

DOI 10.14746/ssp.2023.2.10

Krzysztof SALA

Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

ORCID: 0000-0002-7614-9309

## Kosmiczne śmieci jako globalne wyzwanie ekologiczne

**Streszczenie:** Tematyka zanieczyszczenia powietrza, wody, gleby należy do najczęściej poruszanych zagadnień związanych z zagrożeniami ekologicznymi. Funkcjonuje ona również doskonale w powszechnej świadomości społecznej. Natomiast inna sytuacja zachodzi w przypadku zanieczyszczeń kosmicznych. Świadomość funkcjonowania kosmicznych śmieci i zagrożeń, jakie mogą sprawiać wśród społeczeństw jest nikła, a często wręcz nieobecna. Wynikać to może z małej popularyzacji wiedzy o problematyce kosmicznej w mediach, jak również z faktu, że zagrożenia tego typu pojawiły się stosunkowo niedawno. Liczba publikacji naukowych poruszających temat kosmicznych odpadków nie należy do obszernych. Luka poznawcza dotyczy także najnowszej wiedzy o zagrożeniach ze strony kosmicznych odpadów i sposobów ich eliminacji. Ujawniona luka poznawcza stanowi powód do poruszenia niniejszej tematyki. Celem niniejszej publikacji jest wykazanie, że kosmiczne śmieci noszą ze sobą niebagatelne zagrożenia ekologiczne na skalę globalną. Jednocześnie istnieją jednak sposoby skutecznego ograniczania tego zjawiska. Publikacja ma również pozytywnie wpłynąć na wzrost świadomości omawianej tematyki wśród społeczeństwa. Hipoteza badawcza brzmi: Istnieje poważny związek pomiędzy występowaniem kosmicznych odpadków a istotnym wpływem na stan środowiska naturalnego i ludzi w wymiarze ogólnoswiatowym. W pracy dokonano omówienia pojęcia zanieczyszczenia kosmicznego, jego źródeł, początków, form oraz podziału. Szczególną uwagę poświęcono scharakteryzowaniu zagrożeń ekologicznych, jakie niesie ze sobą omawiane zjawisko. W publikacji ujawniono również przykłady działań mających na celu ograniczanie tego szkodliwego zjawiska. Artykuł powstał przy wykorzystaniu materiałów książkowych, czasopism, jak również informacji netograficznych.

Metodę badawczą zastosowaną w publikacji stanowi analiza danych zastanych i krytyka piśmiennicza. Wyniki badań pozytywnie weryfikują postawioną hipotezę.

**Słowa kluczowe:** kosmiczne odpadki, obiekty bezużyteczne, orbita okołoziemska, zagrożenia ekologiczne

## Wstęp

Zagrożenia ekologiczne są współcześnie utożsamiane głównie z zagrożeniami dotyczącymi Ziemi i atmosfery okołoziemskiej. Tymczasem wraz z rozpoczęciem penetracji przestrzeni kosmicznej pojawiło się kolejne wyzwanie ekologiczne. Przez wiele lat nie zdawano sobie sprawy, że beużyteczne przedmioty pozostawione na orbicie okołoziemskiej, które dodatkowo trudno kontrolować mogą stanowić istotny problem.

Celem i tezą niniejszej publikacji jest wykazanie, że kosmiczne śmieci niosą ze sobą niebagatelne zagrożenia ekologiczne na skalę globalną. Jednocześnie istnieją sposoby skutecznego ograniczania, a nawet zwalczania tego zjawiska. Publikacja ma również pozytywnie wpłynąć na popularyzację wiedzy o odpadkach kosmicznych wśród społeczeństwa.

Hipoteza badawcza brzmi: Istnieje poważny związek pomiędzy występowaniem kosmicznych odpadków a zagrożeniem dla środowiska naturalnego i ludzi w wymiarze ogólnoswiatowym.

W pracy dokonano omówienia pojęcia zanieczyszczenia kosmicznego, jego źródeł, początków, form oraz podziału. Szczególną uwagę poświęcono scharakteryzowaniu zagrożeń ekologicznych, jakie niesie ze sobą omawiane zjawisko. W publikacji ujawniono również przykłady działań mających na celu ograniczanie tego szkodliwego zjawiska.

Artykuł powstał przy wykorzystaniu materiałów książkowych, czasopism, jak również informacji netograficznych. Metodę badawczą zastosowaną w publikacji stanowi analiza danych zastanych i krytyka piśmiennicza. Wyniki badań pozytywnie weryfikują postawioną hipotezę.

### 1. Pojęcie kosmicznych śmieci

Dla przeciętnego człowieka kosmos jest ogromną, trudną do zdefiniowania i rozgraniczenia pustą przestrzenią, gdzie okazjonalnie pojawiają się jakieś obiekty (np. asteroidy i meteoryty). Jednak taki wizerunek staje się z roku na rok coraz bardziej fałszywy. Przestrzeń kosmiczna wypełniona jest bowiem wieloma niechcianymi, a często sprawiającymi niemałe kłopoty obiektami, czyli kosmicznymi śmieciami (David, 2005).

