

# ODPOWIEDZIALNOŚĆ ZA ZANIECZYSZCZENIE PRZESTRZENI KOSMICZNEJ\*

## RESPONSIBILITY FOR POLLUTION OF OUTER SPACE

Dr hab. Małgorzata Polkowska, prof. ASzWoj

Akademia Sztuki Wojennej, Polska  
e-mail: m.polkowska@akademia.mil.pl; <https://orcid.org/0000-0002-6633-2222>

Dr hab. Marzena Toumi, prof. ASzWoj

Akademia Sztuki Wojennej, Polska  
e-mail: m.toumi@akademia.mil.pl; <https://orcid.org/0000-0003-3838-1315>

### Abstrakt

Dziedzictwo ponad 50 lat lotów kosmicznych przyniosło nie tylko rozwój techniczny i naukowy oraz osiągnięcia, ale doprowadziło również do rosnącej populacji śmieci kosmicznych. Źródeł kosmicznych zanieczyszczeń jest wiele: porzucony sprzęt, taki jak górne stopnie rakiet nośnych lub satelity, które zostały porzucone pod koniec ich eksploatacji, przedmioty ze statków kosmicznych uwalniane w trakcie operacji misyjnych (zazwyczaj te elementy obejmują owiewki pojazdu startowego, śruby rozdzielające, opaski zaciskowe, osłony i pokrywy obiektywu). Różne kształty i rozmiary gruzu powstają również w wyniku degradacji sprzętu, działania gazów, promieniowania słonecznego, a także działania silników rakietowych na paliwo stałe. Przykładami takich produktów są płatki farby, cząstki tlenku glinu ze spalin i stałe pozostałości pokrycia silnika. Społeczność międzynarodowa podejmuje starania, aby zmniejszyć niebezpieczeństwo płynące z rozpowszechnienia się szczątków kosmicznych spowodowanych przez podmioty państwowe i prywatne zajmujące się eksploatacją Kosmosu.

**Słowa kluczowe:** Kosmos, szczątki kosmiczne, satelity, monitoring, ryzyka kosmiczne

---

\* Artykuł jest finansowany z grantu Ministerstwa Obrony Narodowej nr 66, pt. *Wyzwania polityki bezpieczeństwa na świecie a narodowy i europejski SSA w kontekście ewolucji środowiska kosmicznego.*

## Abstract

The legacy of over 50 years of spaceflight has brought not only technical developments and scientific achievements, but it has also led to a growing population of space debris. There are many sources of space pollution: abandoned equipment such as launch vehicle upper stages or satellites that have been abandoned at the end of their life, items from spacecraft released during mission operations (typically these items include launch vehicle fairings, split screws, cable ties, lens hoods and caps). Various shapes and sizes of debris are also produced by equipment degradation due to gases, solar radiation, as well as the operation of solid rocket engines. Examples of such products are paint flakes, alumina particles from exhaust gases and solid engine coating residues. The international community is making efforts to reduce the danger posed by the spread of space debris caused by state and private entities involved in the exploitation of space.

**Keywords:** space, space debris, satellites, monitoring, space risks

## Wprowadzenie

Szczątki znajdujące się w Kosmosie zagrażają bezpieczeństwu, które obejmuje ochronę życia ludzkiego, ochronę krytycznych i/lub wartościowych systemów i infrastruktury kosmicznej, a także ochronę środowiska ziemskiego, orbitalnego i planetarnego. Bezpieczeństwo kosmiczne jest niezbędne dla zrównoważonego rozwoju działalności kosmicznej i obejmuje wiele obszarów. Można je zdefiniować jako łagodzenie szkodliwych warunków naturalnych oraz zapobieganie zanieczyszczeniu Kosmosu. Brak działań w tym zakresie może spowodować uszkodzenia lub utratę systemów, obiektów, sprzętu lub mienia, a także szkody dla środowiska. Termin „bezpieczeństwo” odnosi się również do zagrożeń o charakterze niedobrowolnym (błędy projektowe, awarie, błędy ludzkie, zagrożenia naturalne itp.). Bezpieczeństwo kosmiczne może odnosić się do ludzkiej załogi i pasażerów, personelu bezpośrednio zaangażowanego w integrację i działanie systemu, personelu niezaangażowanego bezpośrednio, ale znajdującego się w tej samej lokalizacji, a także ogółu społeczeństwa – na lądzie, oceanach lub w powietrzu. W przypadku systemów bezzałogowych takich jak zrobotyzowane satelity lub platformy kosmiczne itp., bezpieczeństwo odnosi się również do przyczyn zewnętrznych, które prowadzą do degradacji lub utraty celów misji (poprzez zderzenie dwóch działających satelitów lub zderzenie działającego satelity ze śmieciami kosmicznymi).

Pięć traktatów kosmicznych, powstałych w latach 1967-1979, liczy sobie już kilkadziesiąt lat. Pierwszy z nich, najważniejszy, *Outer Space Treaty* (OST), został przyjęty jeszcze w 1967 r.<sup>1</sup> Traktaty te przyniosły szereg ważnych definicji i ustaleń, m.in. uznano Kosmos za wspólne dziedzictwo ludzkości, zapewniono wolny dostęp i pokojowe użytkowanie dla wszystkich podmiotów, wolność badań naukowych, a z drugiej strony zakaz stacjonowania broni masowego rażenia (BMR). W ostatnich latach doszły nowe problemy, których międzynarodowe traktaty kosmiczne nie uwzględniły, bądź potraktowały zbyt ogólnie. Do takich zagadnień należy m.in. zanieczyszczenie Kosmosu.

### 1. Wzrost ilości szczątków w Kosmosie

Dziedzictwo ponad 50 lat lotów kosmicznych przyniosło nam imponujący rozwój techniczny i naukowy oraz osiągnięcia, ale doprowadziło również do zanieczyszczenia Kosmosu. W literaturze przedmiotu szczątki kosmiczne najczęściej określane są jako *space debris*. Początkowo termin „śmieci kosmiczne” odnosił się do naturalnych szczątków znalezionych w Układzie Słonecznym: asteroid, komet i meteoroidów. Według Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) „kosmiczne śmieci” definiowane są jako wszystkie niefunkcjonalne obiekty stworzone przez człowieka, w tym fragmenty i ich elementy krążące na orbitach okołoziemskich – torach ruchu [Muweis 2018, 451] na niskiej orbicie (LEO) – (przestrzeń od 200 do 2 000 km nad powierzchnią Ziemi), na orbicie średniej (MEO) i na orbicie geostacjonarnej (GEO), lub ponownie wchodzące w atmosferę ziemską. Warto sobie tu zadać pytania czy kosmiczne śmieci są obiektami kosmicznymi? OST tak naprawdę nie zawiera definicji „obektu wystrzelonego w przestrzeń kosmiczną” poza wskazaniem w artykule VIII, że zawiera on „części składowe” „obektu wystrzelonego w przestrzeń kosmiczną”. Problem jest najpoważniejszy na niskiej orbicie okołoziemskiej, gdzie kosmicznych śmieci jest najwięcej, a co za tym idzie, również ryzyko kolizji jest największe, zwłaszcza na orbicie polarnej [Ziemiński 2019].

