

**mgr Mariusz Słonina**

Ekspert ds. bezpieczeństwa kosmicznego pracujący w firmie Sybilla Technologies. Uczestniczył w wielu projektach Europejskiej Agencji Kosmicznej, nadzorował też budowę dla Polskiej Agencji Kosmicznej sieci obserwatoriów mającej zwiększyć bezpieczeństwo kosmiczne – Polish Optical Network. Odpowiada za rozwój usług opartych na danych polskiej sieci obserwatoriów Panoptes-Solaris pod kątem zagadnień kosmicznej kontroli ruchu (space traffic control).  
mariusz.slonina  
@sybillatechnologies.com

# KOSMICZNE

Patrząc w czyste, błękitne niebo, nie zdajemy sobie sprawy, ile śmieci krąży w przestrzeni kosmicznej wokół Ziemi.

**Mariusz Słonina**

Sybilla Technologies sp. z o.o. w Bydgoszczy

**P**rzeźnię kosmiczna wokół Ziemi jest wykorzystywana nie tylko w celach naukowych, np. podczas prowadzenia badań na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej czy obserwacji astronomicznych głębokiego kosmosu z wykorzystaniem teleskopu Hubble'a. Przede wszystkim jest domem dla satelitów, które wspomagają nasze współczesne życie. Z danych satelitarnych korzystamy na co dzień – gdy podróżujemy, trenujemy, szukamy dogodnego połączenia w komunikacji miejskiej, rekomendacji atrakcji tury-

stycznych czy sprawdzamy prognozę pogody. Informacje pozyskiwane z satelitów obserwacyjnych Ziemi pomagają też w badaniach nad klimatem, są szeroko stosowane w rolnictwie i lotnictwie. Stały się również podstawowym narzędziem walki z klęskami żywiołowymi, np. pożarami lasów. Trudno sobie obecnie wyobrazić brak dostępu do usług takich jak nawigacja satelitarna czy telekomunikacja szczególnie w ratownictwie, z dala od infrastruktury miejskiej – w górach czy na morzu. Ale korzyści, które wynikają z wykorzystania danych satelitarnych, mają też swoją cenę.

**Śmieci**

Druga połowa XX wieku to okres działalności człowieka w przestrzeni kosmicznej. Od wystrzelenia pierwszego satelity w 1957 roku umieściliśmy na orbicie

Polskie teleskopy systemu POLON (Polish Optical Network) Polskiej Agencji Kosmicznej, Deep Sky Chile





# WYSYPISKO



Ramię robotyczne Canadarm2 przedziurawione śmieciem kosmicznym, NASA

okołoziemskiej blisko 60 tys. obiektów. Połowa z nich pozostaje tam do dzisiaj, ale tylko 9 tys. to tzw. satelity aktywne, dostarczające dane do usług i aplikacji. Reszta to śmieci kosmiczne: niedziałające już satelity, człony rakiet, śrubki, zgubione przez astronautów narzędzia, a nawet odpryski farby czy resztki paliwa. Poruszając się w niekontrolowany sposób po zbliżonych orbitach co działające satelity, z podobną do nich prędkością, wynoszącą około 8 km/s, stanowią dla nich bezpośrednie zagrożenie. Zderzenie ze śmieciem kosmicznym może nie tylko uszkodzić aktywnego satelitę, skracając czas jego funkcjonowania. W skrajnym przypadku może doprowadzić do jego zniszczenia i pojawienia się kolejnych odłamków tworzących zagrożenie.