Pojęcie kosmicznych śmieci zwanych również kosmicznymi odpadkami (ang. *Space Debris*) można zdefiniować jako obiekty wytworzone przez człowieka pozostające na orbicie okołoziemskiej, a które nie wy-

konują już przeznaczonych dla nich zadań. Kosmiczne odpadki stanowią zasadniczo:

- zużyte człony raket wielostopniowych;
- nieczynne satelity;
- fragmenty powstałe w wyniku kolizji lub eksplozji satelitów czy też raket;
- przedmioty porzucane przez kosmonautów (niepotrzebne skafandry lub ich części) (Smirnov, 2002).

Problematyka kosmicznych śmieci pojawiła się wraz z początkiem podboju kosmosu. W dniu 4 października 1957 roku po raz pierwszy w dziejach ludzkości doszło do umieszczenia na orbicie okołoziemskiej sztucznego satelity Sputnika 1. Swoją misję pełnił do 25 października 1957 roku (Brzeziński, 2009). Po tym czasie, a przed swoją deorbitacją która nastąpiła 3 stycznia 1958 roku jako obiekt bezużyteczny stał się pierwszym kosmicznym odpadkiem.

W odpowiedzi na działania ZSRR, USA wystrzeliły w 1958 Explorera 1 na średnią okołoziemską orbitę. Obiekt pozostaje do dzisiaj śmieciem kosmicznym o najdłuższym stażu na orbicie (Suszkow, 1969).

W kolejnych latach wraz z intensyfikacją podboju kosmosu (misja Wostok 1 w 1961 roku, czy misja Apollo 11 w 1969 roku) ilość kosmicznych odpadków zaczęła stopniowo i systematycznie rosnąć – Godwin, 2005). Do znacznego przyrostu ilości kosmicznych śmieci przyczyniło się wykorzystywanie przez USA od lat 60. XX wieku raket nośnych Delta różnych generacji. Do tej pory wystrzelono ich ponad 300, znacznie zwiększając skalę problemu (Forsyth, 2002). USA i ZSRR miały przez lata największy wpływ na zaśmiecanie kosmosu.

Powstawanie kosmicznych śmieci jest często rezultatem utrwalanych przez lata zachowań i mechanizmów działania. Każda misja kosmiczna kończyła się w zasadzie w taki sam sposób. Statek po wyczerpaniu paliwa był opuszczany przez załogę i porzucany w przestrzeni. W miarę następujących kolizji z innymi obiektami, dawna sonda rozpadała się na mniejsze części, gubiąc elementy swojej konstrukcji. Astronauci nie wahali się również porzucać razem ze statkiem swoich osobistych sprzętów – pozostawiali tam kamery, części odzieży oraz przedmioty higieny osobistej (<https://ciekawe.org/2015/11/13/kosmiczne-śmieci-jak-się-ich-pozbyć>).

Działania ludzkie w kosmosie powodują zróżnicowane konsekwencje. W 2007 roku Chiny dokonały zestrzelenia sztucznego satelity na wysokości 800 km. W rezultacie podjętych działań powstała chmura z re-

kordową liczbą 3000 odłamków. 27 marca 2019 Indie po raz pierwszy dokonały zestrzelenia swojego sztucznego satelity z wysokości 300 km, powodując powstanie kolejnych 400 nowych odpadów kosmicznych, z czego 24 posiada rozmiary powyżej 10 cm (<https://www.space24.pl/indie-zestrzelily-satelite>).

Kosmiczne odpadki mogą przybierać różnorakie rozmiary (McDaniel, 1997). Jak najbardziej praktyczne wydaje się dokonanie pośród nich praktycznego podziału. Najczęściej przyjmowany w literaturze podział kosmicznych śmieci prezentuje tabela 1.

Tabela 1

### Podział kosmicznych śmieci

Rodzaj kosmicznych śmieci	Rozmiar	Możliwość obserwacji z Ziemi	Stopień zagrożenia dla ludzi i obiektów
Małe	poniżej 1 cm	utrudniona	niski
Duże	od 10 cm	możliwa	wysoki

**Źródło:** Opracowanie własne.

Naukowcy dzielą generalnie kosmiczne śmieci na duże i małe. Podział ten wynika nie tylko z ich wielkości, ale również z możliwości ich śledzenia. Zdecydowanie łatwiejsze do monitorowania są zanieczyszczenia duże.

Za śmieci duże uznaje się te o średnicy 10 cm i powyżej oraz o ciężarze około 1 kg. Za śmieci małe (i jednocześnie najmniej groźne) uznaje się te o wielkości 1 cm lub mniej. Brak natomiast precyzyjnego określenia na odpadki w przedziale powyżej 1 cm, a poniżej 10 cm.

