery-drone/ (10.05.2020); *Amazon Prime Air*, www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011 (10.05.2020).

⁸⁵ *Autopilot*, www.tesla.com/autopilotAI (19.05.2020).

precyzji nawigacji, gdyż sygnał z Ziemi dobiegał z opóźnieniem. Ponadto, wiadomo było, iż po drugiej stronie Księżyca nie ma żadnej możliwości radiowego kontaktu, stąd misje tego typu bez odpowiedniego zaplecza technologicznego byłyby niemożliwe.⁸⁶ Współcześnie, technologie kosmiczne znajdują się na o wiele wyższym poziomie niż miało to miejsce przy pierwszych misjach kosmicznych. Rozwój techniczno-informatyczny daje wiele potencjalnych możliwości – zarówno pozwala rozwijać sektor logistyki kosmicznej, jak i badać dotychczas niedostępne obszary Układu Słonecznego. Agencje kosmiczne przywiązują coraz większą wagę do automatyzacji procesów oraz wykorzystywania technologii opartych na sztucznej inteligencji, co ma tylko przyspieszyć rozwój branży kosmicznej.

Potencjał sztucznej inteligencji do powiększania bieżącej i przyszłej eksploracji kosmosu jest ogromny. Istnieje wiele zastosowań AI, które mogą radykalnie poprawić jakość misji kosmicznych w przyszłości. Przykładem jest zastosowanie sztucznej inteligencji do usprawnienia systemów wczesnego ostrzegania o potencjalnym zagrożeniu. Dzięki stałej obserwacji terenu oraz analizie zebranych danych, sztuczna inteligencja może monitorować zarówno teren na jakim się znajduje, jak i wszelkie procesy zachodzące na statku. Odpowiednio wyszkolona AI oprócz identyfikacji ryzyka mogłaby również na nie reagować. Jest to o tyle istotne, iż poważne uszkodzenie sprzętu może zaważyć o powodzeniu misji. W przypadku długoterminowych misji kosmicznych najbardziej korzystną opcją byłoby zapewnienie technologii, która byłaby w stanie samoistnie monitorować stan wszystkich systemów oraz w razie komplikacji, odpowiednio je naprawić.⁸⁷ Innymi zastosowaniami technologii AI w logistyce kosmicznej są między innymi: inteligentna nawigacja planetarna, optymalizacja procesów logistycznych, prowadzenie badań naukowych, czy nawet analiza danych biometrycznych astronautów. Ostatnia funkcja jest bardzo istotna, gdyż przestrzeń kosmiczna nie jest korzystnym dla człowieka środowiskiem, stąd należałoby stale obserwować stan zdrowia załogi oraz przekazywać spersonalizowane zalecenia zdrowotne.

Zastosowanie sztucznej inteligencji w sektorze kosmicznym pozwala na realizację wysoce precyzyjnych misji na dalszych odległościach, co przy sterowaniu manualnym opartym na stałej łączności z Ziemią wiązałoby się z dużym ryzykiem niepowodzenia. Technologia ta jest bardzo istotna w odniesieniu do badań powierzchni planet, gdyż sztuczna inteligencja jest w stanie przeprowadzić analizę terenu i poprowadzić pojazd po jak

⁸⁶ J. Badurek, *Kosmiczna informatyka*, www.computerworld.pl/news/Kosmiczna-informatyka,305099.html (29.04.2020).

⁸⁷ A. Townsend, *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).

najbezpieczniejszej drodze, bez konieczności kontroli zdalnej ze strony człowieka. Takie rozwiązanie znacznie usprawnia przeprowadzanie badań na planetach Układu Słonecznego oraz zmniejsza możliwość wystąpienia problemów związanych z trasą pojazdu. Zaletą wykorzystania robotów w misjach kosmicznych jest to, iż mogą zastąpić człowieka w trudnych i niebezpiecznych zadaniach. Dzięki temu, zdrowie ludzkie nie zostaje narażone na potencjalne niebezpieczeństwo. W razie wystąpienia komplikacji prowadzących do zniszczenia maszyny, jedyną stratą jest strata finansowa. Ta z kolei w odniesieniu do maszyn wykorzystywanych w sektorze kosmicznym może stanowić duży problem, stąd należy zadbąć o odpowiednią jakość maszyny, jak i programu, który nią steruje.

Wysłanie robota w przestrzeń kosmiczną jest również tańsze, ponieważ ich działanie nie jest uzależnione od jedzenia, snu, czy potrzeb fizjologicznych. Kolejną zaletą jest to, iż roboty w przestrzeni kosmicznej mogą przetrwać wiele lat, bez konieczności powrotu na Ziemię. Są przystosowane do wytrzymywania w ciężkich warunkach związanych z ekstremalnie wysoką temperaturą lub promieniowaniem. Dzięki odpowiedniej budowie mogą także robić rzeczy, które byłyby zbyt ryzykowne bądź niemożliwe dla astronautów.⁸⁸ Nie oznacza to jednak, iż czynnik ludzki powinien być całkowicie zastąpiony przez zrobotyzowaną załogę, gdyż człowiek poprzez szybką adaptację do nowych warunków w wielu sytuacjach sprawdza się lepiej. Sztuczna inteligencja powinna stanowić narzędzie dla człowieka, a nie jego substytut.

2.4 Zastosowanie sztucznej inteligencji w robotyce kosmicznej

Zastosowanie robotów w eksploracji kosmosu ma długą historię. Celem zarówno dawnych, jak i obecnych zrobotyzowanych maszyn była pomoc w realizowaniu misji orbitalnych (na przykład na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej) oraz planetarnych, przykładowo na powierzchni Marsa, Księżyca, komet lub asteroid. Robotyka jest wciąż rozwijana i stanowi stały element zainteresowania agencji kosmicznych z całego świata, ze względu na różnorodne czynniki skłaniające organizacje kosmiczne do zwiększonej automatyzacji przestrzeni kosmicznej. W połączeniu ze sztuczną inteligencją, maszyny mogą być zdolne do sprawnego poruszania się oraz do podejmowania bardziej autonomicznych działań. Maszyny zdolne do działania tam, gdzie człowiekowi trudno jest dotrzeć, nadają się idealnie do pracy na tych obszarach.

⁸⁸ *Why do we send robots to space?*, www.spaceplace.nasa.gov/space-robots/en/ (10.05.2020).

Kluczowym obszarem, w którym sztuczna inteligencja może znacznie przyspieszyć eksplorację kosmosu jest zwiększenie autonomii kosmicznych maszyn. Jest to istotne z tego względu, iż wpływa na zakres zadań, do jakich wykonania zdolny jest robot. Tym samym, determinuje to potrzebę i częstotliwość interakcji z człowiekiem. Istnieje kilka różnych poziomów autonomii, począwszy od manualnego sterowania przez człowieka przy wsparciu systemowym, aż po pełną autonomię. Na wszystkich poziomach prócz ostatniego wymagana jest interwencja człowieka. Pierwszym poziomem jest wcześniej wspomniane manualne sterowanie, które polega na zdalnej kontroli poczynąń robota z Ziemi. Drugim poziomem jest automatyzacja, czyli zaprogramowanie sterowania. W tym przypadku robot wykonuje czynności według kodu napisanego przez człowieka. Trzecim poziomem jest półautonomia, w której robot dostosowuje się do środowiska na podstawie sztucznej inteligencji, jednak dalej potrzebuje kontroli człowieka. Z kolei ostatnim poziomem jest pełna autonomiczność, gdzie robot jest w stanie sam podejmować decyzje, znajdować cele i realizować konkretne działania. Perspektywa zrobotyzowanej załogi kosmicznej mogącej samodzielnie podejmować decyzje oraz pracować w trudnych warunkach oferuje wiele możliwości, zarówno pod względem ekonomicznym, jak i eksploracji Układu Słonecznego. Dzięki technologii AI, poziom automatyzacji zadań może wykraczać daleko poza automatyzację operacyjną stosowaną w robotyce w ciągu ostatnich dziesięcioleci, co w dalszej perspektywie może znacznie wpłynąć na wygląd sektora kosmicznego.⁸⁹

Ze stron niektórych firm można zobaczyć pierwsze próby zastąpienia człowieka przez maszyny. Za przykład może posłużyć rosyjska agencja ROSKOSMOS z projektem autonomicznych robotów FEDOR. Z założenia, roboty miały być przeznaczone do wykonywania trudnych misji kosmicznych, zarówno na pokładzie statku, jak i poza nim, badanie powierzchni Księżyca i Marsa pod kątem możliwości osiedlenia się człowieka, monitorowanie warunków podczas lotu, towarzyszenie astronautom oraz pełnienie funkcji interaktywnego przewodnika ISS dla Rosjan. Za konstrukcję robota odpowiadała firma Android Technology, dostawca zaawansowanych technologii dla rosyjskiego sektora obronnego, we współpracy z rosyjską Fundacją Inicjatyw Badawczych. Technologia robotów Fedor rozwijana była od 2014 roku, jednak ostatnie modele miały funkcjonować już pod inną nazwą – Skybot. 27 sierpnia 2019 roku z powodzeniem udało się przetransportować robota Skybot F-850 na pokład Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, gdzie docelowo miał spędzić 2 tygodnie w celu sprawdzenia jego funkcjonowania, jak i użyteczności. Niestety,

⁸⁹ A. Townsend, *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).

wynik misji nie był zadowalający, gdyż naukowcy pracujący przy przedsięwzięciu uznali, iż robot nie jest w stanie w pełni zastąpić astronauty. Projekt ten pokazał, iż wyszkolenie sztucznej inteligencji do wykonywania tak różnorodnych czynności jest trudnym zadaniem, wręcz niemożliwym ze względu na aktualne zaawansowanie technologiczne. Jednocześnie, próba zastąpienia załogi maszynami może być złym kierunkiem rozwoju, do którego nie należałoby dążyć.⁹⁰

Według NASA, celem AI jest wspieranie człowieka poprzez odkrywanie nowych, interesujących elementów, co z kolei daje naukowcom możliwość skupienia się na myśleniu i analizowaniu odkrytych przez sztuczną inteligencję danych.⁹¹ Takie też podejście ukazuje projekt wolno latającego robota CIMON (Crew Interactive Mobile companion), opracowanego w 2018 roku. Urządzenie zostało stworzone przez firmy Airbus oraz IBM, na zlecenie German Aerospace Center. Zadaniem robota było pełnienie funkcji elektronicznego asystenta podczas długoterminowych misji kosmicznych na pokładzie ISS. Dzięki szeregowi wbudowanych kamer, mikrofonów oraz czujników był w stanie widzieć, słyszeć oraz rozmawiać z astronautami, a także wykonywać rutynowe zadania, takie jak wyszukiwanie obiektów lub dokumentowanie wyników eksperymentów, które odbywały się na stacji. Eksperymentalna technologia interakcji człowiek-maszyna w przemyśle kosmicznym z powodzeniem opanowuje kolejny etap rozwoju w kosmosie, gdyż CIMON doczekał się swojej kolejnej wersji. CIMON-2, wykazał się dużymi możliwościami podczas wstępnych testów na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, takimi jak chociażby przemieszczanie się do określonych punktów w module ISS Columbus. Mikrofony oraz czujniki w obecnej wersji robota są bardziej czułe niż w przypadku jego poprzednika, dzięki czemu robot lepiej jest w stanie zrozumieć polecenia głosowe, a także ma lepsze wyczucie kierunku. Również znacząco poprawiono zdolności AI, gdyż stopień autonomii asystenta został zwiększony o około 30%. Astronauci mogą także aktywować funkcję CIMON-2, która pozwala analizować emocje w języku i okazywać empatię podczas interakcji z astronautami. Ponadto projekt ma na celu zbadanie, czy inteligentni asystenci, tacy jak CIMON, mogą pomóc zmniejszyć stres. Jako partner i asystent, CIMON może wspierać astronautów w ich pracy związanej z eksperymentami oraz pracami konserwacyjnymi i naprawczymi, zmniejszając w ten sposób ich narażenie na stres. CIMON daje podwaliny pod systemy pomocy społecznej, które mogłyby zmniejszyć napięcie wynikające z izolacji podczas długoterminowych

⁹⁰ T. Metcalfe, *Meet Skybot F-850, the Humanoid Robot Russia Is Launching into Space*, www.space.com/russia-launching-humanoid-robot-into-space.html (28.05.2020).

⁹¹ T. Greicius, *A.I. Will Prepare Robots for the Unknown*, www.nasa.gov/feature/jpl/ai-will-prepare-robots-for-the-unknown (28.05.2020).

misji. Sukces projektu CIMON jest kolejnym osiągnięciem w zakresie wykorzystania sztucznej inteligencji w lotach kosmicznych człowieka.⁹²

Inną możliwością zastosowania sztucznej inteligencji w robotyce kosmicznej są pojazdy badawcze, przeznaczone do analizy powierzchni ciał niebieskich. Za przykład mogą posłużyć łaziki marsjańskie tworzone przez NASA, w których zastosowanie sztucznej inteligencji znacznie przyspieszyło badanie geochemiczne powierzchni Marsa. Oprogramowanie AEGIS wykorzystywane od 2016 roku w marsjańskim łaziku Curiosity, zostało zaprojektowane tak, aby umożliwić robotowi autonomiczne wybieranie odpowiednich celów skalnych i glebowych do analizy. Dzięki takiemu rozwiązaniu zaoszczędzono czas jaki łazik potrzebowałby na otrzymanie poleceń z Ziemi oraz zwiększono szybkość, z jaką gromadzi dane.⁹³ Jak podaje ESA, inteligentne oprogramowanie do transmisji danych na pokładzie łazików marsjańskich jest w stanie usuwać błędy powstałe w wyniku pracy ludzkiej, które w przeciwnym razie mogłyby spowodować utratę cennych danych pozyskanych z Marsa. Tę samą technologię można wykorzystać w długoterminowych misjach eksploracyjnych, co oznacza, że będą wymagały minimalnego nadzoru ze strony ludzi. Co więcej, ESA zdobyła duże doświadczenie w wykorzystaniu technologii AI do przeszukiwania ogromnych ilości danych w celu wydobycia znaczących informacji. Technikę tę zastosowano w monitorowaniu liczby samochodów w centrach handlowych, prognozowaniu wyników finansowych i wspieraniu sił policyjnych, stąd ESA jest na dobrej drodze do przeniesienia zdobytego doświadczenia do sektora kosmicznego.⁹⁴

Oprócz prowadzenia badań, autonomiczne pojazdy znajdują również zastosowanie w kosmicznym górnictwie. Przeważnie mówiąc o zasobach kosmicznych mamy na myśli górnictwo materiałów, które na naszej planecie występują w małych ilościach, za to poza powierzchnią Ziemi są znacznie powszechniejsze. Przykładem jest tu chociażby platyna. Zasoby kosmiczne jako idea, oprócz górnictwa i wiertnictwa zawierają również nauki planetarne, techniki poszukiwawcze, projektowanie statków czy innych urządzeń kosmicznych, procesy produkcyjne, energetykę, inżynierię materiałów i inżynierię przetwórczą, logistykę, prawo, biznes oraz ekonomię. Same zaś zasoby kosmiczne to wszelkie zasoby materialne, niematerialne i energetyczne występujące poza Ziemią. Zasoby kosmiczne można podzielić na cztery rodzaje: zasoby wykorzystywane lokalnie (ISRU – in situ reso-

⁹² *CIMON-2 makes its successful debut on the ISS*, www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/04/cimon2-makes-its-successful-debut-on-the-iss.html (28.05.2020).