Problem ten jest szczególnie dotkliwy w pasie niskiej orbity Ziemi (*low Earth orbit* – LEO), rozciągającym się od mniej więcej 100 do 2000 km od powierzchni naszej planety. To tutaj orbituje większość satelitów obserwacyjnych dostarczających dane, z których korzystamy. Tutaj również od przeszło 20 lat pracują astronauta na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, wykonując badania naukowe np. w dzie-

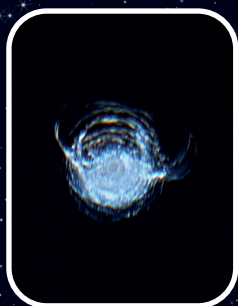
dzinie medycyny czy materiałoznawstwa. Zagrożenie kolizją ze śmieciem kosmicznym jest już na tyle duże, że astronauta są alarmowani o nich nawet kilka razy w ciągu roku i zwykle oznacza to przygotowanie się do ewakuacji. Mikroodłamki stale zderzają się z poszyciem stacji, skonstruowanym w taki sposób, by zmniejszyć skutki uderzenia i ochronić część mieszkalną. Ale panele słoneczne czy odsłonięte elementy stacji nie są chronione. Zderzeń nie uniknęły więc okna modułu Cupola pozwalające na obserwację powierzchni Ziemi, a jeden z odłamków w 2021 roku przedziurawił ramię robotyczne Canadarm2.

W ciągu ostatniej dekady niska orbita Ziemi stała się również obszarem intensywnej rozbudowy konstelacji satelitów obsługujących internet, np. systemu Starlink, czy projektów badawczych wynoszących małe obiekty o rozmiarach około 10 cm (tzw. cubesaty). W samym tylko 2022 roku wykonano ponad 180 startów rakiet, przy czym celem większości z nich był obszar LEO, na który dostarczano satelity, infrastrukturę stacji kosmicznych i ludzi. Szacuje się, że do 2030 roku liczba aktywnych satelitów może przekroczyć próg nawet 100 tys. obiektów. Wraz z nimi wzrośnie





Śmieć kosmiczny  
Cubesat-1 o rozmiarach  
12,5×5×5 cm  
zaobserwowany  
teleskopami sieci POLON



Szyba modułu Cupola,  
w którą uderzył śmieć  
kosmiczny, ESA

też ilość różnego-rodzaju kosmicznych śmieci. Coraz częstszym problemem staną się kolizje satelitów czy ich fragmentacje, czyli oderwanie się niektórych elementów od stacji kosmicznych czy satelitów. Żeby uniknąć tych pierwszych, agencje kosmiczne wykonują już teraz kilka manewrów rocznie, skracając czas życia satelitów. Obecnie obserwujemy jedną czy dwie fragmentacje rocznie, ale liczba ta może wzrosnąć nawet 10-krotnie, powodując lawinowy wzrost ilości śmieci na orbicie.

## Kolizje na orbicie

Kolizje ze śmieciami kosmicznymi już teraz nie należą do rzadkości. W 2016 roku nowy europejski satelita obserwacyjny Sentinel-1A został trafiony odłamkiem wielkości jednego milimetra w panel słoneczny. Energia zderzenia była jednak na tyle duża, że średnica uszkodzenia wyniosła ponad 40 cm. Mikrośmieci stanowiły też główne ryzyko misji wahadłowców i odpowiadają często za nagłe wyłączenie satelity na orbicie. Europejska Agencja Kosmiczna (European Space Agency – ESA) szacuje, że odłamków tej wielkości może być ponad 130 mln, a zderzenia z nimi trzeba brać za pewnik.

Im większy rozmiar śmiecia kosmicznego, tym większe są nie tylko skutki kolizji, lecz także wzrasta szansa znalezienia i śledzenia takich obiektów. Robi się to po to, by wykonać manewr zmiany orbity zagrożonego satelity, unikając zderzenia. Informacje te są już wykorzystywane na etapie planowania nowych misji. O ile odłamków o rozmiarach poniżej 1 cm nie jesteśmy w stanie śledzić żadnymi obecnie dostępnymi technikami obserwacyjnymi, o tyle obiekty większe niż 5 cm są skatalogowane i regularnie obserwowane przez sieci obserwatoriów astronomicznych czy radarów. Obserwacje takie są prowadzone m.in. przez amerykańską sieć Space Surveillance Network; a w Europie – przez Europejskie Konsorcjum SST (European

Union Space Surveillance and Tracking), do którego należy również Polska, posiadając jedną z najbardziej rozległych sieci obserwatoriów astronomicznych na świecie. Łącznie obserwatoria naziemne dostarczają do operatorów satelitów czy agencji kosmicznych dane orbitalne na temat około 26 tys. śmieci.