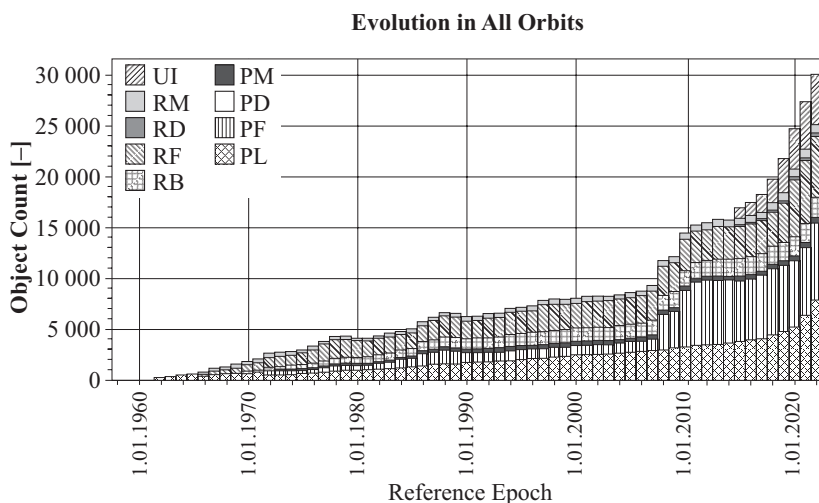
W większości przypadków kosmiczne śmieci nie podlegają kontroli przez człowieka. Z tego powodu mogą stwarzać zagrożenie dla aktywnie działających satelitów. Agencje kosmiczne monitorują ponad 23 tys. kosmicznych śmieci większych niż 1 cm. Całkowita liczba obiektów powyżej 1 cm jest natomiast szacowana na 500 tys. Jednak w przestrzeni może orbitować nawet pół miliarda elementów wielkości poniżej 1 cm. Mogą to być tak drobne elementy jak fragmenty farby, którą są powlekane statki kosmiczne lub pozostałości stosowanego do napędu paliwa raketowego (Ciepliński, Woźniak, 1994). Z kolei model statystyczny opracowany przez ESA, według danych na koniec 2022 roku szacował liczbę kosmicznych śmieci następująco:

- 36 500 obiektów większych niż 10 cm;
- 1 mln obiektów o średnicy 1–10 cm;

- 130 mln obiektów o średnicy 1 mm–1 cm (<https://www.national-geographic.pl/artukul/zlapac-zamknac-i-spalic-jak-szwajcarski-startup-zamierza-posprzatac-orbite-z-duzych-i-niebezpiecznych-kosmicznych-odpadkow-230222051339>).

Zmiany w zakresie środowiska kosmicznego zostały poddane analizie, której wyniki przedstawia wykres 1.

Wykres 1. Raport ESA o środowisku kosmicznym w 2022 roku



Źródło: <https://astrofaza.pl/kosmiczne-smieci-sposob-na-sprzatnicie-orbit/>.

Dane zawarte na wykresie 1 wskazują na systematyczny wzrost ilości kosmicznych zanieczyszczeń w rozpatrywanym przedziale czasowym.

## 2. Zagrożenia związane z kosmicznymi śmieciami

Do lat 80. XX wieku nie dostrzegano żadnych zagrożeń związanych z kosmicznymi śmieciami. Nie podejmowano jakichkolwiek działań korygujących, prewencyjnych, ani nawet prób dogłębnej analizy omawianego zjawiska. Problematyka kosmicznych śmieci nie była także podejmowana w szerszej debacie publicznej i publikacjach naukowych.

Pierwsze próby zbadania kosmicznych śmieci, a także podejmowania działań w kierunku ich ograniczania datuje się na początek lat 80. XX

wieku w USA. NASA i NORAD przeprowadziły pierwsze badania, których celem było zbadanie środowiska kosmicznych śmieci. W 1981 r. ich liczbę oszacowano na 5 tysięcy obiektów (Schefter, 1982). Do dnia dzisiejszego obie organizacje prowadzą profesjonalną archiwizację danych o obiektach pozostających w kosmosie (Katalog Obiektów Kosmicznych – NORAD oraz dwuliniowy zestaw danych – NASA) (Hoots, Schumacher, Glover, 2004).

Do zainteresowania zagrożeniami wywołanymi przez odłamki kosmiczne przyczyniła się w istotny sposób głośna katastrofa promu kosmicznego Challenger, do której doszło styczniu 1986 roku (McConnell, 1987).

Do pierwszych prób efektywnego ograniczania ilości kosmicznych śmieci należy zaliczyć działania zastosowane w tym samym okresie przez McDonnell Douglas. Firma wdrożyła w dopalaczu rakiety Delta rozwiązanie, które usuwało nadmiar paliwa po skończonej pracy, co zapobiegało rozerwaniu zbiornika i powstawaniu kosmicznych odpadków (Christiansen, Hydeb, Bernhard, 2004).