⁹³ B. Yirka, *Software on Mars rover allows it to pick research targets autonomously*, www.phys.org/news/2017-06-software-mars-rover-autonomously.html (10.05.2020).

⁹⁴ *Robots in space*, www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Robots_in_space2 (28.05.2020).

urce utilization), zasoby przeznaczenia ziemskiego (pro terrum space resources), górnictwo kosmiczne (space mining) oraz produkcję kosmiczną (space manufacturing). Zasoby wykorzystywane lokalnie są podstawą pozwalającą na przetrwanie w Kosmosie bez ingerencji z Ziemi oraz znacznie poszerzają możliwości eksploracyjne. Według NASA, ISRU można rozumieć jako „akwizycję, przetwarzanie, magazynowanie i wykorzystywanie wszelkich zasobów na drodze załogowej lub robotycznej eksploracji Kosmosu, które w innym wypadku byłyby dostarczone z Ziemi, w celu zapewnienia krytycznych potrzeb misji oraz redukcji kosztów i ryzyka”. Z kolei zasoby kosmiczne przeznaczone na ziemskie cele, jak nazwa wskazuje, dotyczą wszelkich dóbr sprowadzanych z Kosmosu na powierzchnię Ziemi. Przykładem tych zasobów jest komunikacja satelitarna oraz zdjęcia satelitarne lub Hel-3 występujący na Księżycu.⁹⁵

Wraz z pojawieniem się idei górnictwa kosmicznego zaczęły pojawiać się pytania, w jaki sposób może ona wpłynąć na inne sektory gospodarki, takie jak energetyka czy przemysł. Obecnie, gdy realizowanych jest wiele projektów związanych z analizą ciał niebieskich Układu Słonecznego, pojawia się coraz więcej przesłanek o opłacalności tego przedsięwzięcia. Wykorzystanie sztucznej inteligencji i robotyki w przemyśle wydobywczym na Ziemi służy jako dobry analog do wykorzystania zasobów ISRU na Księżycu, Marsie i na innych ciałach niebieskich. Pozyskiwanie zasobów na miejscu można podzielić na dwa kluczowe obszary. Pierwszym jest poszukiwanie i eksploracja, z kolei drugim wydobywanie materiałów. Technologia AI może mieć znaczący wpływ na oba te obszary. Poszukiwanie zasobów jest procesem mającym na celu określenie obszarów, w których występują odpowiednie materiały. Natomiast eksploracja obejmuje pobieranie próbek i analizę w celu ustalenia jej wartości, gdyż przeanalizowanie opłacalności tej inwestycji pod względem ekonomicznym jest bardzo istotne. Zarówno poszukiwanie, jak i eksploracja wymagają zebrania ogromnej ilości danych, których ręczna analiza może zająć lata. Model AI, zasilany danymi geologicznymi, topograficznymi, mineralogicznymi oraz satelitarnymi może znacząco usprawnić ten proces oraz z większą efektywnością odnajdywać konkretne złoża. Z kolei wydobywanie materiałów odnosi się do wszelkich działań wydobywczych mających na celu pozyskiwanie materiałów oraz przetransportowanie ich do konkretnego punktu docelowego. Sztuczna inteligencja może wzmocnić ten proces poprzez opracowanie autonomicznych ćwiczeń wiertniczych, co ma na celu wykonywanie operacji szybciej i z większą wydajnością. W przypadku operacji wydobywczych na dużą skalę, autonomiczne roboty

⁹⁵ G. Wasilewski, *Zasoby kosmiczne to najwyższy stopień innowacji gospodarki (ANALIZA)*, www.biznesalert.pl/kosmos-zloza-innowacje-polska/ (25.05.2020).

mogą wykonywać ciężkie i niebezpieczne zadania, nie narażając przy tym życia ludzkiego. Wykorzystywane w górnictwie roboty oparte na sztucznej inteligencji mogą również korzystać z technologii wykrywania, które pozwalają maszynom monitorować atmosferę i zagrożenia oraz wysyłać sygnały ostrzegawcze, wykrywając anomalie i niebezpieczeństwa, które nie są oczywiste dla ludzi.⁹⁶

W przypadku gdyby oprzeć górnictwo kosmiczne na wykorzystywaniu zasobów ludzkich, na przykład w celu sterowania maszynami z powierzchni obszaru wydobywczego, stałego nadzorowania pracy oraz wyszukiwaniu złóż szukanych materiałów, działania te wiązały by się z wysokimi kosztami oraz nieefektywnością pracy. Konieczne byłoby zapewnienie ludziom odpowiednich warunków do życia, zapasów żywności oraz planu pracy przewidującego czas na odpoczynek. Stanowiłoby też to duże zagrożenie dla życia ludzkiego, gdyż przebywanie w przestrzeni kosmicznej nie jest korzystne dla zdrowia. Ponadto, konieczne byłoby organizowanie cyklicznych lotów powrotnych na Ziemię po zakończeniu misji kosmicznych. W przypadku zastosowania zrobotyzowanej załogi opartej na sztucznej inteligencji, nie byłoby to konieczne. Odpowiednio skonstruowane maszyny, odporne na szkodliwe działanie warunków kosmicznych, mogłyby pracować z większą efektywnością, przynosząc większe korzyści finansowe, a ich utrzymanie polegałoby tylko na pracach projektowych i serwisowych. Rola człowieka w tym przedsięwzięciu opierałaby się na zdalnej kontroli prac, wytaczaniu przyszłych kierunków rozwoju oraz planowaniu kolejnych misji górniczych.⁹⁷

Sztuczna inteligencja może zostać przeszkolona w celu identyfikacji minerałów, sterowania pojazdem w poszukiwaniu surowców oraz do reagowania na wszelkie zagrożenia, które mogą pojawić się na drodze pojazdu. Minerale pozyskane z asteroid i innych ciał niebieskich mogą być transportowane na Ziemię w celu zaspokojenia stale rosnącego popytu, a wszelkie inne metale szlachetne, takie jak chociażby platyna, mogą być sprzedawane z zyskiem. Górnictwo kosmiczne rozwiązuje też problem zaopatrzenia pojazdów kosmicznych w paliwo, gdyż na wielu planetoidach lub planetach, takich jak Mars czy Księżyc, można znaleźć wodę, która po rozbiciu na wodór i tlen, generuje dwa podstawowe pierwiastki paliwa raketowego. Choć przed kosmicznym górnictwem stoi jeszcze wiele wyzwań, przemysł ten będzie się nadal rozwijał z uwagi na korzyści gospodarcze, jakie

⁹⁶ A. Townsend, *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).

⁹⁷ J. Valantin, *Space Mining, Artificial Intelligence and Transition?*, www.redanalysis.org/2018/03/19/space-mining-artificial-intelligence-and-transition/ (28.05.2020).

może zapewnić. Stąd też praca nad technologiami usprawniającymi procesy wydobywcze jest konieczna i jak najbardziej opłacalna w dłuższej perspektywie czasu.⁹⁸

Mówiąc o inteligentnych maszynach, należy też wspomnieć o możliwościach, jakie daje zastosowanie algorytmów AI w sterowaniu statkami kosmicznymi. Sztuczna inteligencja oferuje ogromny potencjał wspomagania nawigacji w przestrzeni kosmicznej, przede wszystkim w odniesieniu do prowadzenia badań Układu Słonecznego. W przypadku bezzałogowej misji kosmicznej, większa autonomia jest bardzo ważnym czynnikiem, umożliwiającym zwiększenie złożoności misji oraz jej szansy na sukces. Interwencja człowieka w misjach realizowanych na znacznych odległościach jest trudna oraz ograniczona, biorąc pod uwagę ogromne opóźnienie w transmisji danych w przestrzeni kosmicznej. Ważnym krokiem w eksploracji kosmosu jest wysyłanie łazików na odległe planety, takie jak chociażby Jowisz. Jednak ze względu na zbyt duże opóźnienia komunikacyjne, nie jest możliwe przeprowadzenie zdalnego lądowania maszyny przez człowieka oraz uniknięcia kolizji w przypadku wystąpienia komplikacji na trasie do miejsca docelowego. Stąd, nauczenie statku umiejętności kontrolowanego lądowania oraz wykonywania zautomatyzowanych manewrów wydaje się być niezwykle istotne.⁹⁹ Dalszy rozwój prac wspierających wykorzystanie technologii AI może w przyszłości otworzyć wiele możliwości związanych z długoterminową eksploracją kosmosu. W ramach podstawowych działań Europejskiej Agencji Kosmicznej przeprowadzono szereg badań nad wykorzystaniem sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej i w kierowaniu pojazdami kosmicznymi. Obecnie statki kosmiczne muszą komunikować się z ludźmi działającymi z powierzchni Ziemi, by móc wykonywać swoją pracę. Nie mniej jednak, w przypadku opracowania odpowiedniego systemu nawigacji opartego na sztucznej inteligencji możliwe by było wysyłanie pojazdów kosmicznych na dalsze obszary Układu Słonecznego, bez konieczności zdalnego sterowania ich pracą. ESA w swoich dawnych badaniach wskazuje obszary, nad którymi należy pracować w celu poprawy automatyzacji sterowania. Zalicza się do nich autonomiczna nawigacja, analiza telemetryczna oraz możliwość aktualizacji oprogramowania. Z kolei w nowych badaniach, ESA skupia się na zarządzaniu złożonymi konstelacjami, dla których badane są nowe zautomatyzowane procedury w celu zmniejszenia aktywnego obciążenia operatorów naziemnych. Automatyzacja zarówno segmentu naziemnego, jak i kosmicznego ograniczy potrzebę interwencji człowieka. Szczególnie w przypadku dużych konstelacji, automatyczne manewry

⁹⁸ A. Nevgi, *Artificial Intelligence and Space Mining: the Gateway to Infinite Riches*, www.aidaily.co.uk/articles/artificial-intelligence-and-space-mining-the-gateway-to-infinite-riches (20.05.2020).

⁹⁹ A. Townsend, *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).

unikania kolizji mogą być bardzo pomocne. Bardzo duży potencjał rozwoju w tym obszarze ma technologia deep learning. Uczenie głębokie może zostać zastosowane w celu automatycznego lądowania pojazdów kosmicznych, inteligentnego podejmowania decyzji w trakcie lotu oraz zapewnienia w pełni zautomatyzowanego systemu kontrolnego. Należący do ESA Advanced Concepts Team (ACT) jest bardzo aktywny w tym obszarze. Zespół zajmuje się badaniem obliczeń ewolucyjnych, czyli algorytmów optymalizacyjnych wzorowanych na naturalnych procesach ewolucji. Tak samo jak w przypadku ewolucji biologicznej, lepsze wyniki są zachowywane, z kolei gorsze odrzucane. Jednym z zastosowań obliczeń ewolucyjnych jest obliczanie trajektorii planet. Grupa ACT badała również zastosowanie uczenia maszynowego w obszarze doradztwa, nawigacji i kontroli. W szczególności przyjrzeni się zastosowaniu dużych rojów małych robotów, które są w stanie dzielić się swoimi informacjami w sieci. W tym przypadku, jeśli jeden z robotów na podstawie swojego doświadczenia zauważy, iż pewien manewr jest korzystny, to reszta robotów również się go nauczy.¹⁰⁰

Jednym z projektów związanych z technologią sztucznej inteligencji, realizowanym przez Europejską Agencję Kosmiczną jest planowana na 2023 rok misja Hera. Na potrzeby misji zostanie wykorzystana autonomiczna nawigacja, mająca na celu doprowadzenie sondy na asteroidę 65803 Didymos oraz do jej niewielkiego satelity Didymoon. Sztuczna inteligencja ma odpowiadać za podejmowanie decyzji dotyczących korekty kursu lotu w czasie rzeczywistym bez realizowania łączności z komputerami na Ziemi. Za autonomiczną nawigację sondy Hera odpowiedzialna jest hiszpańska spółka GMV.¹⁰¹ Obsługa i nawigacja w pobliżu planetoidy to niezwykle wymagające zadanie, ze względu na niewielkie rozmiary tych ciał, ich nieregularny kształt oraz nieznanne środowisko w jakim się znajdują. W tym celu GMV opracowuje wysoce innowacyjny autonomiczny system GNC, aby zapewnić dodatkowe bezpieczeństwo, gwarantując w ten sposób powodzenie misji.¹⁰² Europejska Agencja Kosmiczna pokłada duże nadzieje w realizacji przedsięwzięcia oraz w rozwój sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej, by w przyszłości tego typu projekty mogły być z łatwością realizowane.¹⁰³

¹⁰⁰ *Robots in space*, www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Robots_in_space2 (28.05.2020).

¹⁰¹ *Misja sondy Hera wykorzystuje doświadczenia NASA z misji Dawn*, www.esa.int/Space_in_Member_States/Poland/Misja_sondy_Hera_wykorzystuje_doswiadczenia_NASA_z_misji_Dawn (25.05.2020).

¹⁰² *GMV leads the system that “drives” the Hera Mission for planetary defence*, www.gmv.com/en/Company/Communication/PressReleases/2018/NP_030_HERA.html (20.05.2020).