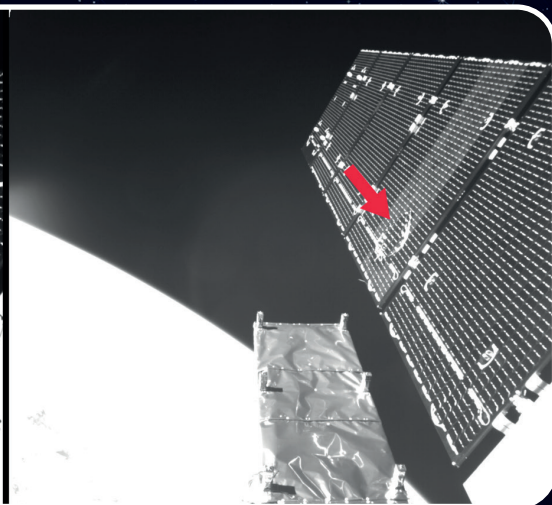
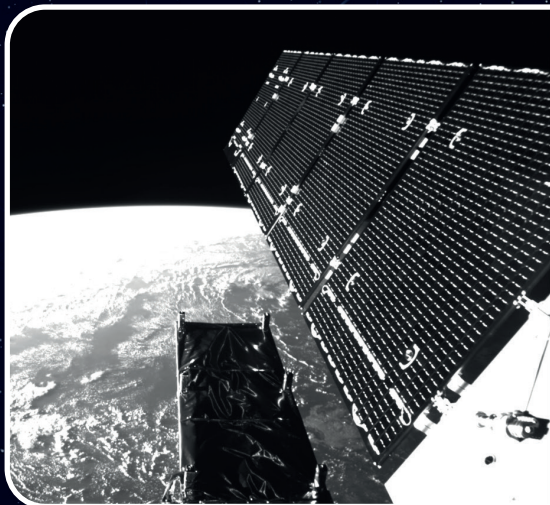
Nie zawsze jednak manewr zmiany orbity się udaje lub jest możliwy. W 2009 roku dwa satelity telekomunikacyjne – Iridium 33 i nieaktywny już Kosmos 2251 – zderzyły się przypadkowo na orbicie około 800 km nad powierzchnią Ziemi, powodując powstanie przeszło 2 tys. odłamków. W grudniu 2020 roku polski satelita Brite-PL uniknął zderzenia z członem rakiety Pegasus. Odległość między obiektami wyniosła wtedy jedynie 4,5 m. O ile kolizji w pierwszej sytuacji można było uniknąć, uruchamiając silniki manewrowe odpowiednio wcześniej, o tyle w drugiej – satelita naukowy, który ich nie posiada, byłby bez szans.

Kolizje na orbicie są również wywoływane celowo, w ramach testów broni antysatelitarnej. Ocenia się, że około jednej czwartej śmieci kosmicznych pochodzi z takich zdarzeń. Niechlubnych przykładów dostarczyła tutaj większość światowych mocarstw, a szczytki Fengyun-1C z 2007 roku, Microsat-R z 2019 roku czy Kosmos 1408 z 2021 roku zagrażają wszystkim satelitom z pasa LEO.

## Posprzątać kosmos

Czas życia śmieci kosmicznych i satelitów różni się w zależności od orbity, na której się znajdują. Im bliżej powierzchni Ziemi, tym większe jest tarcie z ziemską atmosferą, które powoduje stopniowe obniżanie wysokości aż do momentu spalania. Dla obiektów nieposiadających napędu, umieszczonych do wysokości 500 km, typowy czas opadania wynosi 25 lat. Na wysokości 800 km czas ten rośnie do 100–150 lat, a powyżej 1200 km przekraczają już dwa tysiąclecia. Satelity umieszczone na orbicie geostacjonarnej, od-

Satelita Sentinel-1A  
uszkodzony po uderzeniu  
śmiecia kosmicznego, ESA





Skala problemu śmieci kosmicznych (symulacja), ESA

34 tys. obiektów  
900 tys. obiektów  
128 mln obiektów  
2000 mld obiektów



ległej o ponad 36 tys. km od powierzchni naszej planety, prawdopodobnie zostaną tam na zawsze. W ich wypadku pod koniec misji przesuwa się je na tzw. orbitę cmentarną, zlokalizowaną około 300 km powyżej.