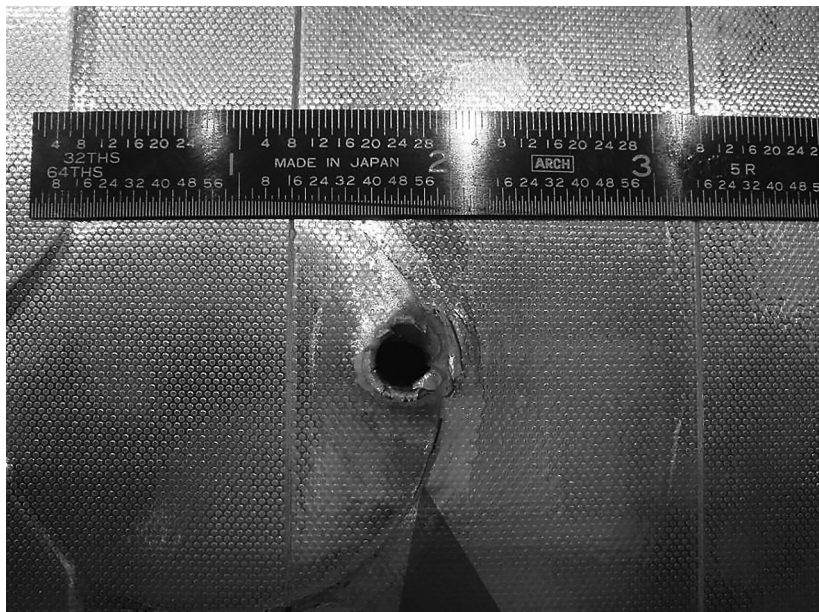
Dla porównania w ZSRR w latach 80. XX wieku podobne działania nie były prowadzone, pomimo intensywnego wystrzeliwania rakiet w kosmos. Wszelkie związane z tym zagrożenia były ignorowane.

Kosmiczne odpadki stwarzają różnorakie, często poważne problemy. W pierwszej kolejności stanowią zagrożenie dla lotów kosmicznych, samych kosmonautów oraz dla aktywnych satelitów (Smirnov, 2002). W drugiej kolejności zagrażają powierzchni Ziemi oraz zamieszkującym ją ludziom.

Biorąc pod uwagę prędkości orbitalne (około 30 km/s) nawet niewielkie drobinki są w stanie wyrządzić bardzo istotne szkody w poszyciu statków kosmicznych czy powierzchni aktywnych satelitów. Astronauci podczas spacerów kosmicznych mogą być narażeni na groźne uderzenia odłamków, które mogą wywoływać uszkodzenia skafandrów i bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo odbywanej misji (fot. 1).

Pojedyncze zderzenie kosmicznego odpadku o wielkości powyżej 10 cm z aktywnym satelitą może spowodować jego poważne uszkodzenie lub nawet zniszczenie, jednocześnie powodując powstanie kolejnych kosmicznych odpadków (Anselmo, Pardini, 2000).

Szczególnie groźny dla bezpieczeństwa w kosmosie jest syndrom Kesslera (La Vone, 2022). Syndrom Kesslera polega na łańcuchowym zderzaniu się nagromadzonych na niskich orbitach kosmicznych śmieci. Rezultatem tego zjawiska jest ciągle generowanie nowych cząstek, które



Fot. 1. Uszkodzenie poszycia promu kosmicznego przez uderzenie kosmicznego śmiecia

**Źródło:** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/STS-118\\_debris\\_entry.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/STS-118_debris_entry.jpg).

podlegają ponownemu zderzeniu, kreując kolejne, nowe cząstki. Syndrom Kesslera może wiązać się z ciągłym zagęszczeniem kosmicznych odpadów, powodując zwiększenie zagrożenia (Kamassa, 2022).

Kosmiczne odpadki mogą być także groźne dla Ziemi i jej mieszkańców. Kosmiczne śmieci, obniżając sukcesywnie swoją orbitę, wchodzi w atmosferę, ulegając fragmentacji oraz częściowemu spłonięciu. Te cząstki, które przetrwają wejście w atmosferę, mogą uderzyć w dowolne miejsce na powierzchni Ziemi (fot. 2).

Ryzyko dla ludzi ze strony fragmentów śmieci kosmicznych, które przetrwają lot przez atmosferę jest niewielkie, jednak nie pomijalne (Klinkard, 2006). Pierwszy i jak dotąd jedyny kontakt człowieka ze spadającym odłamkiem kosmicznym miał miejsce w 1997 roku w miejscowości Tulsa w stanie Oklahoma w USA. Mieszkaneczka Tulsy wyprowadzająca psa została uderzona w ramię przez stosunkowo wolno opadający, metalowy element. Okazało się, że był to fragment drugiego stopnia rakiety Delta II, który po ośmiu miesiącach spędzonych na orbicie właśnie





Fot. 2. Rozbity moduł Pam-D w styczniu 2001 na terenie Arabii Saudyjskiej

**Źródło:** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PAM-D\\_module\\_crash\\_in\\_Saudi\\_Arabian\\_desert.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PAM-D_module_crash_in_Saudi_Arabian_desert.png).

wszedł w atmosferę. W tym samym czasie w ogródku farmera z Georgetown w stanie Teksas wylądował ważący 250 kg stalowy zbiornik na paliwo z tej samej rakiety (<https://www.pulskosmosu.pl/2015/08/19/orbitaziemska-rosnace-zagrozenie-ze-strony-smieci-kosmicznych>). Spadające z dużej wysokości odpadki kosmiczne mogą powodować trudne do oszacowania szkody w infrastrukturze, powodować wypadki, jak również przyczyniać się do zaśmiecenia dużych obszarów.

Wg najnowszych badań istnieje ok. 10% prawdopodobieństwa, że w wyniku spadania śmieci kosmicznych w kierunku Ziemi, w ciągu najbliższej dekady, zginie człowiek. W ostatnich latach naukowcy oszacowali prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków, spowodowanych w ciągu najbliższych 10 lat przez spadające części np. rakiety. Stworzyli w tym celu model matematyczny, wyposażony w informacje o obecnie występujących śmieciach kosmicznych – jak i tych, które spadały na Ziemię w ciągu ostatnich 30 lat. Pozwoliło to ustalić, że szerokości geogra-



ficzne, na których znajdują się np. Dżakarta w Indonezji, Dhaka w Bangladeszu czy Lagos w Nigerii są około trzech razy bardziej narażone na lądowanie elementów raket, niż teren Nowego Jorku w USA, Pekinu w Chinach czy Moskwy w Rosji.

Poza bezpośrednim ryzykiem dla ludzi, warto zwrócić uwagę na inne zagrożenia. Mianowicie w ciągu każdej minuty każdego dnia z kosmosu spada na powierzchnię Ziemi deszcz mniejszego i większego „gruzu”. Jest to jednak zagrożenie, którego ludzie prawie nie są świadomi. Mikroskopijne cząsteczki z asteroid i komet przebijają się przez atmosferę, by niezauważenie osadzać się na powierzchni Ziemi. Naukowcy obliczają, że każdego roku na Ziemi osadza się ok. 40 000 t takiego pyłu (<https://space24.pl/bezpieczenstwo/kosmiczne-smieci/czy-kosmiczne-smieci-zagrazaja-ludziom-na-ziemi>).

W najbliższych latach liczba satelitów obecnych na niskiej orbicie okołoziemskiej będzie wzrastała wykładniczo. W styczniu 2015 roku na LEO znajdowało się 669 satelitów, jednak w ITU (International Telecommunication Union) w Genewie złożono już wnioski o umieszczenie na orbicie w najbliższych latach kolejnych 11 000 satelitów, wliczając w to megakonstelacje 4000 satelitów takie jak chociażby zgłaszane przez US SpaceX czy Norway STEAM-1. Takie megakonstelacje są częścią tak zwanego kosmicznego Internetu mającego na celu dostarczenie Internetu do 3 miliardów użytkowników w rozwijających się krajach. Takie satelity internetowe będą mniejsze, średnio o masie 150 kg i będą miały krótszą żywotność, a tym samym będą wymagały częstej wymiany.

### **3. Sposoby eliminowania kosmicznych śmieci**

Wzrost świadomości zagrożeń, jakie niosą ze sobą kosmiczne śmieci, powoduje pojawienie się inicjatyw mających na celu rozwiązanie tego kłopotliwego problemu (Oswald, Stabroth, Wiedemann, Wegener, Martin, 2006). Istotnym elementem jest tutaj prowadzenie działań monitorujących przez NASA (<https://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>).

Warto wspomnieć przy okazji o pomysłach mających na celu ochronę przed zderzeniami i tym samym powiększaniem ilości kosmicznych śmieci. Stosowanie cienkiej warstwy metalu na zewnętrznej powłoce statku w chwili zderzenia powoduje, że pył wyparowuje, a powstająca w efekcie plazma rozprzestrzenia się, nie powodując uszkodzeń statku. Do innych metod ochrony przed zderzeniami z większymi obiektami są

także manewry zmiany orbity całej stacji w celu uniknięcia zagrożenia (Stokes, Grant, von Braun, Ramaswamy, Sridharan, Harrison, Sharma, 2006).

Powyższe działania nie przyczyniają się jednak do zmniejszania ilości istniejących odpadków. Większość wymienianych aktywnych sposobów walki z kosmicznymi śmieciami na celu ich spowolnienie, zmniejszenie rozmiarów oraz doprowadzenie do deorbitacji (<https://spaceflight.nasa.gov/shuttle/reference/shutref/events/deorbit/>).

Większość kosmicznych śmieci po pewnym czasie obniża swój lot i hamuje o cząsteczki atmosfery, ulegając samospaleniu. Jednak należy wziąć pod uwagę, że samoistna deorbitacja kosmicznych odpadków zalegających na wyższych orbitach może trwać nawet tysiące lat, co nie rozwiązuje problemu.

Część pomysłów związanych z eliminowaniem odpadków kosmicznych zakłada umieszczanie w przestrzeni kosmicznej elementów, które przyczyniałyby się do ich likwidowania. Takie działania mają jednak sens tylko pod warunkiem, że umieszczane obiekty same również będą ulegać deorbitacji.

Jeden z pomysłów zakłada przyczepianie do wystrzeliwanych satelitów pojemników z niewielkim żaglem słonecznym lub silników spowalniających, które stawiając opór w atmosferze przyczyniałyby się do przyspieszenia procesów deorbitacji i tym samym rozwiązania problemu śmieci. Takie urządzenia można byłoby także przyczepiać do istniejących, nieczynnych już elementów.

Ciekawy pomysł stanowi zastosowanie dwustronnych silników jonowych. Silniki jonowe wystrzelwane w przestrzeń kosmiczną wyrzucałyby z siebie zjonizowany gaz np. ksenon, spowalniając kosmiczny odpad, jednocześnie samemu ulegając deorbitacji.

Kolejny pomysł to siatki do wyłapywania większych elementów, które przyczyniałyby się do przyspieszonej deorbitacji śmieci, same również ulegając procesom spalenia lub utopienia na dnie oceanicznym.

Kolejny pomysł związany jest ze strzelaniem do kosmicznych śmieci z laserów umiejscowionych na powierzchni ziemi. Takie działania również miałyby ostatecznie doprowadzić do deorbitacji niepożądanych obiektów.

Godny uwagi stanowi projekt RemoveDebris Spacecraft opracowany przez naukowców i inżynierów brytyjskich w centrum kosmicznym University of Surrey. Przewiduje on wystrzelenie kosmicznej ciężarówki – śmieciarki, a może raczej pojemnika na śmiecie, który wypróbuje trzy

technologie. Pierwsza to chwytanie siecią większych elementów, takich jak nieczynne satelity. Druga technologia to harpun do „polowania” na duże odpady, pomysł zaczerpnięty ze statków wielorybniczych. Trzecia metoda polega na sprowadzaniu śmieci z orbity, tak aby się obniżały, wchodziły w atmosferę i spalały się w niej (Wright, 2007).

Jednym z rozwiązań na oczyszczenie naszej najbliższej przestrzeni jest opracowany przez University of La Rioja system, który nakierowuje nieużywane już satelity na „wysoce eliptyczne orbity”, aby zepchnąć śmieci w stronę ziemskiej atmosfery – wchodząc w nią obiekty ulegają rozpadowi.

Drugą możliwością, rozważaną przez NASA, jest wypuszczanie do przestrzeni kosmicznej urządzenia działającego jak Pac Man – który wyłapie i zbierze zdezelowane satelity i przyciągnie je w stronę Ziemi, by podobnie jak w poprzednim założeniu, spłonęły wchodząc w ziemską atmosferę. Jeśli prace nad projektem będą przebiegać pomyślnie, możliwe będzie uruchomienie kosmicznego Pac\_Mana w przyszłości roku (<https://ciekawe.org/2015/11/13/kosmiczne-smieci-jak-sie-ich-pozbyc>).

Większość obiektów posiada niewielkie rozmiary, z reguły poniżej centymetra. W celu uniknięcia uszkodzenia działających satelitów można stosować technologie wynalezione do ochrony statków przed meteoroidami, tj. dodanie cienkiej warstwy metalu na zewnętrznej powłoce statku. Do zderzeń z warstwą metalu dochodzi przy tak dużych prędkościach, że pył wyparowuje, a powstająca w efekcie plazma rozprzestrzenia się na tyle szybko, że nie uszkadza statku. Jednak nie każdą część obiektu da się ochronić w ten sposób, np. panele słoneczne i urządzenia optyczne (takie jak teleskop, czy astronawigator) są narażone na uszkodzenia z tej strony. Osłony używane przy załogowych modułach Międzynarodowej Stacji Kosmicznej są w stanie chronić przed odpadkami wielkości mniejszej niż 1 cm ([https://www.wikiwand.com/pl/Kosmiczne\\_%C5%9Bmieci](https://www.wikiwand.com/pl/Kosmiczne_%C5%9Bmieci)).

Na koniec warto zwrócić uwagę na aspekt konieczności rozwijania wspólnego systemu zarządzania przestrzenią kosmiczną. Wspomniany system mógłby funkcjonować na zasadzie współpracy USA i krajów UE (w tym Polski). Jego celem byłoby wypracowanie planu zrównoważonej eksploracji przestrzeni kosmicznej sprzyjającej ograniczaniu kosmicznych odpadków (<https://tech.wp.pl/zasmiecamy-orbite-ziemi-kosmiczny-karambol-to-kwestia-czasu,6863223674882624a>).