---

<sup>1</sup> *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies*, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html> [dostęp: 23.03.2021].

Naukowcy zakładają, że istnieje około 500 000 obiektów na orbicie, których rozmiary przekraczają 1 cm. Obecnie około 22 000 takich obiektów (o średnicy 10 cm lub większej) jest śledzonych przez amerykańską sieć nadzoru kosmicznego (w tym około 1 000 działających satelitów). Oczekuje się, że liczba ta znacznie wzrośnie w związku z planami rozwoju konstelacji satelitów. Z drugiej strony ulepszane są urządzenia radarowe do obserwowania śmieci, głównie na niskiej orbicie okołoziemskiej. Wśród śledzonych śmieci jest około 200 porzuconych satelitów, zwiększających ryzyko kolizji dla sprawnych statków kosmicznych. Czas przeżycia szczątków może być bardzo długi i sięgać nawet tysięcy lat. Obecnie jedynym mechanizmem usuwania szczątków jest ich rozpad na orbicie w wyniku oporu atmosferycznego, co ostatecznie prowadzi do ponownego wejścia w atmosferę. Mechanizm ten jest skuteczny tylko w ograniczonym zakresie niskich orbit okołoziemskich. Na wyższych orbitach powrót obiektów na Ziemię może zajmować setki do tysięcy lat.

Jak dotąd proces tworzenia szczątków przewyższył tempo ich usuwania, co doprowadziło do wzrostu ilości szczątków na niskiej orbicie okołoziemskiej o około 5% rocznie. Głównym czynnikiem wpływającym na wzrost ilości szczątków jest generowanie fragmentów przez eksplozje. Wskazują na to badania środowiska (na LEO) przeprowadzone w ostatnich latach. Wytworzone zanieczyszczenia będą wracać do środowiska i przyczyniać się do kolizji. Najbardziej niebezpieczny region kolizji znajduje się na wysokości od 900 do 1 000 m n.p.m.

Szczątki orbitalne zazwyczaj poruszają się z bardzo dużymi prędkościami w stosunku do satelitów operacyjnych. Na EO (tj. na wysokości poniżej 2 000 km), średnia względna prędkość uderzenia wynosi 10 km/s (36 000 km/h). Na orbitach geostacjonarnych prędkość względna jest mniejsza, około 2 km/s, ponieważ większość obiektów porusza się po orbicie w kierunku wschodnim. Przy tych hiper prędkościach kawałki szczątków mają ogromną ilość energii kinetycznej. Ciało o masie 1 kg, poruszające się z prędkością 10 km/s, ma taką samą energię kinetyczną, jaką w pełni załadowana ciężarówka o masie 35 000 kg osiągająca prędkość 190 km/h. 1 cm aluminiowa kula, poruszająca się z prędkością orbitalną, ma energię równą eksplodującego ręcznego granatu.

Kawałki lub cząstki śmieci o wielkości mniejszej niż 1 mm na ogół nie powodują zagrożenia dla funkcjonalności statku kosmicznego. Natomiast

fragmenty śmieci o rozmiarach od 1 mm do 1 cm mogą niekiedy przeniknąć przez statek kosmiczny, w zależności od składu jego osłony. Penetracja przez krytyczny element, taki jak komputer pokładowy lub zbiornik paliwa, może spowodować utratę statku kosmicznego. Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA) uznaje, że kawałki śmieci o wielkości 3 mm i większej są potencjalnie „śmiertelne” dla starego promu kosmicznego i Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Tak na przykład kilogramowy obiekt uderzający z prędkością 10 km/s ma prawdopodobnie możliwość rozbicia tonowego statku, jeśli uderzy w element konstrukcyjny<sup>2</sup>.

Fragmenty śmieci o rozmiarach od 1 do 10 cm powodują większość uszkodzeń statku kosmicznego. Jeśli statek kosmiczny zostanie uderzony, funkcja satelity zostanie zakończona, a w tym samym czasie powstanie znaczna ilość drobnych zanieczyszczeń. Jeśli 10 cm fragment śmieci o wadze 1 kg zderza się z typowym statkiem kosmicznym o masie 1 200 kg, może powstać milion fragmentów o wielkości od około 1 mm i większych. Takie zderzenia skutkują powstaniem chmury śmieci, która stanowi ryzyko zderzenia z jakimkolwiek innym statkiem kosmicznym w pobliżu orbity (np. konstelacji satelitów).

Niektóre obszary chmury szczątków są ograniczone do jednego lub dwóch wymiarów. Takie zwężenia nie poruszają się wraz z chmurą szczątków wokół jej orbity i pozostają nieruchome w przestrzeni. Jeśli zderzą się satelity z dwóch pierścieni orbitalnych, utworzą się dwie chmury szczątków po jednym w każdym pierścieniu. Zwężenia każdej chmury będą wtedy stanowić zagrożenie dla pozostałych satelitów w obu pierścieniach [Pelton, Sgobba, i Trujillo 2020, 266].

Jak wcześniej wspomniano, niedziałające satelity, które zużyły górną część pojazdu startowego, nie pozostają na niskich orbitach okołoziemskich w nieskończoność, ale stopniowo powracają na Ziemię z powodu oporu atmosferycznego. Na niskich orbitach okołoziemskich naturalny rozpad pojazdu może nastąpić w ciągu kilku miesięcy lub wymaga setek lub nawet tysięcy lat, w zależności od wysokości. W rezultacie bardzo trudno jest przewidzieć, gdzie znajdą się ocalałe fragmenty mogące uderzyć w powierzchnię Ziemi. Uważa się, że w ciągu ostatnich 50 lat 1 400 ton

---

<sup>2</sup> National Research Council, *Orbital Debris: A Technical Assessment*, The National Academies Press, Washington DC 1995, s. 4. <https://doi.org/10.17226/4765>

materiałów przetrwało ponowne wejście w atmosferę ziemską. Największym obiektem, grożącym Ziemi ponownym wejściem, była rosyjska stacja kosmiczna *Mir*, która ważyła 120 ton (udało się ją zdeorbitować).

Istnieje zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego na Ziemi związane z niepowodzeniami startu i ponownym wejściem do systemów kosmicznych (dotyczy to m.in. np. korpusu rakiet i ich niefunkcjonalnych systemów). Podczas normalnych startów części rakiet rozdzielają się na sekwencje i spadają na Ziemię. Większość trajektorii startu i lokalizacje portów kosmicznych są wybierane tak, aby zapewnić, że obszary, na które spadają części rakiet znajdują się poza zaludnionymi terenami (głównie lokalizuje się je niedaleko brzegów oceanów). Niemniej jednak istnieją śródlądowe porty, a stopnie rakiet spadające na tereny słabo zaludnione mogą jednak spowodować zanieczyszczenie gleby, wód gruntowych i powierzchniowych.

## **2. Działalność Organizacji Narodów Zjednoczonych i organizacji wyspecjalizowanych w kwestii ochrony środowiska kosmicznego i ograniczenia wzrostu szczątków kosmicznych**

Na straży pokojowego wykorzystania Kosmosu stoi m.in. wyspecjalizowana organizacja, tj. Komitet ds. Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej ONZ (*United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space UN COPUOS*) skupiający 100 członków (w 1958 r. było ich tylko 18) oraz 43 organizacje w charakterze obserwatorów. Z uwagi na wzmożoną działalność państw w przestrzeni kosmicznej ważną rolę odgrywają rozwijające się mechanizmy obserwacji Kosmosu i Ziemi poprzez systemy monitorujące bezpieczeństwo znajdujących się tam obiektów.

Nie istnieje ustandaryzowany reżim, bądź organizacja, systematycznie analizująca i komunikująca zagrożenia satelitów orbitujących naokoło Ziemi. Aby wysłać obiekt kosmiczny, w celu uniknięcia potencjalnej kolizji, operator musi najpierw otrzymać podstawowe informacje. Zawierają się tutaj: świadomość sytuacyjna, dokładna pozycja obiektu/szczątka i ich przyszłe trajektorie i ocena możliwości kolizji. System taki, zwany *Space Situational Awareness* (SSA) jako pierwsze wprowadziły Stany Zjednoczone. Program amerykański SSA (obecnie nosi on nazwę: *Space Domain Awareness System* – SDA) monitoruje potencjalne zagrożenia ze strony obiektów takich, jak np. satelity, szczątki kosmiczne, broń ASAT. Sieć ta (*The Space Surveillance*

*Network* – SSN), składa się z umiejscowionych na ziemi teleskopów i radarów; jest ona kierowana przez U.S. *Air Force Space Command* (AFSPC). Amerykanie zawarli 16 umów z podmiotami komercyjnymi w sprawie przekazywania danych z programu SSA [Mosteshaar 2013, 719-26].

W latach 90. ubiegłego wieku powstał Komitet Koordynacyjny ds. Śmieci Kosmicznych (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* – IADC) skupiający rządowe agencje kosmiczne poszczególnych krajów. Do IADC należą w szczególności: ASI (Agenzia Spaziale Italiana), CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), CNSA (China National Space Administration), CSA (Canadian Space Agency), DLR (German Aerospace Center), ESA (European Space Agency), ISRO (Indian Space Research Organisation), JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), UKSpace (UK Space Agency), NASA (National Aeronautics and Space Administration), NSAU (National Space Agency of Ukraine), ROSCOSMOS (Russian Federal Space Agency)<sup>3</sup>. Stworzyły one tzw. *IADC Space Debris Mitigation Guidelines*. Dokument ten, formalnie przyjęty w 2002 r.<sup>4</sup>, ma charakter techniczny, ograniczający kumulację szczątków na orbitach LEO i GEO. Wskazuje on cztery rejonry zainteresowań: ograniczenie wydostawania się szczątków podczas normalnych operacji, redukcję potencjalnych zniszczeń na orbitach (a także podczas i po zakończeniu operacji kosmicznych), wydawanie rekomendacji dla urządzeń na LEO (dla misji poniżej 2 tys. km wysokości), GEO i innych oraz prewencji przed kolizjami na orbicie. Zalecenia te były podane dyskusji w ramach Podkomitetu Naukowo-Technicznego (STSC) UN COPUOS. W czerwcu 2007 r. na swojej 62. sesji członkowie STSC przyjęli *Guidelines*. W 2008 r. UN COPUOS i Zgromadzenie Ogólne ONZ także je poparło. W czerwcu 2010 r. grupa robocza przedstawiła (podczas 53 sesji UN COPUOS) dokument zawierający proponowane założenia, metodę pracy i plan pracy, co do *The Long-term Sustainability of Outer Space Activities of the STSC. Guidelines* jest tak zaprojektowany, aby można byłoby go aktualizować<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> <https://www.iadc-home.org/> [dostęp: 15.02.2022].

<sup>4</sup> <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/iadc-space-debris-guidelines-revision-2.pdf> [dostęp: 23.01.2023].

<sup>5</sup> Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, *IADC Space Debris Mitigation Guidelines* Issued by IADC Steering Group and Working Group 4, <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/iadc-space-debris-guidelines-revision-2.pdf> [dostęp: 21.04.2021].

Jednocześnie od połowy lat 90. XX w. agencje kosmiczne w Europie pracowały nad bardziej szczegółowym technicznym podręcznikiem do likwidacji szczątków kosmicznych *European Code of Conduct for Space Debris Mitigation* (podpisano go w 2006 r.)<sup>6</sup>. Ponadto Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) opracowała własne instrukcje *Requirements on Space Debris Transparency and Confidence-Building Measures in Space Mitigation for Agency Projects* [Robinson, Schaefer, Schrogl, i in. 2010, 9-12], które weszły w życie w kwietniu 2008 r. Odnoszą się one do przyszłych działań systemów kosmicznych (urządzeń wystrzeliwujących, satelitów i innych obiektów kosmicznych).

Trudności z uchwalaniem prawa międzynarodowego spowodowałyby zainteresowanie prawem umownym (miękkim) w formie kodeksu. Inicjatorem kodeksu postępowania w Kosmosie było centrum Stimsona. Kodeks został nazwany *Rules of the road* i dotyczył operacji w przestrzeni kosmicznej uzgodnionych na poziomie międzynarodowym<sup>7</sup>. Najważniejsze elementy kodeksu dotyczą: unikania kolizji satelitów, zapobiegania powstawaniu szczątków kosmicznych, wymiany informacji i konsultacji co do działań kosmicznych, które mogłyby spowodować powstanie szczątków, koordynacji użycia spektrum i alokacji slotów orbitalnych. Dyskusje i konsultacje w sprawach kodeksu nie zostały doprowadzone do końca; w tej sytuacji rolę mediatora przejęła Unia Europejska, ale i jej nie udało się osiągnąć sukcesu.

Z uwagi na brak powodzenia kodeksu europejskiego, z podobną inicjatywą stworzenia prawa miękkiego wystąpił Komitet ONZ ds. Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej – UN COPUOS<sup>8</sup>. W czerwcu 2016 r. Komitet uzgodnił pierwszy zestaw wytycznych dotyczących długoterminowej stabilności działań w przestrzeni kosmicznej<sup>9</sup>. W 2018 r. osiągnięto porozumienie w sprawie preambuły i dziewięciu dodatkowych wytycznych<sup>10</sup>. Chociaż grupa robocza długo nie mogła dojść do porozumienia

---

<sup>6</sup> <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/2004-B5-10.pdf> [dostęp: 23.01.2023].

<sup>7</sup> Tamże.

<sup>8</sup> UN COPUOS – *The Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html> [dostęp: 22.02.2022].

<sup>9</sup> A/71/20, załącznik.

<sup>10</sup> A/AC.105/1167, załącznik III i A/73/20.



w sprawie swojego sprawozdania końcowego, 21 czerwca 2019 r. podczas 62. sesji UN COPUOS przyjęto preambułę i 21 wytycznych dotyczących „długoterminowej stabilności działań w przestrzeni kosmicznej” (LTS). Dokumenty te zawierają programy dotyczące polityki i ram regulacyjnych działań w Kosmosie. Jest to wynik ponad 8 lat pracy grupy roboczej powołanej przez UN COPUOS i wspieranej przez Biuro Narodów Zjednoczonych do Spraw Przestrzeni Kosmicznej (UN OOSA). Komitet zwrócił się do państw i organizacji międzynarodowych z apelem o podjęcie odpowiednich działań w celu wdrożenia uchwalonych 21 czerwca wytycznych.

Na tejże sesji UN COPUOS postanowił utworzyć, na następne 5 lat, nową grupę roboczą, kontynuującą prace nad „długoterminową stabilnością działań w przestrzeni kosmicznej”. Komitet zdecydował, że na 57. sesji Podkomitetu Naukowo-Technicznego w 2020 r. grupa robocza uzgodni własny zakres uprawnień, metody pracy i specjalny plan prac w kierunku: 1) określenia i przeanalizowania nowych wyzwań i rozważenia ewentualnych nowych zaleceń dotyczących „długoterminowej stabilności działań w przestrzeni kosmicznej”; 2) wymiany doświadczeń, praktyk i wniosków wyciągniętych z dobrowolnego wdrożenia przyjętych wytycznych na szczeblu krajowym; 3) podnoszenia świadomości i budowania potencjału, w szczególności wśród krajów rozwijających się i krajów zamierzających rozpocząć działalność w Kosmosie.

21 wytycznych stanowi pierwsze konkretne osiągnięcie Komitetu ds. Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej od 2007 r. W ciągu ostatnich 10 lat udało się namówić większość państw członkowskich nie tylko do osiągnięcia porozumienia, ale także do kontynuowania dalszej dyskusji, dotyczącej wdrożenia wytycznych do krajowych systemów prawnych państw członkowskich. Uchwalenie wytycznych, czyli prawa „miękkiego”, stanowi duży sukces społeczności międzynarodowej. Głównym celem wytycznych jest pomoc państwom i międzynarodowym organizacjom w ich wysiłkach w kierunku ograniczania ryzyka związanego z prowadzeniem działań w przestrzeni kosmicznej, tak aby możliwe było utrzymanie obecnych korzyści i wykorzystanie przyszłych. Wytyczne promują współpracę międzynarodową w zakresie pokojowego wykorzystywania i badania przestrzeni kosmicznej.

Kształt międzynarodowego prawa kosmicznego na razie się nie zmienia. Pojawiające się wciąż nowe wyzwania wyznaczają mu jednak kierunki na przyszłość. Warto więc być na bieżąco z trendami kosmicznymi i rozumieć zmiany, których społeczność międzynarodowa oczekuje. Niekoniecznie instrumenty normatywne wiążą się z powstawaniem nowych konwencji czy traktatów międzynarodowych – czasem przyjmują formę wytycznych np. kodeksów czy rekomendacji m.in. w ramach IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*) czy STM (*Space Traffic Management*).

Niektórzy przedstawiciele środowiska międzynarodowego nadal jednak uznają, iż działania te są niewystarczające i mało efektywne. Proponuje się m.in. utworzenie organizacji międzynarodowej odpowiedzialnej za łagodzenie skutków działania śmieci kosmicznych oraz ich usuwanie. Organizacja miałaby m.in. nakładać podatki na użytkowników orbit i zniechęcać operatorów do nowych wyrzyleń. Dużą rolę może tu odegrać dyplomacja kosmiczna i jednolite zarządzanie Kosmosem (*space governance*). Obecnie, co warto podkreślić, oprócz państw ważną rolę w zagospodarowaniu Kosmosu odgrywają także podmioty prywatne, które często nadają tempo zmian prawa zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i krajowym.

Pięć traktatów kosmicznych i inne istniejące instrumenty prawa miękkiego stanowią solidny fundament dla zasad (*guidelines*) i norm (np. *Outer Space Treaty*, *International Telecommunications Union*, *IADC Debris Mitigation Guidelines*). Konieczne jest tu jednak aktywne poparcie państw, choćby poprzez zorganizowanie grup eksperckich prowadzących badania i proponujących szereg rozwiązań i opcji. Takie grupy zajmowałyby się m.in. tematyką szczątków kosmicznych, kolizji, zakłócaniem działalności satelitów itp. Uniwersytety i inne ośrodki naukowo-badawcze także mogłyby być zaangażowane do budowania *space security*, choćby przez szkolenia przyszłej kadry profesjonalistów.

Ważne jest także wzmocnienie reżimu związanego ze szczątkami (śmieciami) kosmicznymi (*space debris*). Niektóre państwa, w tym USA, Chiny, Rosja, Japonia, oraz Europa przewidują krajowe zalecenia w tej dziedzinie. Można by rozwinąć też standardy co do stosowania IADC. Państwa mogą też podejmować wysiłki co do szczątków kosmicznych w formie działań jednostronnych (standardy techniczne i ich nadzorowanie, kary za ich niestosowanie itp.), wielostronnych oraz zawierać umowy bilateralne

(np. o polepszeniu współpracy, co do mechanizmów wymiany danych). Państwa powinny zwiększyć wymianę informacji związanych z unikaniem kolizji. Rządy powinny implementować narodowe standardy poprzez bliższą współpracę z przemysłem, co może doprowadzić do powstania prototypu wielostronnego systemu unikania kolizji. Wymiana danych mogłaby przyczynić się do ulepszenia baz danych o obiektach kosmicznych i ustanowienie wspólnych standardów międzynarodowych. Warto się zastanowić nad stworzeniem instytucji mającej na celu ułatwienie współpracy państw członkowskich ONZ w sprawach kosmicznych.

W kwestii likwidowania zakłóceń działań kosmicznych powinno zostać ustanowione centrum informacyjne (*International Interference Information Centre*) i podobne struktury dla najważniejszych ryzyk. Tak na przykład wzmocnienie Komitetu Konsultacyjnego Systemów Danych Kosmicznych (*Consultative Committee for Space Data Systems – CCSDS*) będzie sprzyjać efektywnej wymianie danych pomiędzy operatorami kosmicznymi. To spowoduje lepszą rządową i komercyjną współpracę oraz wzajemne wsparcie. Takie stanowisko zostało zaproponowane na posiedzeniu UN COPUOS w 2010 r. w kontekście prac nad *Preliminary Reflections on Long-term Sustainability of Outer Space Activities*<sup>11</sup>.

Z drugiej strony silniejsza konkurencja w całym sektorze kosmicznym może prowadzić do zwiększonej koncentracji i/lub liczby bankrutów na rynkach komercyjnych. Wreszcie jedną z kluczowych niewiadomych (w najbliższej przyszłości) dla wszystkich działań w przestrzeni kosmicznej jest nagromadzenie śmieci kosmicznych; w tej sytuacji pojedynczy wypadek może mieć katastrofalne skutki dla całej kosmicznej przestrzeni gospodarczej.

Dotychczas regulacje rządowych organów regulacyjnych obejmowały „duże” satelity. Stąd potrzeba wprowadzenia w prawie krajowym przepisów dotyczących małych satelitów, m.in. ich ubezpieczenia i opracowania zasad rejestracji, ochrony środowiska (w tym usuwanie pozostałości). Zasady te powinny być zrównoważone. Małe satelity mogą stanowić zagrożenie dla istniejących technologii, ponieważ obsługują nowy segment rynku i są

---

<sup>11</sup> Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities. Conference room paper by the Chair of the Working Group on the Long-term Sustainability of Outer Space Activities*, A/AC.105/2018/CRP.20.

tańsze w eksploatacji. Takie satelity są zazwyczaj wykorzystywane do testowania nowych produktów, zmniejszając ryzyko niepowodzenia misji. Traktuje się je teoretycznie jako „obiekt kosmiczny” odpowiadający przepisom międzynarodowym – w praktyce są one wyłączone z zakresu tego prawa. Nanosatelity będą w przyszłości coraz bardziej popularne (mogą być również wykorzystywane w misjach komercyjnych). Największym zagrożeniem dla nich jest możliwość kolizji, gdyż pozbawione są możliwości manewrowania i mogą zostać pozostawione jako śmieci kosmiczne.

O ochronie środowiska kosmicznego stanowi także art. V OST. Państwa strony traktatu informują niezwłocznie inne państwa albo Sekretarza Generalnego ONZ o wszelkich odkrytych przez nie zjawiskach w przestrzeni kosmicznej, łącznie z Księżycem i innymi ciałami niebieskimi, które mogą stanowić niebezpieczeństwo dla życia lub zdrowia kosmonautów. Podobnie art. VIII stanowi o międzynarodowej odpowiedzialności państw za szkody względem innego państwa spowodowane przez obiekt kosmiczny. Więcej na ten temat stanowi art. XXI *Konwencji o międzynarodowej odpowiedzialności za szkody wyrządzone przez obiekty kosmiczne z 1972 r.*<sup>12</sup>

Jak już wspomniano, art. IX OST stanowi o tym, aby państwa unikały szkodliwego zanieczyszczenia, jak również niekorzystnych zmian w środowisku ziemskim, wynikających z wprowadzenia substancji pozaziemskich, a w razie konieczności podejmują odpowiednie konsultacje międzynarodowe przed przystąpieniem do takiej działalności lub takiego doświadczenia.

Przepis ten jest niewystarczający z uwagi na zbyt mały rygor standardów dotyczących ochrony środowiska kosmicznego. Środowisko to jest bardzo wrażliwe z uwagi na zanieczyszczenie, gdyż jakiegokolwiek szkody są zazwyczaj nienaprawialne i pozostają dalej zagrożeniem dla eksploatacji Kosmosu dla przyszłych pokoleń. Dla środowiska kosmicznego ustalono jedynie ten jeden przepis w OST, który wydaje się niewystarczający – ma on charakter bardziej chroniący człowieka aniżeli środowisko kosmiczne.

Nie ustalono standardów ochrony, do których przepis się odwołuje, ani nie powołano organu kontrolnego. Przepis ten ponadto jest sformułowany dosyć ogólnie, a słowa *harmful contamination* użyte w tekście są

---

<sup>12</sup> *Konwencja o międzynarodowej odpowiedzialności za szkody wyrządzone przez obiekty kosmiczne*, sporządzona w Moskwie, Londynie i Waszyngtonie dnia 29 marca 1972 r., Dz. U. z 1973 r., Nr 27, poz. 154.

roźnie interpretowane (dalej nie wiadomo, czy może tu być mowa o śmieciach kosmicznych). Mówiąc o międzynarodowych konsultacjach państw, bardziej ma się na uwadze działania kosmiczne państw, aniżeli ochronę samego środowiska kosmicznego. Zatem te słowa nie powstrzymują państw od szkodliwej działalności w przestrzeni kosmicznej. Wynika więc, iż w sprawie ochrony środowiska sam traktat o przestrzeni kosmicznej nie wystarczy i trzeba posiłkować się międzynarodowym prawem środowiskowym po to, aby można było mówić o zrównoważonym rozwoju Kosmosu. Być może warto byłoby powołać efektywny mechanizm celem zapewnienia takiego zrównoważonego rozwoju [Pavesi 2018, 1-13].

Ochrona środowiska kosmicznego przed zagrożeniami związanymi ze śmieciami kosmicznymi wymaga opracowania ram prawnych i regulacyjnych. Trwałość i stałe bezpieczeństwo środowiska kosmicznego wymaga porozumienia na szczeblu międzynarodowym.

W celu opracowania zestawu konkretnych przepisów dotyczących zarządzania śmieciami kosmicznymi i ich regulowania, pomocne może być skorzystanie z innych przepisów o podobnych kontekstach np. z prawa morskiego. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) może służyć jako punkt odniesienia w opracowywaniu wiążących zasad ograniczania odpadów kosmicznych. Opracowanie i wdrożenie takich zasad przyczyni się do pomyślnego zrównoważonego rozwoju działalności w przestrzeni kosmicznej.

Zanim powstanie kolejny traktat może upłynąć zbyt wiele czasu, istotne może być zajęcie się prawem miękkim i zasadami ruchu drogowego. Prawo morskie może zaoferować pewne ramy odniesienia dla rozwiązania tego problemu. Konkretnie, międzynarodowe prawo ratunkowe na pełnym morzu<sup>13</sup> może pomóc w ustanowieniu podobnego systemu w przestrzeni kosmicznej w odniesieniu do porzuconych statków kosmicznych. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny pomoże w ustalaniu przepisów dotyczących misji *Active Debris Removal* (ADR). Ta agencja jest odpowiedzialna za promowanie i koordynowanie norm technicznych, a także przydzielanie orbity satelitom, może być także zainteresowana w łagodzeniu skutków i usuwania szczątków.

---

<sup>13</sup> *Międzynarodowa konwencja o ratownictwie morskim*, przyjęta przez Międzynarodową Organizację Morską w Londynie dnia 28 kwietnia 1989 r., Dz. U. z 2006 r., Nr 207, poz. 1523.

Potrzebujemy wiążącego międzynarodowego instrumentu prawnego. Prawo morskie może stanowić pewien punkt odniesienia dla rozwiązania tego problemu. W szczególności międzynarodowe prawo ratownictwa na pełnym morzu, jak określono w *Konwencji o ratownictwie*<sup>14</sup>, IMO 1989, może pomóc w ustanowieniu podobnego systemu dla porzuconych statków kosmicznych.

W prawie morskim prawa na trasie reguluje konwencja IMO z 1972 r. w sprawie międzynarodowych przepisów dotyczących zapobiegania zderzeniom na morzu (COLREGs 72)<sup>15</sup>, która została opracowana i przyjęta jako zaktualizowana wersja przepisów dotyczących kolizji z 1960 r. Konwencja i jej kolejne poprawki określają zasady dotyczące kluczowego elementu problemu w środowisku morskim, dotyczącego żeglugi na morzu, mające na celu zmniejszenie ryzyka kolizji statków poprzez ustanowienie priorytetów, jakie należy podjąć np. w przypadku nakładania się trajektorii. Równoległe narysowane między statkami morskimi i statkami kosmicznymi, a także trasami i orbitami byłyby ciekawym ćwiczeniem i mogłyby ukształtować podstawę zobowiązania państw wystrzeliwujących satelity, aby nie utrudniać przejścia innych statków kosmicznych na orbicie. Ogólnie rzecz biorąc, skutkowałoby to obowiązkowym zaplanowaniem środków deorbitalnych i wprawieniem w ruch, zanim okres eksploatacji statku kosmicznego dobiegnie końca, w celu oczyszczenia ścieżki zgodnie z wymaganiami reguły [Hackett 1994, 17-21].

### 3. Działania w kierunku ograniczenia ilości śmieci kosmicznych

W kierunku rozwiązania sprawy śmieci kosmicznych powstałych za sprawą działalności człowieka w Kosmosie działa utworzony w 1993 r. Międzyagencyjny Komitet Koordynacyjny ds. Szczątków Kosmicznych (IADC) zrzeszający wiele państw, w tym m.in. Chiny. Ponieważ jednak liczba obiektów w przestrzeni kosmicznej ciągle rośnie, zadanie to na razie wydaje się nierozwiązywalne. Wynika to z niefrasobliwości ludzi, niekiedy

---

<sup>14</sup> <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Salvage.aspx> [dostęp: 23.01.2023].

<sup>15</sup> *Konwencja w sprawie międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu*, sporządzona w Londynie dnia 20 października 1972 r., Dz. U. z 1977 r., Nr 15, poz. 61.

nawet przywódców państw. Najnowszym tego przykładem jest użycie przez Indie, na początku 2019 r., broni ASAT [Pavesi 2018, 1-15].

Ze względu na rozpad obiektów – proces, który następuje na skutek stopniowego zmniejszania się odległości pomiędzy dwoma ciałami orbitującymi, nagromadzenie zanieczyszczeń, jest nierównomierne na różnych orbitach. Najwyższe stężenia szczątków znajduje się na orbicie LEO pomiędzy 800 a tysięcznym kilometrem wysokości. Pozostałe pasy szczątków znajdują się w pobliżu orbity konstelacji satelitów nawigacyjnych, na wysokości pomiędzy 19 a 23 tys. kilometrów, a na orbicie geostacjonarnej na wysokości około 36 tys. kilometrów. Ilość obiektów zgromadzonych na orbitach ziemskich, zgodnie z danymi Europejskiej Bazy Danych oraz Bazy danych Systemu Informatycznego Charakteryzowania Obiektów w Przestrzeni Kosmicznej (DISCOS), ciągle się zwiększa. W szczególności w ciągu ostatniej dekady nastąpił znaczny wzrost liczby szczątków na LEO.

To nagromadzenie odpadów kosmicznych stanowi znaczne i rosnące zagrożenie kolizyjne zarówno dla satelity na orbicie, jak i satelity podróżującego przez kosmiczny pas śmieci podczas wejścia i opuszczania orbity. Niebezpiecznie robi się także wokół stacji kosmicznych ISS (gdzie pracują astronauty) oraz chińskiej stacji *Tiangong* (*China Space Station* – CSS), która miała być gotowa w 2022 r.

Większość obiektów spala się wchodząc do atmosfery; szacunki jednak wskazują, że 10-20% dużych obiektów dociera jednak do powierzchni Ziemi. Szereg dużych statków kosmicznych zostało bezpiecznie zdeorbitowanych, np. 120-tonowa stacja kosmiczna *Mir* nad południowym Pacyfikiem w 2001 r. Ale kilka innych dużych obiektów opadło na Ziemię w niekontrolowany sposób. W 2018 r. chiński statek kosmiczny *Tiangong 1* spłonął nad Oceanem Spokojnym.

Usuwanie dużych szczątków jest skomplikowane, ale wykonalne. Problemy zaczynają się w momencie ustalenia, kto ma za to zapłacić i czy będzie to mogło stanowić zyskowny biznes. Christophe Bonnal na konferencji IAASS w październiku 2021 r. wymienił tu kilka sposobów, ale, jak podkreślił, nie jest to lista zamknięta. Jednym z nich jest stworzenie międzynarodowego programu usuwania śmieci kosmicznych *Global ADR programme*, np. pod egidą ONZ czy IADC, dzieląc odpowiedzialność i koszty pomiędzy

stronami. Nie jest to jednak takie proste, gdyż jak obliczył, aż 88% populacji „zainteresowanej” pochodzi z USA, Rosji i Chin.