¹⁰³ *Sztuczna inteligencja ułatwi badanie Kosmosu. Autonomiczne pojazdy sprawdzą się w kosmicznym górnictwie oraz w procesie monitoringu zmian klimatycznych na Ziemi*, www.innowacje.newseria.pl/news/sztuczna-inteligencja,p1026571236 (25.05.2020).

2.5 Zastosowanie sztucznej inteligencji w analizie zdjęć satelitarnych i astronomicznych

Coraz większe zainteresowanie orbitami okołozemskimi ze strony agencji kosmicznych, jak i komercyjnych firm, powoduje iż każdego roku wokół Ziemi pojawiają się kolejne satelity generujące ogromne ilości zdjęć satelitarnych. Stanowi to wyzwanie dla narzędzi do przetwarzania i analizy obrazów, gdyż dotychczasowe mechanizmy obróbki zdjęć stają się niewystarczające. W efekcie, pojawia się zapotrzebowanie na oprogramowanie, które byłoby w stanie poradzić sobie z tym problemem. Odpowiednia selekcja otrzymanych danych oraz wyciąganie z nich istotnych informacji możliwe jest dzięki zastosowaniu technologii sztucznej inteligencji. AI pozwala na bardzo precyzyjny i globalny monitoring stanu środowiska, a także daje możliwość predykcji zagrożeń, czy późniejszej oceny skutków kataklizmów. Sztuczna inteligencja może być również wykorzystana do tworzenia map gleb, zarządzania i analizy zagospodarowania gruntów, śledzenia biomasy, klasyfikacji lasów i gatunków drzew, określania zdrowia roślinności, planowania zalesienia, obserwacji stanu lodowców, czy kontroli zanieczyszczania terenów wodnych i lądowych.

Za przykład wspomaganie analizy dużych zbiorów danych przy użyciu AI może posłużyć realizowany przez polską firmę KPLabs, projekt DeepFlow. W ramach projektu utworzone zostało oprogramowanie oparte o technologię sztucznej inteligencji, które wykorzystuje głębokie sieci neuronowe, uczenie maszynowe i mechanizmy korekcji obrazów. Umożliwia ono interpretację danych satelitarnych pozyskiwanych przez satelity Sentinel i Landsat w ramach europejskiego programu Copernicus. DeepFlow automatyzuje wyszukiwanie istotnych informacji w zdjęciach nadesłanych przez satelity obserwacyjne Ziemi oraz interpretuje dane obrazowe w celu późniejszego wykorzystania ich przykładowo w rolnictwie, przemyśle czy ochronie zdrowia. Program jest w stanie odkrywać podobne wzorce na setkach lub nawet tysiącach zdjęć.¹⁰⁴ KPLabs w ramach konsorcjum FP Space pracuje również przy tworzeniu satelity Intuition-1, którego przeznaczeniem jest obserwacja powierzchni Ziemi i szukanie odpowiednich informacji w obrazach satelitarnych. Satelita wyposażony jest w hiperspektralny instrument optyczny oraz komputer pokładowy umożliwiający przetwarzanie danych przy wykorzystaniu sztucznej inteligencji opartej na konwolucyjnych sieciach neuronowych. Narzędzie to umożliwia przetwarzanie i segmentację obrazów wykonywanych w świetle widzialnym oraz w podczerwieni, jeszcze zanim

¹⁰⁴ *DeepFlow – Wspomaganie analizy dużych zbiorów danych*, www.kplabs.pl/deepflow-pl/ (25.05.2020).

zostaną wysłane na Ziemię. Znacząco ogranicza to ilość wysyłanych danych, gdyż dzięki odpowiedniej selekcji pomijane są zdjęcia, na których przykładowo, występuje zbyt duże zachmurzenie. Jak podają twórcy projektu, przetwarzanie obrazów jeszcze na pokładzie satelity, umożliwia co najmniej stukrotną redukcję ilości danych przesyłanych do stacji naziemnej.¹⁰⁵ Technologia ta może mieć szczególne znaczenie w rolnictwie precyzyjnym, gdyż dzięki obrazowaniu hiperspektralnemu możliwa jest obserwacja dużych obszarów roślinności, wykrywanie i obserwacja rozprzestrzeniania się chorób, czy kontrola skuteczności oprysku. Według planu, Intuition-1 ma się znaleźć na orbicie LEO w 2022 roku.¹⁰⁶

W odniesieniu do zastosowań sztucznej inteligencji w przewidywaniu i kontroli zagrożeń naturalnych, możliwe jest określenie miejsc z wysokim ryzykiem zapalenia oraz wykrycie ognia zanim rozprzestrzeni się na większe obszary. Na ryzyko pożaru składają się trzy czynniki – dostępności źródeł zapłonu, łatwopalności roślin oraz szybkości z jaką pożar jest w stanie rozprzestrzenić się na danym terenie. Kluczowym wyznacznikiem wszystkich tych czynników jest wilgotność w paliwach naturalnych, rozumianych tu jako roślinność występująca na danym terenie. Ze względu na coraz częstsze pożary na terenie Stanów Zjednoczonych, zespół ekspertów w dziedzinie hydrologii, teledetekcji i inżynierii środowiska opracował model sztucznej inteligencji oparty na sieciach neuronowych, który ma za zadanie pomóc w identyfikacji terenów o największym ryzyku zagrożenia. W tym celu, sztuczna inteligencja została przeszkolona przy użyciu amerykańskiej bazy danych National Fuel Moisture Database, udzielającej informacji na temat wilgotności paliw występujących w konkretnych stanach USA. Z kolei do analizy terenu AI wykorzystuje dane satelitarne otrzymywane z satelitów Sentinel-1 oraz Landsat-8.¹⁰⁷ Należący do Europejskiej Agencji Kosmicznej satelita Sentinel-1 wyposażony jest w aktywne czujniki SAR pasma C, które działają na zasadzie teledetekcji. Polega to na wysłaniu sygnału w kierunku badanego obszaru, który następnie odbija się i wraca do satelity w formie informacji zwrotnej. Satelita wysyła sygnał mikrofalowy do oświetlenia powierzchni Ziemi, dzięki czemu obserwacja badanego obszaru jest możliwa niezależnie od warunków pogodowych czy

¹⁰⁵ *Intuition-1 – Przetwarzanie obrazów hiperspektralnych na orbicie*, www.kplabs.pl/intuition-1-pl/ (25.05.2020).

¹⁰⁶ *Ruszają prace nad polskim komercyjnym satelitą Intuition-1*, news.astronet.pl/index.php/2018/02/16/ruszaja-prace-nad-polskim-komercyjnym-satelita-intuition-1/ (25.05.2020); *Polskie oprogramowanie najlepsze do interpretacji obrazów satelitarnych*, www.dzienniknaukowy.pl/nauka-w-polsce/polskie-oprogramowanie-najlepsze-do-interpretacji-obrazow-satelitarnych (25.05.2020).

¹⁰⁷ J. Garthwaite, *Mapping dry wildfire fuels with AI and new satellite data*, www.phys.org/news/2020-05-wildfire-fuels-ai-satellite.html (25.05.2020).

ilości światła słonecznego.¹⁰⁸ Z kolei amerykański satelita Landsat-8 pozwala na uzyskanie obrazów w świetle widzialnym oraz w podczerwieni.¹⁰⁹

Warto również wspomnieć o projekcie realizowanym przez Massachusetts Institute of Technology (MIT) we współpracy z Qatar Computing Research Institute (QCRI). Tworzenie szczegółowych map ulic i ich aktualizowanie jest kosztownym i czasochłonnym zadaniem wykonywanym głównie przez duże firmy. Z tego względu, pomijane są miejsca, w których nie jest to opłacalne. Jednakże, ciągła aktualizacja map drogowych jest konieczna dla zapewnienia skuteczności systemu nawigacji. Aby zautomatyzować ten proces i udostępnić wysokiej jakości mapy dostępne dla dowolnego kraju, badacze z MIT oraz QCRI opracowali model sztucznej inteligencji o nazwie RoadTagger. Model ten wykorzystuje zdjęcia satelitarne do oznaczania obiektów drogowych na mapach cyfrowych, co może pomóc w ulepszeniu systemu nawigacji GPS. Dzięki coraz większej ilości satelitów obserwujących powierzchnię Ziemi, aktualizacja map może się odbywać z dużą częstotliwością, stąd źródło danych do mapowania dróg jest coraz bardziej aktualne i łatwo dostępne. Jednak niektóre obszary mogą nie być zbyt dobrze widoczne na zdjęciach satelitarnych, na przykład mogą być częściowo zasłonięte przez drzewa, budynki lub inne przeszkody. RoadTagger rozwiązuje ten problem, używając sieci neuronowych do przewidywania ukrytych elementów. Testowanie modelu z cyfrowymi mapami 20 amerykańskich miast wykazało, iż program był w stanie przewidzieć liczbę pasów drogowych z dokładnością 77% oraz typ drogi z dokładnością 93%. RoadTagger, który łączy spłotową sieć neuronową (CNN) i graficzną sieć neuronową (GNN), jest zasilany tylko surowymi danymi i automatycznie wytwarza dane wyjściowe, bez ingerencji człowieka. Spłotowa sieć neuronowa jest powszechnie używana do przetwarzania obrazów, z kolei graficzna sieć neuronowa znajduje zastosowanie w tworzeniu zależności między węzłami na wykresach. W przypadku tego projektu, dzieli drogę na około 20-metrowe segmenty, gdzie każdy z nich jest osobnym węzłem graficznym. Jeśli na określonym segmencie droga jest zasłonięta, RoadTagger wykorzystuje informacje z pozostałych segmentów znajdujących się wzdłuż drogi, by przewidzieć co znajduje się na danym obszarze. Przykładowo, jeśli część czteropasmowej drogi zasłonięta jest przez drzewa, program jest w stanie wywnioskować, że w danym segmencie droga nadal jest czteropasmowa.¹¹⁰

¹⁰⁸ *Sentinel-1*, www.sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1 (26.05.2020).

¹⁰⁹ *Landsat-8*, www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (25.05.2020).

¹¹⁰ R. Matheson, *Using artificial intelligence to enrich digital maps*, news.mit.edu/2020/artificial-intelligence-digital-maps-0123 (28.05.2020).

Udostępnienie kierowcom szczegółowych informacji o ich trasach może pomóc w nawigacji w nieznanymi lokalizacjach. Przykładowo, kontrola ilości pasów drogowych może umożliwić systemowi ostrzeżenie kierowców o rozbieżności lub łączeniu się pasów. Naukowcy planują również wprowadzić inne funkcje, takie jak wyszukiwanie miejsc parkingowych i ścieżek rowerowych. Informowanie o ilości miejsc parkingowych umożliwi planowanie z wyprzedzeniem postojów, a mapowanie ścieżek rowerowych może pomóc rowerzystom w pokonywaniu zatłoczonych ulic miast. Przekazywanie aktualnych informacji o warunkach drogowych może również usprawnić planowanie pomocy w przypadku wystąpienia wypadku bądź różnego rodzaju kataklizmów wymagających szybkiej ewakuacji.

Zastosowanie sztucznej inteligencji może również pomóc w badaniu przestrzeni kosmicznej. Rozwój sektora kosmicznego przyczynił się do wielu odkryć wcześniej niezobserwowanych ciał niebieskich, co przyczynia się do zwiększania stale rosnących astronomicznych zbiorów danych. Podobnie jak w przypadku analizy obrazów satelitarnych Ziemi, AI może być wykorzystana do analizy nowo pozyskanych obrazów kosmosu, w celu identyfikacji oraz klasyfikacji galaktyk i gwiazd. Stąd, naukowcy z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Cruz opracowali narzędzie, jakim jest program Morpheus, którego przeznaczeniem jest pomoc astronomom w uzyskiwaniu informacji odnośnie tego jak tworzą się i ewoluują w czasie galaktyki. Morpheus bazuje na technologii deep learning, która umożliwia sztucznej inteligencji skanowanie obrazów w celu pozyskiwania informacji na temat obiektów znajdujących się na zdjęciu. Człowiek nie byłby w stanie przeanalizować tak dużych ilości danych, dlatego użycie odpowiedniego narzędzia jakim jest sztuczna inteligencja, wydaje się być niezbędnym rozwiązaniem.¹¹¹

Użyciem technologii AI w badaniu przestrzeni kosmicznej interesuje się również NASA. Agencja kosmiczna we współpracy z pionierami w dziedzinie sztucznej inteligencji, takimi jak Intel, IBM czy Google, stara się stworzyć narzędzie, które dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów komputerowych pomoże w poszerzaniu wiedzy na temat kosmosu. Narzędzie miałyby analizować zdjęcia pozyskane z teleskopów i obserwatoriów astronomicznych, takich jak Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, który ma być następcą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a.¹¹² W tworzeniu najnowocześniejszego

¹¹¹ T. Stephens, *Powerful new AI technique detects and classifies galaxies in astronomy image data*, <https://phys.org/news/2020-05-powerful-ai-technique-galaxies-astronomy.html> (25.05.2020).

¹¹² *James Webb Space Telescope – Frequently Asked Questions*, www.jwst.nasa.gov/content/about/faqs/faq.html#ltwo (25.05.2020).

narzędzia badawczego, NASA Frontier Development Lab (FDL) zaprasza innowatorów technologicznych i kosmicznych na osiem tygodni każdego lata w celu opracowania kodu komputerowego, który byłby w stanie sprostać ich oczekiwaniom. Oprócz specjalistów z największych światowych firm technologicznych, FDL zrzesza również początkujących doktorantów nauk ścisłych i inżynierii komputerowej oraz ekspertów z agencji kosmicznej i środowisk akademickich. Wszelkie techniki sztucznej inteligencji opracowane w ramach projektu będą publicznie dostępne, by wspomóc naukowców chcących badać atmosferę egzoplanet lub planet znajdujących się poza Układem Słonecznym. Niektóre z technologii już pomagają w identyfikacji asteroid, wyszukiwaniu planet i przewidywaniu ekstremalnych wyników promieniowania słonecznego. Naukowcy mają nadzieję, iż zaawansowane techniki uczenia maszynowego pozwolą na interpretację danych, która ujawnią skład chemiczny egzoplanet w oparciu o długości fal światła emitowanego lub absorbowanego przez cząstki w ich atmosferach. Do tej pory odkryto tysiące egzoplanet, stąd odpowiednia selekcja może pomóc w wybraniu planet, które zasługują na dalsze, kosztowne badania.

Jednym z efektów pracy FDL był program opracowany w 2017 przez zespół składający się ze studentów Francji, Afryki Południowej i Stanów Zjednoczonych oraz ekspertów ze środowiska akademickiego i firmy technologicznej Nvidia. Program ten opierał się na technologii uczenia maszynowego i był w stanie w krótkim czasie tworzyć trójwymiarowe modele pobliskich asteroid dokładnie oceniając ich kształty, rozmiary i prędkość rotacji. Tradycyjne narzędzia astronomiczne przeznaczone do opracowywania modeli 3D pozwalały kształtować asteroidę w czasie od jednego do trzech miesięcy. Działanie programu opierało się na analizie wielu pomiarów radarowych poruszającej się asteroidy, by następnie pomóc naukowcom we wnioskowaniu o jej właściwościach fizycznych na podstawie zmian sygnału radarowego. Z kolei sztucznej inteligencji wygenerowanie potrzebnych informacji zajmuje zaledwie cztery dni. Informacje te mają kluczowe znaczenie dla NASA w wykrywaniu i odbijaniu groźnych planetoid kierujących się w stronę Ziemi, stąd dążenie do zminimalizowania czasu potrzebnego na odpowiednie poznanie asteroidy jest jak najbardziej zasadne.¹¹³

Większość projektów polega na wykorzystywaniu zdjęć satelitarnych dostępnych w ramach różnych programów, jak chociażby Copernicus realizowany przez Europejską Agencję Kosmiczną. Zdjęcia satelitarne wpieryw przesyłane są na Ziemię, by następnie

¹¹³ *NASA Takes a Cue From Silicon Valley to Hatch Artificial Intelligence Technologies*, www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-takes-a-cue-from-silicon-valley-to-hatch-artificial-intelligence-technologies (25.05.2020).

po udostępnieniu ich do baz danych, mogły zostać przeanalizowane przez sztuczną inteligencję. Jednak podobnie jak w przypadku wcześniej wspomnianego satelity Intuition-1, również i projekt zrealizowany przez NASA pokazał, iż sztuczna inteligencja może działać na pokładzie satelity. W 2017 roku wulkanolodzy zwrócili się z prośbą do NASA o zarejestrowanie procesu erupcji wulkanu Erta Ale w Etiopii. Jak się okazało, autonomiczny satelita Earth Observing 1 (EO-1) zaalarmowany przez innego satelitę sam wymusił zmianę koordynantów na wulkan Erta Ale, po czym rozpoczął zbieranie danych jeszcze zanim prośba ze strony naukowców została wystosowana.

EO-1 to autonomiczny satelita wykorzystujący eksperymentalne oprogramowanie Autonomous Sciencecraft Experiment (ASE), które samodzielnie podejmuje decyzje o tym, jakie dane należy zebrać, przetworzyć i wysłać z powrotem na Ziemię. ASE zostało opracowane w 2003 roku przez Jet Propulsion Laboratory NASA. Oprogramowanie składa się z trzech głównych komponentów opartych na technologii uczenia maszynowego. Pierwszym z nich są algorytmy naukowe przeznaczone do analizy danych obrazowych, które stosowane są w celu wykrywania zdarzeń, interesujących zjawisk, zmian jakie zaszły na badanym obszarze w porównaniu do poprzednich obserwacji oraz detekcji chmur. Drugim komponentem jest oprogramowanie wykorzystujące język SCL (Spacecraft Command Language), przeznaczone do sterowania satelitą. Umożliwia przetwarzanie zdarzeń i sterowanie na niskim poziomie autonomiczny. Ostatnim elementem systemu ASE jest oprogramowanie CASPER (Continuous Activity Scheduling Planning Execution and Replanning), odpowiedzialne za planowanie działań na podstawie obserwacji naukowych z poprzednich okrążeń orbitalnych. Związane jest również z komunikacją satelitarną typu Downlink, czyli przesyłaniem danych do urzędów końcowych (odbiorców).¹¹⁴

Program przeznaczony był do badania klęsk żywiołowych na całym świecie – zarówno ich przebiegu, jak i skutków. W przypadku wystąpienia zjawiska, miał nakierowywać satelitę w konkretne miejsce i automatycznie wymuszać wykonywanie zdjęć podczas kolejnych przelotów nad danym punktem. Sztuczna inteligencja umożliwia wybranie priorytetów w zależności od zaistniałego zdarzenia, co pozwala na przechwycenie cennych danych naukowych. ASE pomógł naukowcom zbadać erupcję Islandzkiego wulkanu oraz prześledzić skutki wybuchu w postaci chmur pyłów, które znalazły się nad Europą w 2010 roku, a także śledził katastrofę powodziową w Tajlandii. Dodatkowo, ASE zarządzał siecią złożoną z innych satelitów oraz czujników naziemnych, które były w ciągłej komunikacji ze sobą, co umożliwiało wykrycie różnych zjawisk, w krótszym czasie niż gdyby wykorzy-

¹¹⁴ ASE, ase.jpl.nasa.gov/ (28.05.2020).

stać do tego tylko jednego satelity. Earth Observing 1 zakończył swoją pracę w 2017 roku pozostawiając cenne dane o dużym potencjale rozwojowym dla programów sztucznej inteligencji, które mogą posłużyć do pozyskiwania informacji na temat przestrzeni kosmicznej. ASE pokazuje, że sztuczna inteligencja znacznie przyczynia się do poprawy jakości zbieranych danych naukowych oraz stanowi dobre narzędzie podejmowania decyzji, co może być wykorzystywane w misjach kosmicznych gdy transmisja danych jest utrudniona, a należy podjąć konkretne działania.¹¹⁵

Ze względu na coraz większą komercjalizację sektora kosmicznego oraz duże zainteresowanie wykorzystywaniem danych satelitarnych, zarówno przez sektor prywatny, jak i publiczny, liczba potencjalnych zastosowań sztucznej inteligencji w analizie zdjęć satelitarnych będzie ciągle rosła. W niniejszej pracy zostały przedstawione tylko wybrane projekty, jednakże zastosowań tej technologii jest znacznie więcej. Najważniejszą funkcją, jaką łączą wszystkie projekty, jest inteligentna selekcja danych. Umożliwia ona wybranie tylko tych informacji, które wydają się być najbardziej istotne, przy jednoczesnym pozbyciu się danych zbędnych. Jest to bardzo ważne ze względu na generowanie znacznych ilości informacji, które zajmują coraz więcej pamięci, jednocześnie nie wnosząc żadnej wiedzy dla badanego tematu. Dodatkowo, w przypadku analizy zdjęć przeprowadzanej jeszcze na pokładzie satelity, sztuczna inteligencja umożliwia przesyłanie już wyselekcjonowanych danych, co znacznie przyspiesza zdobywanie informacji. O ile przesyłanie ogromnych ilości zdjęć satelitarnych wykonanych na orbitach okołoziemskich nie jest zbyt dużym problemem, to jednak w odniesieniu do satelitów znajdujących się w dalszych obszarach Układu Słonecznego ma to duże znaczenie. Dłuższy czas przesyłania danych motywuje do odpowiedniego selekcjonowania zdjęć, dzięki czemu prowadzenie badań w tym temacie wydaje się być niezwykle istotne. W odniesieniu do logistyki kosmicznej, inteligentna analiza zdjęć satelitarnych może dać wiele informacji na temat ciał niebieskich znajdujących się w Układzie Słonecznym. Odpowiednie mapowanie terenu może wskazać interesujące obszary oraz zaplanować trasy dojazdu do tych miejsc, co może pomóc w przyszłych misjach kosmicznych.

¹¹⁵ *How A.I. Captured a Volcano's Changing Lava Lake*, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6788 (28.05.2020).

2.6 Bariery rozwojowe sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej

Pomimo tego, iż sztuczna inteligencja jest bardzo obiecującą technologią, to nadal stoi przed nią wiele wyzwań. Jest to wciąż rozwijająca się dziedzina, a co za tym idzie, na jej systemach nie można jeszcze w pełni polegać. Algorytmy AI mają charakter samouczący się, z tego względu ich skuteczność opiera się na doświadczeniu, jakie system jest w stanie zdobyć. To z kolei wymaga dużych ilości danych oraz miesięcy, czy nawet lat pracy. Sztuczna inteligencja jest w fazie dynamicznego wzrostu, stąd jest wykorzystywana w projektach kosmicznych w formie eksperymentalnej. Przekłada się to również na to, iż pod wieloma względami jest niesprawdzona, gdyż brakuje wystarczającej ilości testów, by móc mówić o jej niezawodności. Sztuczna inteligencja uczy się na błędach, a z im bardziej zaawansowanych metod korzysta, tym istnieje większe prawdopodobieństwo, że te błędy podczas nauki wystąpią. Stanowi to problem zwłaszcza przy zastosowaniu technologii deep learning. Uczenie głębokie daje wiele możliwości, zwłaszcza w nieznanym środowisku, gdzie sztuczna inteligencja sama musi wyciągnąć wnioski z pozyskanych danych, jednak nie pozwala na wgląd do wyników, na których podstawie AI podejmuje decyzje. Z tego względu, planowanie całych misji opartych na decyzjach sztucznej inteligencji wydaje się być ryzykowne. Również złożony charakter logistyki kosmicznej stanowi tu problem. Istnieje znaczne opóźnienie między zastosowaniem nowych technologii na Ziemi, a wdrożeniem ich w procesy logistyki kosmicznej. Wynika to z tego faktu, iż rynek ziemski jest bardziej dostępny dla komercyjnych firm oraz nie wymaga takich nakładów finansowych, jak ma się to w przypadku sektora kosmicznego. Wszystkie technologie, które mają mieć potencjalne zastosowanie w kosmosie, muszą wpieryw zostać odpowiednio przetestowane na powierzchni Ziemi. Jest to ważne, gdyż w przypadku wystąpienia błędów jeszcze przed wysłaniem technologii w kosmos, możliwe jest wprowadzenie odpowiednich zmian. Istotnym problemem jest również moc obliczeniowa statku kosmicznego, która w przypadku sond kosmicznych jest znacznie ograniczona. Przetwarzanie danych odbywa się ze znacznie mniejszą prędkością niż ma się to w przypadku przeciętnego komputera domowego. Przekłada się to na możliwości sztucznej inteligencji co do reagowania na zdarzenia oraz na sprawną analizę danych. Wpływa to również na możliwości ruchowe autonomicznych robotów. Obecny poziom zaawansowania technologicznego robotyki nie pozwala maszynom na wykonywanie zręcznych ruchów, jakich wymagałoby się od robotów w realizacji ich zadań w trakcie misji kosmicznych. Teoretycznie łaziki marsjańskie, takie jak na przykład Curiosity, mogą samodzielnie poruszać się na dużych odległościach na powierzchni

Marsa, jednak ich algorytmy sztucznej inteligencji zostały zaprojektowane wyjątkowo zachowawczo. W przypadku wykrycia problemu na trasie, łazik zatrzymuje się i przechodzi w tryb bezpieczny, by następnie kontroler przejął nad nim sterowanie. Również projekt FEDOR pokazał, iż aktualnie roboty nie są w stanie zastąpić astronautów. Jednakże rozwój robotyki idzie w dobrym kierunku, o czym świadczy wiele projektów realizowanych przez agencje kosmiczne z całego świata.¹¹⁶

Podsumowując, sztuczna inteligencja daje bardzo duże perspektywy rozwojowe dla sektora kosmicznego, a jej dynamiczny rozwój może przyczynić się do wielu nowych odkryć oraz do zautomatyzowania pracy w kosmosie. Jednak przed tą technologią stoi jeszcze wiele barier, które będzie można ominąć wraz z rozwojem technologicznym, realizacją misji kosmicznych, współpracą międzynarodową oraz zachęcaniem sektora prywatnego do poszerzenia działalności o sektor kosmiczny.

¹¹⁶ A. Townsend, *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).

Rozdział 3. Perspektywy rozwoju sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej

3.1 Charakterystyka badań

Niniejszy rozdział poświęcony jest omówieniu wyników badań przeprowadzonych w formie elektronicznej przy wykorzystaniu kwestionariusza ankietowego. Grupa respondentów składała się z przedstawicieli 12 polskich firm informatycznych zajmujących się prowadzeniem prac badawczych nad rozwojem sztucznej inteligencji, jak i świadczeniem usług opartych o tę technologię.

Głównym celem badań było wskazanie zastosowań technologii AI w sektorze kosmicznym, w szczególności w odniesieniu do logistyki kosmicznej. Z kolei celem dodatkowym była analiza rozwoju firm zajmujących się sztuczną inteligencją w Polsce oraz zbadanie ich zainteresowania poszerzeniem działalności o świadczenie usług dla sektora kosmicznego.

Problem badawczy sprowadza się do pytania „Czy sztuczna inteligencja ma potencjał rozwoju w logistyce kosmicznej?” oraz jeśli tak, to „w jakich obszarach powinna być stosowana?”.

Hipoteza badawcza postawiona przed przeprowadzeniem badań brzmi następująco: Technologie AI mają wiele potencjalnych zastosowań w odniesieniu do logistyki kosmicznej, a ich stosowanie może znacznie usprawnić procesy związane z realizacją misji kosmicznych.

Kwestionariusz ankietowy podzielony został na cztery główne sekcje. Pierwsza z nich miała na celu pozyskanie informacji na temat badanych przedsiębiorstw, takich jak wielkość firmy, typ działalności, rodzaj i pochodzenie kapitału, poziom wykorzystania zewnętrznych źródeł finansowania oraz czas obecności na rynku. Z kolei druga sekcja skupiała się na charakterystyce działalności firm w zakresie sztucznej inteligencji. W tej części respondenci mieli udzielić informacji na temat technologii AI, na których opierają się produkty tworzone przez firmę, przeznaczenia produktów i usług, sektorów gospodarki, w jakich działają klienci firm oraz trudności wynikających z prowadzenia działalności w sektorze AI w Polsce. Kolejna sekcja miała na celu wskazać kierunek rozwoju sztucznej inteligencji oraz potencjalny wpływ sektora sztucznej inteligencji na polską gospodarkę. Respondenci zostali spytani, w jakiej fazie aktualnie znajduje się rozwój technologii AI w Polsce, jakie ich zdaniem instytucje bądź organizacje powinny zajmować się prowadzeniem badań związanych z inteligentnymi systemami oraz jakie skutki dla gospodarki może mieć rozwój sektora sztucznej inteligencji. Wśród wymienionych skutków, które miały podlegać

ocenie znajdują się: zmniejszenie zapotrzebowania na zasoby ludzkie w firmach, poprawa efektywności kosztowej działalności, przyczynienie się do zwiększenia postępu technologicznego w Polsce, poprawa wydajności procesów, zwiększenie bezpieczeństwa pracy oraz bezpieczeństwa informacyjnego, tworzenie ukrytych błędów, doprowadzenie do zaniku umiejętności krytycznego myślenia i rozumowania, a także utrata kontroli. Ostatnia, czwarta sekcja, miała ukazać potencjalne zastosowania sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej, jakie jest zainteresowanie firm świadczeniem usług dla sektora kosmicznego oraz zdanie respondentów na temat wykorzystania technologii AI w kosmosie.

3.2 Prezentacja wyników badań

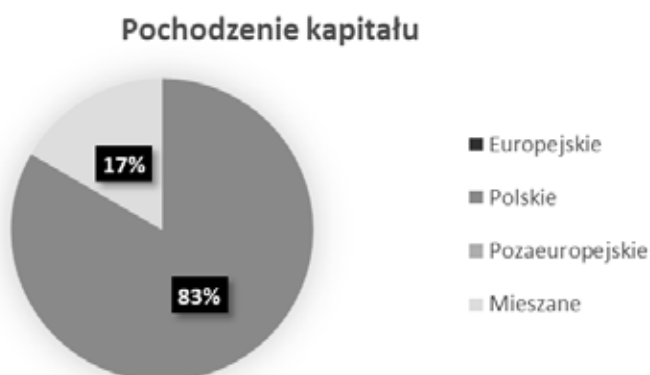
W badaniu wzięło udział 12 polskich firm związanych z działalnością informatyczną opartą na technologii sztucznej inteligencji. Połowę recenzentów stanowią małe firmy zatrudniające do 50 pracowników, z kolei 42% to mikrofirmy. Wśród badanych firm jest również jedno przedsiębiorstwo zatrudniające do 250 pracowników. 33% firm działa na rynku od 3 do 5 lat, 25% od 6 do 10 lat, 17% od roku do 2 lat, a z kolei aż 3 przedsiębiorstwa wskazały obecność na rynku dłuższą niż 10 lat. Jak można zauważyć na poniższym wykresie (Rysunek 6), większość z ankietowanych firm prowadzi działalność usługową. Jedna z firm jako rodzaj działalności wskazała działalność produkcyjną, z kolei 3 inne firmy, jednostkę badawczo-naukową.



Rysunek 6. Rodzaj działalności badanych firm

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Przeważająca ilość firm (83%) jako rodzaj kapitału wskazała kapitał prywatny, z kolei pozostałe 17% korzysta z kapitału mieszanego. Jak widać na znajdującym się na następnej stronie rysunku 7, głównym kapitałem jest kapitał polski (83%), jednak pojawia się również kapitał mieszany (17%). Na kolejnym wykresie przedstawiającym poziom wykorzystania zewnętrznych źródeł finansowania, takich jak na przykład fundusze unijne (Rysunek 8), przeważają dotacje do 5%. Odpowiedź tą wskazało 7 firm.



Rysunek 7. Pochodzenie kapitału firm

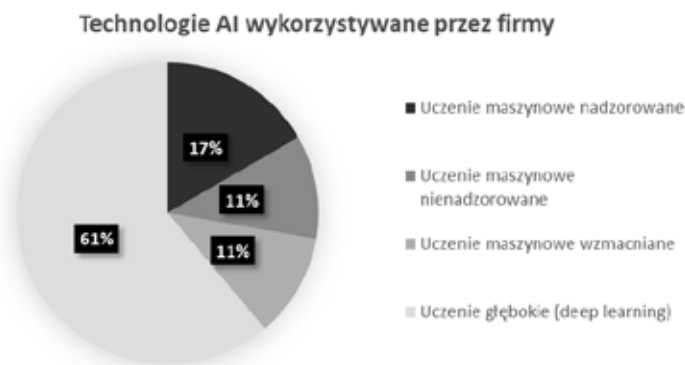
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.



Rysunek 8. Poziom wykorzystania zewnętrznych źródeł finansowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

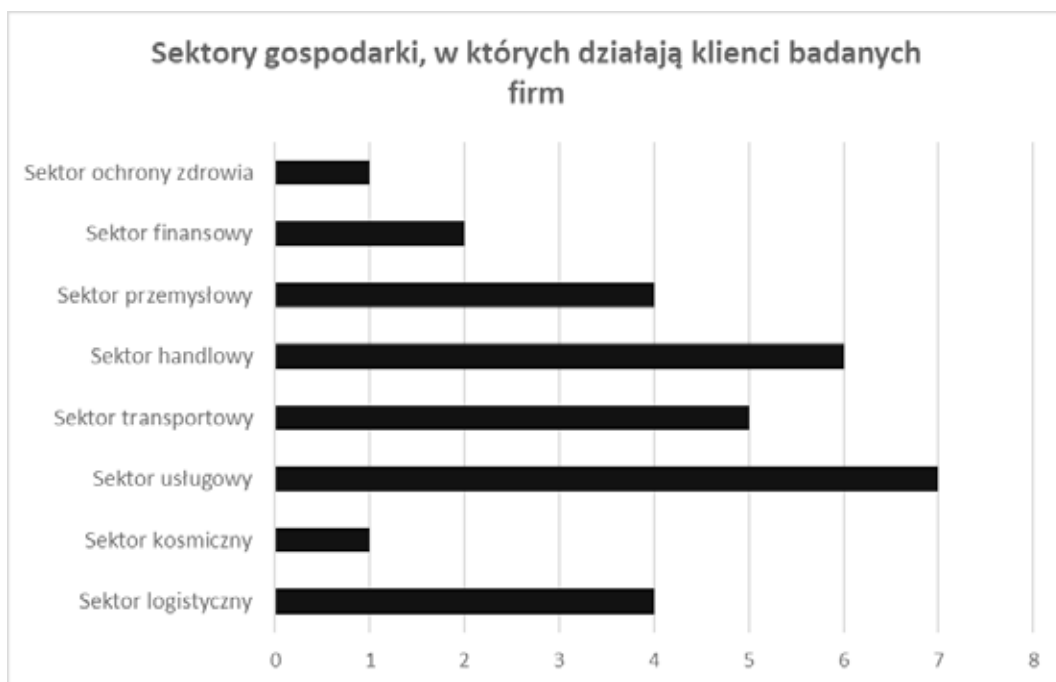
Firmy spytane o technologie, na której opierają swoje produkty oraz usługi, najczęściej wybierały uczenie głębokie. Taką odpowiedź podało 11 z 12 przebadanych firm. Innymi wybieranymi technologiami były uczenie maszynowe nadzorowane (17%) uczenie maszynowe nienadzorowane (11%) oraz uczenie maszynowe wzmacniane – również 11%. Dwie z badanych firm korzystają ze wszystkich wymienionych technologii. Na następnym wykresie ukazany został rozkład procentowy wykorzystywanych rodzajów sztucznej inteligencji (Rysunek 9).



Rysunek 9. Technologie AI wykorzystywane przez firmy

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

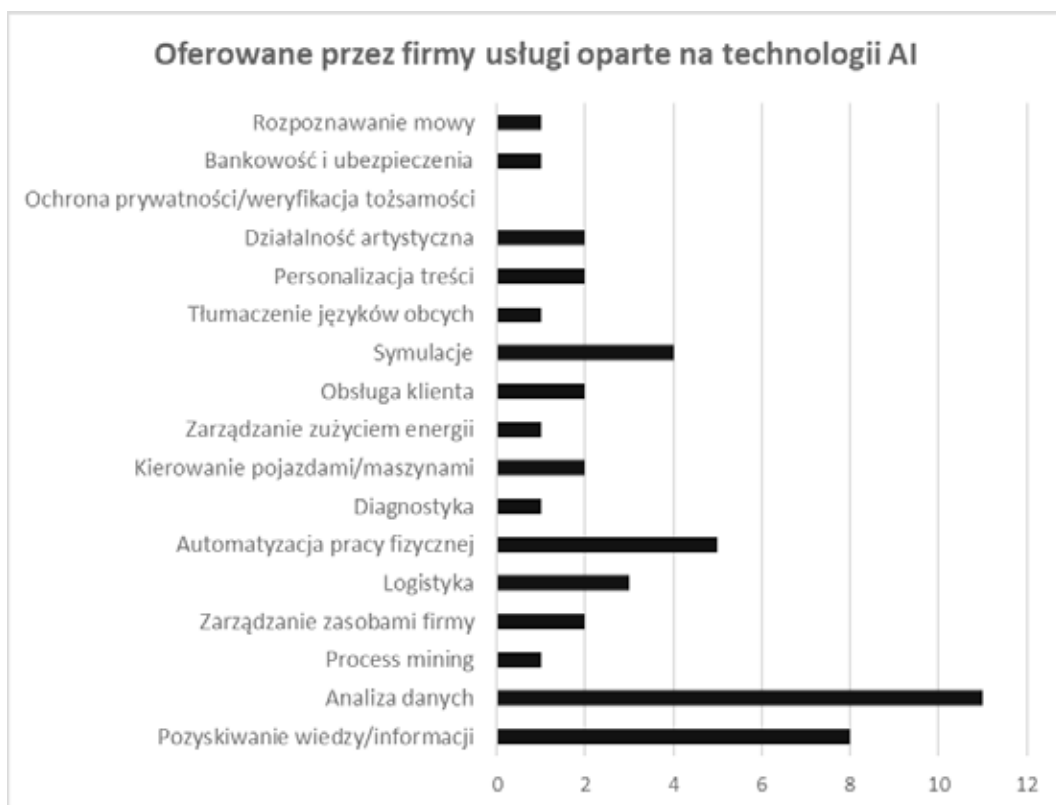
Głównymi klientami ankietowanej grupy są firmy działające w sektorze usługowym, handlowym i transportowym. Innymi sektorami, z których pochodzą klienci są: sektor przemysłowy, logistyczny, finansowy, ochrony zdrowia, czy nawet sektor kosmiczny. Dla sektora kosmicznego swoje usługi świadczy jedna firma. Poniższy wykres przedstawia ile firm świadczyło swoje usługi dla konkretnych sektorów gospodarki (Rysunek 10).



Rysunek 10. Sektory gospodarki, w których działają klienci badanych firm.

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań.

Na rysunku 11 zostały przedstawione usługi oferowane przez firmy, których działanie opiera się na sztucznej inteligencji. Najwięcej respondentów wybrało analizę danych (11), pozyskiwanie wiedzy oraz informacji (8), a także automatyzację pracy fizycznej (5). Są to bardzo istotne obszary z punktu widzenia logistyki kosmicznej, gdyż zarówno analiza danych, jak i pozyskiwanie informacji mają duże znaczenie w badaniu przestrzeni kosmicznej. Z kolei automatyzacja pracy fizycznej jest bardzo istotna w odniesieniu do wykorzystywania maszyn w przemyśle kosmicznym. Innymi bardzo ważnymi obszarami w kontekście eksploracji Układu Słonecznego są: logistyka, zarządzanie zasobami, diagnostyka, kierowanie maszynami oraz zarządzanie zużyciem energii. Tylko 3 firmy jako jedną z oferowanych usług wskazały logistykę, jednak 42% respondentów uważa, iż ich produkty mogą mieć zastosowanie logistyczne. Obszarami działania związanymi z wykorzystaniem AI w procesach logistycznych były między innymi: gospodarka magazynowa, czyli wszelkie działania mające za zadanie usprawnić pracę w magazynie, a także optymalizacja kosztów oraz analizy transportowe skupiające się na monitorowaniu przemieszczania się ludzi.



Rysunek 11. Oferowane przez firmy usługi oparte na technologii AI

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Firmy wskazały również trudności związane z prowadzeniem działalności w sektorze sztucznej inteligencji w Polsce. Największy problem stanowią finanse – taką odpowiedź wskazała aż połowa badanych przedsiębiorstw. Duży problem stanowią też zagadnienia technologiczne, gdyż sztuczna inteligencja nadal jest w fazie rozwoju – 58% firm uznało, iż AI jest w fazie dynamicznego wzrostu, z kolei pozostałe 42% uważa, że technologia ta jest dopiero w fazie narodzin – stąd, wszelkie rozwiązania oparte na tej technologii są nadal testowane. Innymi trudnościami w prowadzeniu działalności w tym sektorze są problemy prawne oraz poznawcze. Jedna z firm zwróciła uwagę na mały popyt na dane usługi, z kolei druga, na małą ilość realnych zastosowań AI. Tylko jedna firma, świadcząca usługi dla sektora przemysłowego oraz bankowości, nie doświadczyła żadnych problemów wynikających z charakteru danej działalności, jednak może się to wiązać z krótkim prowadzeniem działalności (1-2 lata). Na obrazku poniżej zostały zaprezentowane odpowiedzi wybierane przez respondentów (Rysunek 12).



Rysunek 12. Trudności w prowadzeniu działalności w sektorze AI w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Zdaniem respondentów, prowadzeniem badań nad rozwojem sztucznej inteligencji powinny zajmować się przede wszystkim przedsiębiorstwa prywatne (38%) oraz uczelnie wyższe (31%). Wśród wskazywanych odpowiedzi znajdowały się również państwowe instytuty badawcze (17%), przedsiębiorstwa publiczne (10%) oraz organizacje pozarządowe (4%). Dane te zostały zaprezentowane na kolejnym wykresie (Rysunek 13).



Rysunek 13. Instytucje i organizacje, które zdaniem badanych firm powinny prowadzić badania nad rozwojem AI

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Następne pytania związane były z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w sektorze kosmicznym oraz perspektyw rozwoju polskiego sektora firm informatycznych w działalności kosmicznej. 25% badanych firm wskazało, że współpracuje z firmami bądź instytucjami z sektora kosmicznego, z kolei jak można zauważyć na rysunku 10, tylko jedna firma posiada klienta z tego sektora. Jak wskazywali respondenci, współpraca jest głównie związana z analizą obrazów satelitarnych oraz selekcją danych. Bardzo istotna z perspektywy badanego tematu wydaje się być wiedza o poziomie zainteresowania firm świadczeniem usług dla sektora kosmicznego. Firmy, które już wcześniej współpracowały z tym sektorem, nadal wyrażają chęci do dalszej współpracy, z kolei 8 firm zainteresowanych jest poszerzeniem swoich działań o świadczenie usług związanych z działalnością kosmiczną. Łącznie, 92% badanych przedsiębiorstw wykazało zainteresowanie sektorem kosmicznym. Jak można zauważyć na następnym wykresie (Rysunek 14), czynnikiem, który ma największy wpływ na chęć świadczenia usług dla sektora kosmicznego, jest popyt. Odpowiedź tą zaznaczyło 40% respondentów. Istotnymi czynnikami są również dofinansowania, wysoka rentowność współpracy oraz duże znaczenie społeczne współpracy. Żadna z firm za istotny czynnik nie podała gwarancji stałej współpracy.

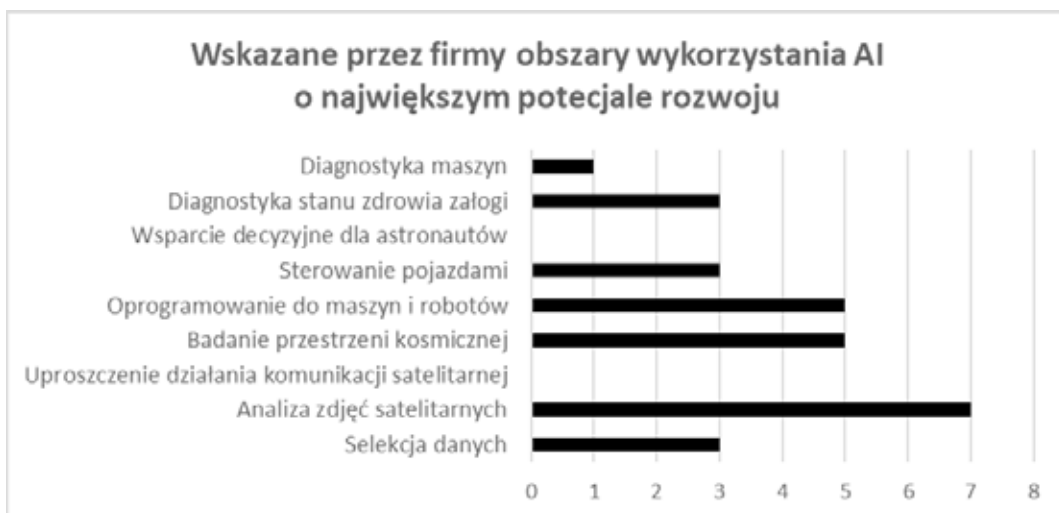


Rysunek 14. Czynniki wpływające na chęć świadczenia usług dla sektora kosmicznego

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Aż 10 z 12 przedsiębiorstw uważa, iż zastosowanie sztucznej inteligencji w sektorze kosmicznym ma potencjał rozwoju, z kolei 2 firmy nie mają zdania na ten temat. Z wykresu znajdującego się poniżej (Rysunek 15) wynika, iż obszary, w których technologia ta ma największy potencjał rozwoju to: analiza zdjęć satelitarnych, badanie przestrzeni

kosmicznej oraz oprogramowanie do maszyn i robotów. Ankietowani wskazali również takie zastosowania jak: selekcja danych, autonomiczne sterowanie pojazdami, diagnostyka stanu zdrowia załogi oraz diagnostyka stanu maszyn.



Rysunek 15. Wskazane przez firmy obszary wykorzystania AI o największym potencjale rozwoju

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Skutki korzystania z technologii sztucznej inteligencji nie są jeszcze w pełni poznane, gdyż technologia ta stale się rozwija oraz nie jest jeszcze na takim poziomie rozwoju, by w pełni można było polegać na jej systemach. Jednak na podstawie doświadczenia zebranego przez firmy działające w branży AI można określić potencjalne skutki wynikające z ekspansji technologii sztucznej inteligencji na coraz to więcej obszarów życia.

Na pytanie czy stosowanie sztucznej inteligencji w systemach może doprowadzić do utraty kontroli, respondenci w większej części odpowiedzieli przecząco. Tylko jedna firma uważa, iż potencjalnie może dojść do takiej sytuacji, z kolei 2 firmy nie mają zdania na ten temat. Podobne wyniki można zauważyć w odpowiedzi na pytanie odnośnie zaniku umiejętności krytycznego myślenia i rozumowania – większość firm uważa, że do takiej sytuacji nie dojdzie. Stosowanie sztucznej inteligencji nadal wymaga pewnego rodzaju kontroli ze strony człowieka oraz konieczności analizy wiedzy pozyskanej w skutek działań AI. Sztuczna inteligencja może zauważać rzeczy, których człowiek nie jest w stanie dostrzec, jednak to od człowieka zależy co z tą wiedzą zrobi oraz jakie podejmie kroki.

Istotną kwestią, która może zaważyć o powodzeniu misji kosmicznej, czy działaniu przedsiębiorstwa, jest niezawodność oprogramowania. W przypadku sztucznej inteligencji, przekazanie pełnej kontroli może się wiązać z ryzykiem podejmowania przez program nieodpowiednich decyzji, co w efekcie może doprowadzić do zakończenia misji bądź nawet narażenia zdrowia załogi lub zniszczenia sprzętu. Potencjalne błędy wynikają z braku możliwości przeanalizowania schematu decyzyjnego programu (w przypadku uczenia głębokiego) bądź z braku istotnych danych, z których sztuczna inteligencja mogła czerpać informacje. Za przykład może posłużyć sytuacja, w której algorytmy sztucznej inteligencji analizują zdjęcia satelitarne. Program może przeanalizować bardzo duże zbiory danych, zdobywając dzięki nim potrzebną wiedzę, jednak wśród tych danych może zabraknąć jednego istotnego czynnika, który mógłby całkowicie zmienić podejmowane przez program decyzje. Jednak według badanych firm, błędy te występują stosunkowo rzadko bądź są niwelowane jeszcze w fazie testów, przez co programy cechują się większą niezawodnością niż ma się to w przypadku pracy ludzkiej.

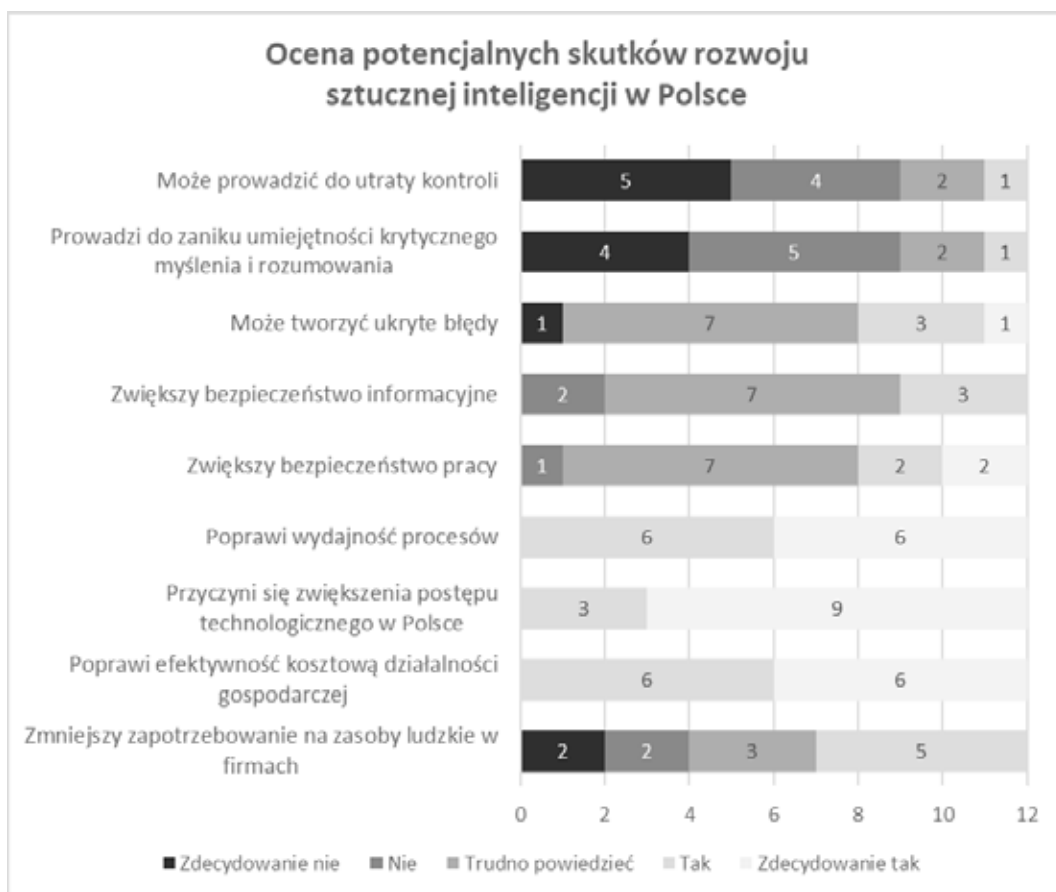
Większość firm uznaje, iż trudno stwierdzić, czy stosowanie sztucznej inteligencji może zwiększyć bezpieczeństwo pracy. Taką odpowiedź podało aż 7 respondentów. Zdaniem dwóch firm, AI nie jest w stanie takowego bezpieczeństwa zapewnić, z kolei trzy inne firmy uważają, iż wprost przeciwnie. Można więc zauważyć, że zdania są podzielone. Wynika to z ilości obszarów, w których stosowane są technologie oparte na sztucznej inteligencji. Każdy z tych obszarów charakteryzuje się innym środowiskiem oraz czynnikami, na które AI może wpływać. Przykładowo, sztuczna inteligencja z większą szybkością niż człowiek jest w stanie zauważyć wystąpienie niepokojącego zjawiska na zdjęciach satelitarnych, gdyż może analizować jednocześnie ogromne ilości danych, jednak potrzebuje dużej ilości czasu, by nauczyć się rozpoznawać dane zjawiska. Z kolei człowiek bez problemu jest w stanie je rozpoznać bez wcześniejszego przygotowania, jednak nie może stale monitorować całej powierzchni Ziemi. Wraz z rozwojem tej technologii, procesy oparte na sztucznej inteligencji będą coraz bardziej niezawodne, co w pewien sposób może się przekładać na bezpieczeństwo realizowanych procesów. Zwłaszcza ma to duże znaczenie w trakcie misji kosmicznych, w których komunikacja z zespołem jest znacznie utrudniona. Jednak w przypadku działań wykonywanych na Ziemi, umiejętność człowieka do reagowania na nieprzewidziane sytuacje jest bardziej skuteczna niż ma się to w przypadku sztucznej inteligencji.

Badane przedsiębiorstwa są zgodne co do tego, iż technologia AI znacznie poprawia wydajność procesów. Z punktu widzenia logistyki kosmicznej jest to o tyle istotne, iż opty-

malizacja działań jest konieczna do zapewnienia sprawności kosmicznego łańcucha dostaw oraz przeprowadzanych misji w przestrzeni kosmicznej. Zapewnienie odpowiedniego systemu kontroli zapasów oraz planowania zaopatrzenia pozwala uniknąć przeciążenia pojazdów, jak i nadprogramowych misji dostawczych, przy jednoczesnym zagwarantowaniu odpowiedniej ilości zasobów.

Innymi skutkami stosowania technologii AI są zwiększenie postępu technologicznego w Polsce oraz poprawa efektywności kosztowej działalności gospodarczej. Zdaniem firm, sztuczna inteligencja w znaczny sposób może przyczynić się do postępu technologicznego w polskiej gospodarce, co wskazuje dobry kierunek działania dla sektora informatycznego. Również respondenci są zgodni co do tego, iż technologia AI jest w stanie poprawić efektywność kosztową przedsiębiorstw. W przypadku sektora kosmicznego, ograniczenie kosztów misji kosmicznych jest bardzo ważne, gdyż wysyłanie sprzętu oraz ludzi w przestrzeń kosmiczną nie jest tanim przedsięwzięciem oraz wiąże się z potencjalnymi stratami. Stąd, sztuczna inteligencja może znacznie takowe koszty ograniczyć.

Ważną kwestią związaną z wdrażaniem inteligentnych systemów do działań przedsiębiorstw jest potencjalne zmniejszenie zapotrzebowania na zasoby ludzkie w firmach. Zdaniem 3 firm, trudno jednoznacznie określić, czy takie podejście jest zasadne, gdyż tylko w niektórych działaniach maszyny o wiele lepiej sprawdzają się niż ludzie. Według 5 firm, stosowanie technologii AI wiąże się z redukcją pracowniczą, z kolei 4 inne firmy uważają, że maszyny nie zastąpią ludzi bądź przejmą ich zadania na rzecz utworzenia nowych stanowisk pracy. Należy dążyć do tego by praca fizyczna była jak najbardziej zautomatyzowana, gdyż długotrwały wysiłek fizyczny niekorzystnie wpływa na ludzkie zdrowie. Z tego względu, zastosowanie maszyn opartych o technologię sztucznej inteligencji może stanowić dla pracowników jednocześnie ułatwienie pracy, jak i możliwość skupienia się na innych, bardziej intelektualnych zadaniach. Na poniższym wykresie (Rysunek 16) zaprezentowane zostały omówione skutki rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce wraz z ocenami badanych firm.



Rysunek 16. Ocena potencjalnych skutków rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

3.3 Analiza perspektyw rozwoju sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej

Podsumowując dotychczasowe rozważania można stwierdzić, iż sztuczna inteligencja otwiera wiele nowych możliwości, zarówno jeśli chodzi o ziemską gospodarkę, jak i eksplorację kosmosu. Jednocześnie potwierdza to wcześniej postawioną hipotezę, według której technologie AI mają wiele potencjalnych zastosowań w odniesieniu do logistyki kosmicznej, a ich stosowanie może znacznie usprawnić procesy związane z realizacją misji kosmicznych. Jak zostało ukazane w drugim rozdziale, sztuczna inteligencja może być stosowana w analizie danych, interpretacji zdjęć satelitarnych, sterowaniu maszynami, nawigacji, wykrywaniu zagrożeń, badaniu przestrzeni kosmicznej, czy nawet w dotrzymy-

waniu towarzystwa załozde w czasie trwania ich misji. Sztuczna inteligencja zyskuje coraz większe zainteresowanie ze strony agencji kosmicznych z całego świata, stąd można wnioskować, iż jest to przedsięwzięcie ekonomicznie opłacalne. AI jest w stanie rozwiązać problemy, które dotychczas utrudniały bądź nawet uniemożliwiały przeprowadzenie pewnych działań związanych z logistyką kosmiczną – za przykład może posłużyć chociażby opisany w poprzednim rozdziale problem zdalnego sterowania maszynami. Z tego względu, dalszy rozwój tej technologii wydaje się mieć duże znaczenie dla sektora kosmicznego.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, polskie firmy informatyczne zajmujące się technologią sztucznej inteligencji mają duży potencjał rozwoju, gdyż wiele usług, które wykonują dla ziemskiej gospodarki, znajduje też zastosowanie w sektorze kosmicznym. Na podstawie odpowiedzi uzyskanych od respondentów można stwierdzić, iż przedsiębiorstwa z polskiego sektora AI mają największy potencjał rozwoju w usługach związanych z analizą zdjęć satelitarnych. Jest to również obszar sektora kosmicznego, który ma największy wpływ na ziemską gospodarkę oraz codzienne życie ludzi. Z dotychczasowych rozważań oraz przykładów przedstawionych w podrozdziale 2.5 wynika, iż wykorzystanie obrazów satelitarnych znajduje coraz więcej zastosowań, co z kolei przekłada się na zwiększenie popytu na usługi oferowane w ramach działalności kosmicznej realizowanej na orbitach okołoziemskich. Jednakże, satelity każdego dnia generują bardzo duże ilości danych, przez co analiza przeprowadzana przez ludzi nie jest na tyle wydajna, na ile by tego oczekiwano. Stwarza to zapotrzebowanie na zaawansowane systemy oparte na technologii AI, które w inteligentny sposób są w stanie analizować znaczne ilości danych. Jak wynika z projektów, o których mowa była w poprzednim rozdziale, sztuczna inteligencja jest w stanie z dużą efektywnością wykrywać na zdjęciach konkretne obiekty, monitorować zachodzące na Ziemi zmiany oraz przewidywać zagrożenia. Jako że sztuczna inteligencja jest aktualnie w fazie rozwoju, można wnioskować, iż w przyszłości rozwój tej technologii przyniesie jeszcze lepsze efekty.

Rozwojowi polskiego sektora kosmicznego sprzyja również fakt, iż Polska Agencja Kosmiczna od 2012 roku należy do Europejskiej Agencji Kosmicznej. Otwiera to wiele możliwości dla potencjalnej współpracy z innymi krajami członkowskimi, zwłaszcza w odniesieniu do sztucznej inteligencji. ESA od pewnego czasu również interesuje się tym zagadnieniem, co można zauważyć na przykładzie badań realizowanych przez wspomniany w poprzednim rozdziale zespół Advanced Concepts Team. Ponadto, Europejska Agencja Kosmiczna w ramach programu Copernicus bezpłatnie udostępnia użytkownikom zdjęcia satelitarne z całego świata. Stanowi to idealne źródło danych dla szkolenia algorytm-

mów sztucznej inteligencji, co można zauważyć na przykładzie działalności polskiej firmy KPLabs, opisanej w podrozdziale 2.5.

Jak widać, sztuczna inteligencja to nie tylko koncepcje, ale również i realne projekty. Automatyzacja procesów, autonomiczne maszyny oraz inteligentne systemy wsparcia dla załogi w czasie trwania misji kosmicznej stanowią kolejny krok w eksploracji Układu Słonecznego oraz rozwoju logistyki kosmicznej. Przed AI stoi jeszcze wiele wyzwań, jednak już aktualny poziom zaawansowania tej technologii pomaga w osiągnięciu celów, które dotychczas wydawały się być niemożliwe do zrealizowania.

Zakończenie

Sztuczna inteligencja zyskuje coraz większe znaczenie w sektorze kosmicznym. Rozwój tej technologii pozwala na realizację misji dotychczas trudnych bądź nawet niemożliwych do zrealizowania, co jednocześnie sprzyja eksploracji Układu Słonecznego oraz otwiera wiele nowych możliwości odnośnie przemysłu kosmicznego. Przed współczesnym sektorem kosmicznym stoi wiele wyzwań, gdyż jest to środowisko w głównej mierze nieznanne. Misje kosmiczne charakteryzują się dużą nieprzewidywalnością, z kolei sama logistyka kosmiczna musi uwzględniać takie kwestie jak problemy komunikacyjne, znaczne odległości między punktami docelowymi a Ziemią, ograniczona ilość zasobów wykorzystywanych w czasie misji kosmicznej oraz warunki kosmiczne niekorzystnie wpływające na stan zdrowia załogi. Dzięki technologii AI możliwe jest zniwelowanie choć do pewnego stopnia wymienionych problemów.

Wyniki przeprowadzonej analizy perspektyw rozwoju technologii AI w logistyce kosmicznej pozwoliły pozytywnie zweryfikować postawioną przez autorkę hipotezę badawczą. Jak wynika z badań oraz opisanych wcześniej projektów, sztuczna inteligencja ma wiele potencjalnych zastosowań w odniesieniu zarówno do logistyki ziemskiej, jak i logistyki kosmicznej, a stosowanie tej technologii znacznie może usprawnić procesy związane z realizacją misji kosmicznych. Rozwój AI wiąże się również z wieloma korzyściami ekonomicznymi – optymalizacja procesów, ograniczenie kosztów, niwelowanie potencjalnych problemów oraz zagrożeń, to tylko kilka z nich. W odniesieniu do logistyki kosmicznej, sztuczna inteligencja znajduje wiele zastosowań, których ilość wraz z rozwojem AI będzie rosła.

Jak udało się wykazać w analizie przeprowadzonych badań, największe znaczenie dla gospodarki ziemskiej wydaje się mieć inteligentna analiza zdjęć satelitarnych. Jest to również obszar sektora kosmicznego, w którym polskie firmy informatyczne ma największy potencjał rozwoju. W kontekście monitorowania środowiska, sztuczna inteligencja pozwala na stałą kontrolę zjawisk przyrodniczych zachodzących na powierzchni Ziemi, przewidywanie zagrożeń związanych z wystąpieniem kataklizmów, takich jak pożary, trzęsienia ziemi, susze, czy tsunami, oraz na prowadzenie badań związanych ze stale zmieniającym się klimatem. Jest to o tyle istotne, iż z każdym dniem satelity okołoziemskie generują bardzo duże ilości danych, przy których analiza tradycyjnymi metodami wydaje się być niewystarczająca. Wykorzystanie technologii AI w analizie danych satelitarnych ma również duże znaczenie w odniesieniu do różnych sektorów gospodarki, takich jak logistyka i transport, rolnictwo, czy planowanie zagospodarowania gruntów.

Jak można zauważyć śledząc sektor kosmiczny, najwięcej działań związanych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w tym sektorze realizowanych jest przez NASA. Wynika to z faktu, iż Stany Zjednoczone traktują eksplorację kosmosu jako przewagę konkurencyjną oraz mają doskonały dostęp do wielu wiodących firm związanych z nowoczesnymi technologiami. Przykładem jest tu wspomiana w pracy firma SpaceX, która w ostatnim czasie dokonała historycznego osiągnięcia związanego z eksploracją kosmosu, wynosząc w przestrzeń kosmiczną raketę wielokrotnego użytku. Istotny wydaje się być również fakt, iż zarówno SpaceX, jak i Tesla posiadają tego samego właściciela, stąd istnieje szansa, iż w przyszłości SpaceX również podejmie działania w kierunku rozwoju autonomicznych pojazdów, jednak na potrzeby przemysłu kosmicznego.

Zainteresowanie wykorzystaniem inteligentnych systemów w eksploracji przestrzeni kosmicznej widoczne jest również ze strony innych agencji kosmicznych, takich jak Europejska Agencja Kosmiczna, Japońska Agencja Eksploracji Aerokosmicznej, czy ROSKOSMOS. Zarówno rosyjska, jak i japońska agencja kosmiczna od pewnego czasu interesuje się robotyką kosmiczną, stąd można wnioskować iż obie agencje pójdą w tym samym kierunku. Z kolei projekty Europejskiej Agencji Kosmicznej skupiają się głównie na wykorzystaniu technologii AI w analizie zdjęć satelitarnych.

Można się spodziewać, iż w niedalekiej przyszłości sztuczna inteligencja będzie stanowiła nieodzowny element większości obszarów gospodarki, włączając w to również i sektor kosmiczny. Jest to kolejny krok w stronę zaawansowanych technologii, które w znaczący sposób mogą odmienić sposób, w jaki funkcjonuje świat.

Spis literatury

1. Baraniecka A., *Space Logistics – Current Status and Perspectives, Research Journal of the University of Gdańsk. Transport Economics and Logistics, Vol 82, Modelling of Logistics Processes and Systems. Part XXI*, 2019.
2. Bengio Y., Goodfellow I., Courville A., *Deep learning*, The MIT Press, Cambridge 2017.
3. Christopher M., *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw*, Polskie Centrum Doradztwa Logistycznego, Warszawa 2000.
4. Coyle J., Bardi E., Langley Jr. J., Kempny D. (red.) *Zarządzanie Logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002.
5. de Weck O., Simchi-Levi D., Shishko R., Ahn J., Gralla E., Klabjan D., Mellein J., Shull S., Siddiqi A., Bairstow B., Lee G., *SpaceNet v1.3 User's Guide*, 2007.
6. Hodson H., *Deep Mind and Google: the battle to control artificial intelligence*, „1843”, April/May 2019.
7. Kok J.N, Boers E. J. W., Kosters W. A., van der Putten P., *Artificial Intelligence: definition, trends, techniques, and cases*, EOLSS, Oxford 2009.
8. Muślewski Ł., Bojar P., Migawa K., *Ocena jakości działania systemów transportowych z zastosowaniem elementów logiki rozmytej*, „Logistyka”, 2012 nr. 3.
9. Rogowska D., *Zastosowanie logiki rozmytej w sterowaniu zapasami*, „Logistyka”, 2011 nr. 5.
10. Różanowski K., *Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia*, „Zeszyty Naukowe Warszawskiej Szkoły Informatyki”, Warszawa 2007.
11. Searle J. R., *Minds, brains and programs*, Behavioral and Brain Sciences 3, Cambridge University Press 1980.
12. Skarżyński M., *Logistyka w II wojnie światowej – produkcja przemysłowa*, „Logistyka”, 2014 nr 3.
13. Skrzypczyk J., *Sztuczna inteligencja w zagadnieniach inżynierskich*, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2007.
14. Sutton R. S., Barto A. G., *Reinforcement Learning: An Introduction*, The MIT Press, London 2017.
15. Turing A. M., *Computing machinery and intelligence*, „Mind”, Londyn 1950.
16. *Uczenie maszynowe a logistyka*, „Logistic manager”, 2019 nr 2(6).

Spis źródeł internetowych

1. Badurek J., *Kosmiczna informatyka*, www.computerworld.pl/news/Kosmiczna-informatyka,305099.html (29.04.2020).
2. Denys M., *Kosmiczna zimna wojna: USA vs ZSRR*, www.obserwatormiedzynarodowy.pl/2019/09/05/kosmiczna-zimna-wojna-usa-vs-zsrr-denys/ (23.02.2020).
3. Garthwaite J., *Mapping dry wildfire fuels with AI and new satellite data*, www.phys.org/news/2020-05-wildfire-fuels-ai-satellite.html (25.05.2020).
4. Gądek K., *Deep Learning*, blog.edrone.me/pl/co-to-jest-deep-learning-i-jak-mozemy-go-wykorzystac/ (29.04.2020).
5. Greicius T., *A.I. Will Prepare Robots for the Unknown*, www.nasa.gov/feature/jpl/ai-will-prepare-robots-for-the-unknown (28.05.2020).
6. Haponik A., *10 Use Cases of AI and Machine Learning in Logistics and Supply Chain*, www.addepto.com/use-cases-ai-machine-learning-logistics-supply-chain/ (28.05.2020).
7. Kaczmarek S., *Machine learning i deep learning – samouczące systemy. Leksykon 2017*, www.it-filolog.pl/machine-learning-i-deep-learning-samouczace-systemy-leksykon-2017/ (29.04.2020).
8. Lewis M., *International Space Station welcomes first SpaceX Crew Dragon with NASA Astronauts*, blogs.nasa.gov/commercialcrew/2020/05/31/international-space-station-welcomes-first-spacex-crew-dragon-with-nasa-astronauts/ (25.05.2020).
9. Matheson R., *Using artificial intelligence to enrich digital maps*, news.mit.edu/2020/artificial-intelligence-digital-maps-0123 (28.05.2020).
10. May S., *What Is a Rocket?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-rocket-58.html (01.03.2020).
11. May S., *What Is the International Space Station?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-the-iss-58.html (01.03.2020).
12. May S., *What Was the Space Shuttle?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-the-space-shuttle-k4.html (29.04.2020).
13. Metcalfe T., *Meet Skybot F-850, the Humanoid Robot Russia Is Launching into Space*, www.space.com/russia-launching-humanoid-robot-into-space.html (28.05.2020).
14. Nevgi A., *Artificial Intelligence and Space Mining: the Gateway to Infinite Riches*, www.aidaily.co.uk/articles/artificial-intelligence-and-space-mining-the-gateway-to-infinite-riches (20.05.2020).

15. Niepytalski M., *Kosmiczny śmietnik i orbitalna ekologia*, www.holistic.news/kosmiczny-smietnik-i-orbitalna-ekologia/ (29.02.2020).
16. Roszkowska-Remin J., *Ziemskie pole magnetyczne*, www.jednaziemia.pl/planeta-ziemia/57-magnetyzm/3808-ziemskie-pole-magnetyczne.html (28.02.2020).
17. Sawe B., *How Many Types Of Satellites Are There?*, www.worldatlas.com/articles/how-many-types-of-satellites-are-there.html (01.03.2020).
18. Stefaniak P., *Kosmos dla każdego. Czy polski przemysł zarobi na orbicie?*, www.eec-poland.eu/2019/pl/wiadomosci/kosmos-dla-kazdego-czy-polski-przemysl-zarobi-na-orbicie,318560.html (23.02.2020).
19. Stephens T., *Powerful new AI technique detects and classifies galaxies in astronomy image data*, <https://phys.org/news/2020-05-powerful-ai-technique-galaxies-astronomy.html> (25.05.2020).
20. Townsend A., *Artificial Intelligence for Space Exploration*, www.linkedin.com/pulse/artificial-intelligence-space-exploration-andy-townsend (28.05.2020).
21. Valantin J., *Space Mining, Artificial Intelligence and Transition?*, www.redanalysis.org/2018/03/19/space-mining-artificial-intelligence-and-transition/ (28.05.2020).
22. Wasilewski G., *Zasoby kosmiczne to najwyższy stopień innowacji gospodarki (ANALIZA)*, www.biznesalert.pl/kosmos-zloza-innowacje-polska/ (25.05.2020).
23. Wild F., *What is an Orbit?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html (29.02.2020).
24. Wild F., *What is the Artemis Program?*, www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-the-artemis-program-58.html (01.03.2020).
25. Williams M., *What is Low Earth Orbit?*, www.universetoday.com/85322/what-is-low-earth-orbit/ (29.02.2020).
26. Yirka B., *Software on Mars rover allows it to pick research targets autonomously*, www.phys.org/news/2017-06-software-mars-rover-autonomously.html (10.05.2020).
27. *2001 Mars Odyssey*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/odyssey/ (28.02.2020).
28. *2018 global Logistics report*, www.eft.com/content/2018-global-logistics-report (10.05.2020).
29. *2018 supply chain study*, <https://www.eft.com/content/2018-supply-chain-study> (10.05.2020).
30. *A first look at Amazon's new delivery drone*, www.techcrunch.com/2019/06/05/a-first-look-at-amazons-new-delivery-drone/ (10.05.2020).
31. *Amazon Prime Air*, www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011 (10.05.2020).

32. *ASE*, ase.jpl.nasa.gov/ (28.05.2020).
33. *Atmosphere*, mars.nasa.gov/#red_planet/3 (28.02.2020).
34. *Autopilot*, www.tesla.com/autopilotAI (19.05.2020).
35. *China declares Chang'e mission complete success*, www.cnsa.gov.cn/english/n6465719/c6805233/content.html (02.03.2020).
36. *CIMON-2 makes its successful debut on the ISS*, www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/04/cimon2-makes-its-successful-debut-on-the-iss.html (28.05.2020).
37. *Classes of Supply for Exploration Logistics*, strategic.mit.edu/spacelogistics/classes_supply.php (23.02.2020).
38. *Commercial Orbital Transportation Services (COTS)*, www.nasa.gov/commercial-orbital-transportation-services-cots (28.05.2020).
39. *Deep Learning – What it is and why it matters*, www.sas.com/pl_pl/insights/analytics/deep-learning.html (29.04.2020).
40. *DeepFlow – Wspomaganie analizy dużych zbiorów danych*, www.kplabs.pl/deepflow-pl/ (25.05.2020).
41. *Earth's Moon*, www.solarsystem.nasa.gov/moons/earths-moon/in-depth/ (01.03.2020).
42. Encyklopedia PWN, www.encyklopedia.pwn.pl/haslo/inteligencja;3915042.html (29.04.2020).
43. *ExoMars 2016 Mission (ESA/Roscosmos)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/esa-exomars-2016-tgo/ (28.02.2020).
44. *Future Chinese Lunar Missions*, nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/cnsa_moon_future.html (02.03.2020).
45. *Fuzzy Logic*, www.plato.stanford.edu/entries/logic-fuzzy/ (29.04.2020).
46. *FY 2021 President's Budget Request Summary*, www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy_2021_budget_book_508.pdf (28.05.2020).
47. *GMV leads the system that “drives” the Hera Mission for planetary defence*, www.gmv.com/en/Company/Communication/PressReleases/2018/NP_030_HERA.html (20.05.2020).
48. *Highly Elliptical Satellite Orbits*, www.electronics-notes.com/articles/satellites/basic-concepts/highly-elliptical-orbit-heo.php (02.03.2020).
49. *How A.I. Captured a Volcano's Changing Lava Lake*, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6788 (28.05.2020).
50. *InSight (Discovery Mission)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/insight/ (28.02.2020).
51. *Integrated Database*, strategic.mit.edu/spacelogistics/database.php (23.02.2020).

52. *International cooperation*, www.nasa.gov/subject/3582/international-cooperation/ (28.05.2020).
53. *Internet na Marsie*, www.spacex.com.pl/internet-na-marsie (29.04.2020).
54. *Intuition-1 – Przetwarzanie obrazów hiperspektralnych na orbicie*, www.kplabs.pl/intuition-1-pl/ (25.05.2020).
55. *Izotop z Księżyca wywoła rewolucję w energetyce?*, www.energetyka24.com/izotop-z-ksiezycy-wywoła-rewolucje-w-energetyce (25.05.2020).
56. *James Webb Space Telescope – Frequently Asked Questions*, www.jwst.nasa.gov/content/about/faqs/faq.html#ltwo (25.05.2020).
57. *Landsat-8*, www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (25.05.2020).
58. *LEO Economy FAQ*, www.nasa.gov/leo-economy/faqs (29.04.2020).
59. *Mars Atmospheric and Volatile Evolution*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/maven/ (28.02.2020).
60. *Mars Express (ESA)*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/express/ (28.02.2020).
61. *Mars Facts*, mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/ (28.02.2020).
62. *Mars Reconnaissance Orbiter*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-reconnaissance-orbiter/ (28.02.2020).
63. *Mars Science Laboratory*, mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mars-science-laboratory/ (28.02.2020).
64. *Mars*, www.spacex.com.pl/mars (28.02.2020).
65. *Martian Moons*, mars.nasa.gov/all-about-mars/moons/summary/ (28.02.2020).
66. *Measures of Effectiveness*, strategic.mit.edu/spacelogistics/measure_effectiveness.php (23.02.2020).
67. *Misja sondy Hera wykorzystuje doświadczenia NASA z misji Dawn*, www.esa.int/Space_in_Member_States/Poland/Misja_sondy_Hera_wykorzystuje_doswiadczenia_NASA_z_misji_Dawn (25.05.2020).
68. *Modeling Framework*, strategic.mit.edu/spacelogistics/modeling_framework.php (23.02.2020).
69. *NASA Takes a Cue From Silicon Valley to Hatch Artificial Intelligence Technologies*, www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-takes-a-cue-from-silicon-valley-to-hatch-artificial-intelligence-technologies (25.05.2020).
70. *One step closer to prospecting the Moon*, www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/One_step_closer_to_prospecting_the_Moon (02.03.2020).

71. *Past, present, future, timeline*, mars.nasa.gov/#red_planet/5 (28.02.2020).
72. *People*, strategic.mit.edu/spacelogistics/people.php (23.02.2020).
73. *Polskie oprogramowanie najlepsze do interpretacji obrazów satelitarnych*, www.dzienniknaukowy.pl/nauka-w-polsce/polskie-oprogramowanie-najlepsze-do-interpretacji-obrazow-satelitarnych (25.05.2020).
74. *Przemysł kosmiczny*, www.pmgconsulting.eu/branze/przemysl-kosmiczny (29.04.2020).
75. *Research*, strategic.mit.edu/spacelogistics/research.php (23.02.2020).
76. *Robots in space*, www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Robots_in_space2 (28.05.2020).
77. *Ruszają prace nad polskim komercyjnym satelitą Intuition-1*, news.astronet.pl/index.php/2018/02/16/ruszaja-prace-nad-polskim-komercyjnym-satelita-intuition-1/ (25.05.2020).
78. *Science goals*, mars.nasa.gov/#red_planet/1 (28.02.2020).
79. *Sentinel-1*, www.sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1 (26.05.2020).
80. *Simulation*, strategic.mit.edu/spacelogistics/simulation.php (23.02.2020).
81. *Space Network Modeling*, strategic.mit.edu/spacelogistics/network.php (23.02.2020).
82. *Spacecraft Classification*, www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Spacecraft_Classification.html (29.04.2020).
83. *Spacerobe*, www.nasa.gov/centers/jpl/education/spaceprobe-20100225.html (29.04.2020).
84. *SpaceX launches 60 Starlink satellites for new megaconstellation, misses rocket landing* www.space.com/spacex-starlink-4-launch-success-misses-rocket-landing.html (23.02.2020).
85. *Supply Chain Analogies*, www.strategic.mit.edu/spacelogistics/analogies.php (23.02.2020).
86. *Sztuczna inteligencja – wsparcie czy zagrożenie dla ludzkości?*, www.kopernik.org.pl/wystawy/artykul/sztuczna-inteligencja-co-to-jest-jak-moze-pomoc-ludzkosci/ (29.04.2020).
87. *Sztuczna inteligencja ułatwi badanie Kosmosu. Autonomiczne pojazdy sprawdzą się w kosmicznym górnictwie oraz w procesie monitoringu zmian klimatycznych na Ziemi*, www.innowacje.newseria.pl/news/sztuczna-inteligencja,p1026571236 (25.05.2020).
88. *Technology*, www.oneweb.world/technology (23.02.2020).
89. *The planet*, mars.nasa.gov/#red_planet/2 (28.02.2020).
90. *The Power of Optimization*, strategic.mit.edu/spacelogistics/optimization.php (23.02.2020).

91. *Trzy drogi rozwoju sztucznej inteligencji. Czym jest obecnie?*, www.brainintelligence.pl/sztuczna-inteligencja-czym-jest-obecnie (29.04.2020).
92. *Types of orbits*, www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits (29.02.2020).
93. *Użytkowe oblicze technologii kosmicznych – pogląd polskiego startupu*, www.space24.pl/autorzy/uzytkowe-oblicze-technologii-kosmicznych-perspektywa-polskiego-startupu-komentarz (29.04.2020).
94. *What are Lagrange Points?*, www.esa.int/Enabling_Support/Operations/What_are_Lagrange_points (23.02.2020).
95. *What are Lagrange Points?*, www.solarsystem.nasa.gov/faq/88/what-are-lagrange-points/ (23.02.2020).
96. *Why do we send robots to space?*, www.spaceplace.nasa.gov/space-robots/en/ (10.05.2020).
97. *Zrównoważona przyszłość w przestrzeni kosmicznej*, www.esa.int/Space_in_Member_States/Poland/Zrownowazona_przyszlosc_w_przestrzeni_kosmicznej (23.02.2020).

Spis rysunków

Rysunek 1. Główne orbity okołoziemskie	13
Rysunek 2. Punkty libracyjne w układzie Ziemia-Księżyc	19
Rysunek 3. Punkty libracyjne w układzie Ziemia-Słońce	20
Rysunek 4. Zapotrzebowanie przy załogowych misjach kosmicznych.....	23
Rysunek 5. Schemat działania technologii deep learning.....	41
Rysunek 6. Rodzaj działalności badanych firm	66
Rysunek 7. Pochodzenie kapitału firm.....	67
Rysunek 8. Poziom wykorzystania zewnętrznych źródeł finansowania.....	67
Rysunek 9. Technologie AI wykorzystywane przez firmy.....	68
Rysunek 10. Sektory gospodarki, w których działają klienci badanych firm	69
Rysunek 11. Oferowane przez firmy usługi oparte na technologii AI	70
Rysunek 12. Trudności w prowadzeniu działalności w sektorze AI w Polsce	71
Rysunek 13. Instytucje i organizacje, które zdaniem badanych firm powinny prowadzić badania nad rozwojem AI	71
Rysunek 14. Czynniki wpływające na chęć świadczenia usług dla sektora kosmicznego ..	72
Rysunek 15. Wskazane przez firmy obszary wykorzystania AI o największym potencjale rozwoju.....	73
Rysunek 16. Ocena potencjalnych skutków rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce	76



AGATA ŁAZAREWICZ (ur. 1997 r.) – absolwentka studiów licencjackich na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu na kierunku zarządzanie ze specjalizacją w logistyce międzynarodowej. Od 2018 roku członkini naukowego koła logistycznego LOGRIT. W 2019 roku odbyła staż w Polskiej Agencji Kosmicznej. Do zainteresowań autorki należy między innymi sztuczna inteligencja, eksploracja kosmosu oraz grafika komputerowa, co przyczyniło się do powstania niniejszej publikacji.

Praca dyplomowa pt. „Sztuczna inteligencja w logistyce kosmicznej – stan obecny i perspektywy rozwoju”, autorstwa Agaty Łazarewicz, to wyjątkowe opracowanie. Praca stanowi nowe ujęcie tematu, integruje bowiem trzy do tej pory nie łączone powszechnie obszary, jakimi są astronomia, logistyka i sztuczna inteligencja. Chociaż dorobek tych obszarów nauki jest bardzo bogaty, to ich interakcje są omawiane w przestrzeni naukowej od niedawna i ciągle bardzo skromnie, co wymagało od Autorki wyjątkowych umiejętności koncepcyjnych i analitycznych w zakresie poszukiwania i interpretacji źródeł wiedzy. Badania przeprowadzone przez Autorkę mają wysokie walory poznawcze i dostrzegalną wartość użyteczną dla rozwoju sektora sztucznej inteligencji i sektora kosmicznego w Polsce. Autorka nie tylko wskazuje na stan obecny i perspektywy stosowania sztucznej inteligencji w logistyce kosmicznej, proponuje również nowe obszary współpracy w tym zakresie w ramach konkretnych projektów rozwojowych.

*Dr Anna Baraniecka, Promotor
Katedra Zarządzania Strategicznego i Logistyki
Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu*

Recenzowana praca to przykład bardzo dobrze sformułowanego ambitnego celu badawczego, postawionych hipotez badawczych, a co najważniejsze, poprawnie przeprowadzonej procedury badawczej. Uwzględniając wysoki poziom merytoryczny pracy warto zastanowić się nad publikacją wyników badań, a także ich kontynuowaniem w przyszłości.

*dr hab. Izabela Michalska-Dudek, prof. UEW, Recenzent
Katedra Marketingu i Zarządzania Gospodarką Turystyczną
Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu*



Uniwersytet Ekonomiczny
we Wrocławiu

**Publikacja finansowana ze środków Naukowego Koła Logistycznego LOGRIT,
działającego przy Katedrze Zarządzania Strategicznego i Logistyki,
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu**



Katedra Zarządzania
Strategicznego
i Logistyki