Firma DISH stała się pierwszym w historii podmiotem ukaranym „kosmicznym mandatem”, a dokładniej mówiąc karą w wysokości 150 tys.

dolarów. Jest to efekt decyzji Amerykańskiej Federalnej Komisji Łączności (FCC), która po zakończonym dochodzeniu uznała, że DISH naruszyła warunki swojej licencji, umieszczając satelitę na większej wysokości, niż uzgodniono, i nie dokonała jej właściwej deorbitacji. DISH i FCC zawarły ugodę w tej sprawie, a firma przyznała się do winy. Jest to pierwszy raz w historii, kiedy FCC nałożyła taką karę (<https://tech.wp.pl/mandat-za-smiecienie-w-kosmosie-to-pierwsza-taka-sytuacja-w-historii,6948261129837184a>).

### Zakończenie

Kosmiczne śmieci, pomimo jeszcze niewielkiej świadomości społecznej stanowią istotne zagrożenie w skali globalnej. Dotyczy to szczególnie kosmonautów, ale także w zauważalnym stopniu mieszkańców Ziemi. Funkcjonowanie kosmicznych zanieczyszczeń spowodowało już do tej pory zauważalne skutki, których skala może się jeszcze z czasem poszerzyć. Spadające odpadki mogą zagrażać obszarom zurbanizowanym, infrastrukturze miejskiej czy też poruszającym się pojazdom, powodując wypadki i szkody materialne.

Biorąc pod uwagę planowaną dalszą intensyfikację lotów kosmicznych, liczba kosmicznych śmieci może wzrastać, jednocześnie stanowiąc coraz większy problem. Trudno do końca przewidzieć jakie konsekwencje będzie powodował brak podejmowania działań korygujących w tym zakresie. Nie wiadomo także w jakiej skali kosmiczne odpadki będą w stanie zagrozić ludzkiemu zdrowiu i życiu na Ziemi w przyszłości. Brakuje także dokładnych analiz dotyczących negatywnego wpływu kosmicznego pyłu na środowisko naturalne Ziemi. Należy także wziąć pod uwagę sensowność niektórych misji kosmicznych w odniesieniu do generowania kolejnych odpadków.

Myśląc o globalnym bezpieczeństwie należy już teraz podejmować konkretne działania mające na celu ograniczenie tego niekorzystnego zjawiska. Pojawiające się pomysły zastosowania kosmicznych śmieciarek powinny brać pod uwagę efektywność i ekonomiczność podejmowanych działań. Jednocześnie prowadzone działania w tym zakresie powinny podlegać ciągłemu monitorowaniu w zakresie swojej skuteczności oraz sprawności.

Z uwagi na dynamiczną sytuację i plany dalszej eksploracji kosmosu, tematyka kosmicznych śmieci wymaga prowadzenia dalszych badań i ak-

tualizacji. Warto również poddać w przyszłości analizie rezultaty działań związanych z eliminowaniem kosmicznych odpadów.

**Interesy konkurencyjne:** Autor oświadczył, że nie istnieje konflikt interesów.

**Competing interests:** The author has declared that no competing interests exists.

### **Wkład autorów**

**Konceptualizacja:** Krzysztof Sala

**Analiza formalna:** Krzysztof Sala

**Metodologia:** Krzysztof Sala

**Opracowanie artykułu – projekt, przegląd i redakcja:** Krzysztof Sala

### **Authors contributions**

**Conceptualization:** Krzysztof Sala

**Formal analysis:** Krzysztof Sala

**Methodology:** Krzysztof Sala

**Writing – original draft, review and editing:** Krzysztof Sala

### **Bibliografia**

- Anselmo L., Pardini C. (2000), *Collision Risk Mitigation in Geostationary Orbit*, "Space Debris", vol. 2, nr 2, June, s. 67–82.
- Brzeziński M. (2009), *Wschód czerwonego księżycy. Wyścig supermocarstw o dominację w kosmosie*, Wydawnictwo Znak, Kraków.
- Christiansen E. L., Hydeb J. L., Bernhard R. P. (2004), *Space Shuttle debris and meteoroid impacts*, "Advances in Space Research", vol. 34, issue 5, s. 1097–1103.
- Ciepliński A., Woźniak R. (1994), *Encyklopedia współczesnej broni palnej (od połowy XIX wieku)*, Wydawnictwo „WIS”, Warszawa.
- David L. (2005), *The Clutter Above*, "Bulletin of the Atomic Scientists", July/August.
- Forsyth S. K. (2002), *Delta. The Ultimate Thor*, w: *To Reach The High Frontier: A History of U.S. Launch Vehicles*, red. R. Launius, D. Jenkins, University Press of Kentucky, Lexington.
- Godwin R. (2005), *Apollo 11 – pierwszy człowiek na Księżycu*, Prószyński Media, Warszawa.
- Hoots F., Schumacher P. Jr., Glover R., *History of Analytical Orbit Modeling in the U.S. Space Surveillance System*, "Journal of Guidance Control and Dynamics", vol. 27, issue 2.

- Kamassa M., *Zatloczona orbita – czy grozi nam „Syndrom Kesslera”?* (pol.), Space24 [on-line], 2016-05-30, dostęp: 23.08.2023.
- Klinkrad H. (2006), *Space Debris: Models and Risk Analysis*, Springer-Praxis.
- La Vone M., *Kessler Syndrome* (ang.), “Space Safety Magazine” [on-line], dostęp: 23.07.2023.
- McConnell M. (1987), *Challenger: A Major Malfunction*, Simon and Schuster, London.
- McDaniel P. (1997), *A Methodology for Estimating the Uncertainty in the Predicted Annual Risk to Orbiting Spacecraft from Current or Predicted Space Debris Population*, National Defense University.
- Oswald M., Stabroth S., Wiedemann C., Wegener P., Martin C. (2006), *Upgrade of the MASTER Model*, Final Report of ESA Contract No. 18014/03/D/HK(SC), Braunschweig.
- Schefter J. (1982), *The Growing Peril of Space Debris*, „Popular Science”, July.
- Smirnov N. (2002), *Space Debris: Hazard Evaluation and Mitigation*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Stokes G. H., Braun C. von, Sridharan R., Harrison D., Sharma J. (2006), *The Space-Based Visible Program*, MIT Lincoln Laboratory, 8 March.
- Suszko J. N. (1969), *Sztuczne satelity Ziemi*, Wydawnictwo MON, Warszawa.
- Wright D. (2007), *Debris in Brief: Space Debris from Anti-Satellite Weapons*, “Union of Concerned Scientists”, December.

### **Netografia:**

- <https://ciekawo.org/2015/11/13/kosmiczne-smieci-jak-sie-ich-pozbyc/>, 2.09.2023.
- <https://www.space24.pl/indie-zestrzelily-satelite>, 13.10.2022.
- [https://www.wikiwand.com/pl/Kosmiczne\\_%C5%9Bmieci](https://www.wikiwand.com/pl/Kosmiczne_%C5%9Bmieci), 14.08.2023.
- <https://www.pulskosmosu.pl/2015/08/19/orbita-ziemska-rosnace-zagrozenie-zestrzony-smieci-kosmicznych/>, 19.10.2023.
- <https://spaceflight.nasa.gov/shuttle/reference/shutref/events/deorbit/>, 16.10.2023.
- <https://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>, 20. 09.2023.
- <https://space24.pl/bezpieczenstwo/kosmiczne-smieci/czy-kosmiczne-smieci-zagraja-ludziom-na-ziemi>, 10.09.2023.
- <https://www.national-geographic.pl/artukul/zlapac-zamknac-i-spalic-jak-szwajcarski-startup-zamierza-posprzatic-orbite-z-duzych-i-niebezpiecznych-kosmicznych-odpadkow-230222051339>, 15.10.2023.
- <https://tech.wp.pl/zasmiecamy-orbite-ziemi-kosmiczny-karambol-to-kwestia-czasu,6863223674882624a>, 22.09.2023.
- <https://astrofaza.pl/kosmiczne-smieci-sposob-na-sprzatnicie-orbit/>, 28.08.2023.
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/STS-118\\_debris\\_entry.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/STS-118_debris_entry.jpg), 2.09.2023.



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PAM-D\\_module\\_crash\\_in\\_Saudi\\_Arabian\\_desert.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/PAM-D_module_crash_in_Saudi_Arabian_desert.png), 23.08.2023.

<https://tech.wp.pl/mandat-za-smiecenie-w-kosmosie-to-pierwsza-taka-sytuacja-w-historii,6948261129837184a>, 30.09.2023.

---

## Space Debris as a Global Ecological Challenge

### Summary

The air, water and soil pollution is one of the most frequently discussed issues related to environmental threats. It is also perfectly embedded in the general public awareness. However, the situation is different in the case of space pollution. The awareness of cosmic debris and threats it can pose is low or absent in contemporary societies. This may be due to the low promotion of knowledge about space in the media, as well as the fact that threats of this type appeared quite recently. The number of scientific publications on the topic of space debris is limited. The cognitive gap also concerns knowledge about threats posed by space waste and methods of eliminating them. The cognitive gap has been the reason to raise this topic. The aim and thesis of this publication is to show that space debris poses significant ecological threat on a global scale. At the same time, however, there are ways to reduce its impact. The publication is designed to increase the awareness of the subject among members of our society. The research hypothesis is: There is a serious relationship between space debris and a significant impact on the global environment and humans. The paper discusses the concept of space pollution, its sources, and forms and divisions. Particular attention has been given to ecological threats posed. The publication also shows examples of actions aimed at limiting this harmful phenomenon. The article is based on information published in books, magazines, and in the net. The research method used in the publication is the analysis of existing data and literary criticism. Results of the research account for a positive verification of the hypothesis.

**Key words:** space debris, useless objects, orbit around the Earth, ecological threats