Poza tym koszty takich usuwań szczątków są bardzo wysokie (usunięcie 10 z nich to około 100 mln Euro na rok). Innymi rozwiązaniami są np. znalezienie dla misji uzasadnionych ekonomicznie argumentów (np. usuwanie satelitów w zamian za dostęp do intratnego dostępu do GEO) czy polityka podatkowa (np. eco-tax). W tym drugim przypadku jednak pozostaje otwarta kwestia międzynarodowego nadzorca, który by kontrolował i karał operatorów za nieprzestrzeganie obowiązujących zasad. Jeszcze innym rozwiązaniem jest pokazanie zysku podmiotom działającym w Kosmosie dla obniżenia prawdopodobieństwa kolizji (np. z dużym szczątkiem). Jeszcze innym rozwiązaniem jest nowa usługa komercyjna oferowana na rynku kosmicznym tj. *in-orbit servicing* (np. inicjatywa *ESA Clean Space*). Rozwiązanie tego problemu związanego z finansowaniem likwidacji śmieci kosmicznych, prędzej czy później, musi się znaleźć [Bonnal 2016, 21].

Takie ogromne nagromadzenie się szczątków może mieć katastrofalne znaczenie dla całej kosmicznej przestrzeni. Problem szczątków kosmicznych nabiera na znaczeniu przy natężeniu „ruchu” w Kosmosie, spowodowanym także podróżami suborbitalnymi z pasażerami. Najpopularniejszym rejonem dla wykonywania takich lotów jest wysokość 550 km (czyli najbardziej zatłoczona i zanieczyszczona śmieciami orbita LEO)<sup>16</sup>.

Niektórzy proponują, iż aby zachować bezpieczeństwo takich lotów z pasażerami należałoby rejon pomiędzy 350-450 km traktować jako przeznaczony dla turystyki kosmicznej i uznać go jako *spaceflight protected region*. W tej sytuacji w wielu krajach podmioty państwowe i prywatne podjęły działania zapobiegawcze, m.in. powstał program aktywnego usuwania śmieci kosmicznych (*Active Debris Removal*), a także tańszy projekt JCA (*Just in-time Collision Avoidance*) korzystający z orbitalnego laseru i przypominający w działaniu broń antysatelitarną (*Anti-Satellites Weapons-ASAT*).

Sprawy finansowe likwidacji szczątków kosmicznych mega konstelacji badali N. Veliev, A. Ivanov i S. Biktimirov. Autorzy stwierdzili, że chociaż

---

<sup>16</sup> *The Space Economy in Figures. How space contributes to the global economy*, OECD, Paris 2019, s. 101 i n.



obecny poziom technologii umożliwia aktywne usuwanie szczątków, jego przydatność biznesową należy zbadać. Badania i symulacje wykonane na modelu pozwoliły na analizę wskaźników finansowych (przychody, przepływy pieniężne, suma, koszty, uzupełnienia kapitału) firmy obsługującej – ADR. Autorzy do analizy perspektyw telekomunikacji wybrali pierwszy szczebel konstelacji SpaceX Starlink. Wyniki symulacji oraz analiz wykazały, że utrata satelity może znacząco wpłynąć na jakość usług, zmniejszając ich wartość o 20% i prowadzić do bardzo wysokich strat finansowych dla operatora (do jednego miliarda dolarów). Natomiast współpraca firmy ADR i operatorów dają konkretne zyski. Pomimo wagi wyników, ograniczenia metody są oczywiste ze względu na to, że badania przeprowadzono tylko dla konkretnej dużej mega konstelacji. Przyszłe badania winny dotyczyć: 1) różnych konstelacji z różnymi parametrami orbity; 2) różnych wysokości (MEO i GSO); 3) innych rynków, takich jak np. Globalny System Nawigacji Satelitarnej (GNSS), obserwacji Ziemi (EO) czy aplikacji obronnych; 4) przy zastosowaniu różnych metod optymalizacji [Veliev, Ivanov, i Biktimirov 2020, 1044].

Na posiedzeniu Rady Ministerialnej ds. Przestrzeni Kosmicznej UE, ESA uwzględniła ADR jako cel strategiczny, uzyskując dla niego poparcie finansowe władz Unii w ramach inicjatywy *Czysta przestrzeń kosmiczna*. W grudniu 2019 r. złożono zamówienie na usługi usuwania śmieci kosmicznych szwajcarskiemu, nowo powstałemu przedsiębiorstwu ClearSpace – jego pierwszym zadaniem było usunięcie 100 kg urządzenia *Vega Secondary Payload* (Vespa) z górnej części orbity LEO. W tym samym roku w Europie zaprezentowano inne techniki ADR. Firma Surrey Satellite Technology Ltd. z powodzeniem wdrożyła innowacyjny „żagiel kosmiczny” o nazwie *Icarus-1* o powierzchni 6,7 m<sup>2</sup>. Żagiel znajdował się na pokładzie *TechDemoSat-1*, satelity wystrzelonego na wysokość 635 km na LEO. Ma on na celu zwiększenie niewielkich oporów atmosferycznych, które nadal wpływają na satelity do wysokości orbity 1 000 km i więcej<sup>17</sup>.

Na tejże konferencji Scott M. Steele zwrócił uwagę na to, że samodzielne usuwanie przez państwa szczątków z orbity ziemskiej, jest nadal bardzo

---

<sup>17</sup> *TechDemoSat-1 on board camera captures drag sail deployment*, Surrey, 31 May 2019, <https://www.sstl.co.uk/media-hub/latest-news/2019/techdemosat-1-on-board-camera-captures-drag-sail-deployment> [dostęp: 30.04.2021].

kosztowne; w tej sytuacji dobrym rozwiązaniem może być porozumienie między państwami i zorganizowanie wspólnego konsorcjum zajmującego się „czyszczeniem” przestrzeni kosmicznej [Steele 2020].

Do wzrostu ilości śmieci kosmicznych przyczyniają się także nieprawidłowe procedury zgłaszania nieudanych wystrzeżeń lub awarii w Kosmosie (niektórzy uznają, iż ryzyko kolizji ze śmieciami kosmicznymi powinno być, a nie zawsze jest, znane podczas wystrzeżeń obiektów). Przykładowo wystąpiły incydenty braku zgłoszeń o wystrzeleniach (w tym nieudanych) przez armię amerykańską. Kolejnym powodem braku zgłoszeń jest polityka takich państw jak Rosja czy Chiny, a poza tym brak administracyjnych wymagań do publikacji takich wystrzeżeń [Verspieren 2020].

### Zakończenie

W dzisiejszych czasach, gdy świat wszedł w „drugą rewolucję przemysłową” dzięki innowacjom technologicznym na dużą skalę, z jednej strony podejmowane są wysiłki, aby dążyć do szybkiego rozwoju nauki i technologii, z drugiej zaś – powstrzymywać państwa i przemysł prywatny od lekkomyślnego degradowania przestrzeni kosmicznej i ciał niebieskich. Warto postawić sobie pytanie, czy istniejące od kilkudziesięciu lat traktaty kosmiczne spełniły pokładane w nich nadzieje i czy w obliczu nowych wyzwań i zagrożeń, takich jak militaryzacja przestrzeni kosmicznej, wzrost znaczenia eksploracji Kosmosu i związanym z tym zanieczyszczeniem środowiska (śmieci kosmiczne), nadążają za coraz bardziej ekspansywną polityką niektórych najbardziej rozwiniętych państw. Obecnie coraz trudniejsze staje się osiągnięcie porozumienia między państwami wysoko rozwiniętymi a rozwijającymi się w kwestiach zagospodarowania Kosmosu.

Wydaje się, że „prawo twarde” (*hard law*) oparte o system traktatowy i konwencyjny nie ma szans rozwoju. Obecnie widać wyraźnie, iż coraz większą rolę odgrywa „prawo miękkie” (*soft law*). Przykłady prawa miękkiego np. kodeksów postępowania, wskazują na nowy trend zapewniający szersze globalne przyjęcie przepisów choćby w stosunku do kwestii ograniczeniu wzrostu ilości szczątków kosmicznych. Można mieć nadzieję, że w niedalekiej przyszłości niektóre państwa (m.in. USA), w interesie własnym zgodzą się na opracowanie i przyjęcie nowych przepisów o ochronie środowiska kosmicznego, powietrznego i ziemskiego.

Ochrona środowiska kosmicznego przed zagrożeniami związanymi ze śmieciami kosmicznymi wymaga opracowania ram prawnych i regulacyjnych. Trwałość i stałe bezpieczeństwo środowiska kosmicznego wymaga porozumienia na szczeblu międzynarodowym. Kształt międzynarodowego prawa kosmicznego na razie nie zmienia się. Jednak pojawiające się wyzwania nadają mu nowe kierunki na przyszłość. Warto być więc na bieżąco z nowymi trendami kosmicznymi i rozumieć zmiany, których społeczność międzynarodowa oczekuje. Niekoniecznie wiążą się one z powstawaniem nowych konwencji czy traktatów międzynarodowych, ale czasem mają formę wytycznych, tak jak np. w przypadku kodeksów czy rekomendacji, m.in. w ramach IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee). Niektórzy jednak nadal uznają, iż działania te są niewystarczające i mało efektywne. Proponuje się m.in. utworzenie organizacji międzynarodowej mającej łagodzić skutki śmieci kosmicznych oraz je usuwać. Organizacja miałaby m.in. nakładać podatki na użytkowników orbit i zniechęcać operatorów do nowych wyrzyleń.

Dogłębne zrozumienie zagrożeń powodowanych przez śmieci kosmiczne jest ważne, aby w pełni zrozumieć zakres przyszłych wyzwań związanych z bezpieczeństwem. Bez takiego zrozumienia raczej jest niemożliwe ich skuteczne złagodzenie. Systemy i pojazdy kosmiczne niekorzystnie wpływają na rosnącą ilość szczątków. Efekt kaskadowy wytwarzany przez obiekty kosmiczne jest coraz większym problemem. Musimy starać się zminimalizować wpływ niekontrolowanego ponownego wejścia obiektów, które wpływają na bezpieczeństwo osób na lądzie, w powietrzu i na morzu. Złożoność zagadnień związanych z bezpieczeństwem kosmicznym i charakter przyszłych zagrożeń może wymagać rozwiązania poprzez rozszerzenie międzynarodowych ram regulacyjnych.

W przypadku działań związanych ze startem i ponownym wejściem pojazdów i urządzeń kosmicznych istnieją niekiedy przepisy krajowe, brak jednak uzgodnień międzynarodowych. Od wielu lat debatuje się nad międzynarodowymi wytycznymi dotyczącymi łagodzenia skutków kosmicznych śmieci opracowanymi przez Międzyagencyjny Komitet ds. Koordynacji (ponadto opublikowała je Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna jako normę dotyczącą łagodzenia skutków kosmicznych śmieci, tj. ISO 24113). Wydaje się, że duża część społeczności międzynarodowej

jest przekonana co do konieczności przyśpieszenia prac nad złagodzeniem skutków działania śmieci kosmicznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Bonnal, Christophe. 2016. *Pollution Spatiale: l'état d'urgence*. Paris: Edition Belin.
- Hackett, George T. 1994. *Space Debris and the Corpus Iuris Spatialis. Forum for Air and Space Law*. Vol. 2. Gif sur Yvette: Editions Frontières.
- Mosteshar, Sa'id. 2013. „Space Situational Awareness: need, solutions and some consequences.” *Zeitschrift für Luftrecht und Weltraum-Rechtsfragen* 4:719-26.
- Muweis, Justyna. 2018. „Odpady w przestrzeni kosmicznej i próby ich minimalizowania.” *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych* 67, nr 2:449-54. [https://doi.org/10.36921/kos.2018\\_2403](https://doi.org/10.36921/kos.2018_2403)
- Pavesi, Giulia. 2018. „Legal Consequences of Environmental Pollution in Outer Space.” W *A Fresh View on Outer Space Treaty*, red. Annette Froelich, 1-15. Cham: Springer.
- Pelton, Joseph, Tomasso Sgobba, i Marc Trujillo. 2020. „Space Safety.” W *Handbook of Space Security. Policies, Applications and Programs*, red. Kai U. Schrogl, Adriaensen Maarten, Christina Giannopapa, i in., 1-34. Cham: Springer.
- Robinson, Jana M., Paul Schaefer, i Karl F. von der Dunk (red.). 2010. *ESPI Report 27 Prospects for Transparency and Confidence-Building Measures in Space* (September 2010). Vienna: ESPI.
- Steele, Scott M. 2020. „Can International Law Provide a Basis for Actively Removing Space Debris?” <https://amostech.com/TechnicalPapers/2020/Orbital-Debris/Steele.pdf> [dostęp: 15.10.2021].
- Veliev, Nikita, Anton Ivanov, i Shamil Biktimirov. 2020. „Active Debris Removal for Mega-constellation – reliability.” W *Handbook of Space Security*, red. Kai U. Schrogl, 1-19. Cham: Springer Nature.
- Verspieren, Quentin. 2020. „The US Air Force compliance with the Orbital Debris Mitigation Standard Practices.” <https://amostech.com/TechnicalPapers/2020/Orbital-Debris/Verspieren.pdf> [dostęp: 15.10.2021].
- Ziemnicki, Paweł. 2019. „Aktywne sprzątanie orbity jedynym sposobem na kosmiczne śmieci.” <https://www.space24.pl/aktywne-sprzatanie-orbity-jedynym-sposobem-na-kosmiczne-smieci-wywiad> [dostęp: 15.09.2022].