To wieloletnie orbitalne zagrożenie skłoniło organizacje państwowe i międzynarodowe, takie jak NASA, ESA, UE, ONZ czy OECD, do podjęcia działań w kierunku redukcji ilości śmieci kosmicznych. Nawet przy braku umieszczania nowych satelitów na orbicie liczba śmieci kosmicznych szybko nie spadnie, a istniejące będą podlegać kolizjom czy nawet samoistnym fragmentacjom. Wprowadza się zatem zalecenia, które nie tyle rozwiążą problem śmieci na orbicie, ile mają pomóc w jego opanowaniu na najbliższe dekady.

Jednym z nich jest zalecenie dotyczące konstrukcji satelitów, tak by po zakończeniu misji (maksymalnie 25 lat) dało się je bezpiecznie i w sposób kontrolowany sprowadzić w atmosferę. Najnowszym przykładem tutaj jest niedawna deorbitacja satelity meteorologicznego Aeolus. Stopniowo wzrasta również ilość spalanych po starcie fragmentów rakiet, redukując liczbę najbardziej niebezpiecznych odłamków. Odbywa się to kosztem fragmentu Oceanu Spokojnego, tzw. punktu Nemo, gdzie celuje się z najcięższymi obiektami kosmicznymi, jak stacja Mir czy w przyszłości Międzynarodowa Stacja Kosmiczna. Zanieczyszcza to środowisko planety, zaleca się więc, żeby nowe satelity były konstruowane w taki sposób, żeby proces spalania się w atmosferze był całkowity. Do małych śmieci krążących na niskiej orbicie planuje się też zastosować wiązki laserowe, stopniowo obniżając ich orbitę, a projektowana na 2025 rok misja ClearSpace-1 (Adrios) ma zademonstrować deorbitację istniejącego śmiecia kosmicznego za pomocą specjalnego satelity.

## Zasób naturalny

Planując trasę przejazdu za pomocą nawigacji satelitarnej, nie odczuwamy bezpośrednio skutków zanieczyszczenia przestrzeni wokół Ziemi. Ale jej rosnące

wykorzystanie bez stosowania się przynajmniej do minimalnych zaleceń dotyczących deorbitacji satelitów, unikania kolizji czy nieprzeprowadzania testów broni antysatelitarnej doprowadzi do stanu, w którym orbita okołoziemiska przestanie być używalna. To tzw. syndrom Kesslera opisany pod koniec lat 70., w którym wzrost ilości śmieci kosmicznych jest niekontrolowany i przebiega jak reakcja łańcuchowa. W tym scenariuszu nie tylko nie będziemy w stanie nic wysłać w kosmos, lecz także usługi bazujące na danych satelitarnych przestaną działać. Sytuacja taka może się utrzymywać nawet setki lat.

Scenariusz opisany przez Kesslera nie jest niestety odległy, a może go wywołać np. kolizja największych śmieci pozostających na orbicie (satelita Envisat-1 o wadze przeszło ośmiu ton) albo tego typu katastrofa w ramach konstelacji satelitów. Dlatego w świadomości społeczności międzynarodowej zaczyna się rozważać orbitę okołoziemską jako jeden z zasobów naturalnych, o który należy dbać na równi z czystym powietrzem czy klimatem. I nie za 50 czy 100 lat, ale tu i teraz. ■



Wynik testu symulującego zderzenie małego fragmentu śmieci kosmicznych ze statkiem kosmicznym, ESA

Chcesz wiedzieć więcej?

[https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris)