

ZATŁOCZONA ORBITA – CZY GROZI NAM „SYNDROM KESSLERA”?

Gdy w 1957 roku pomyślnie wystrzelono pierwszego w dziejach sztucznego satelitę Ziemi, możliwości zagospodarowania orbity okołoziemskiej mogły wydawać się praktycznie nieograniczone. Niemniej jednak zaledwie pół wieku później nagromadzenie kosmicznych odpadów osiągnęło taką skalę, że zaliczono je do głównych zagrożeń wiązanych z aktywnością w przestrzeni kosmicznej. Co więcej, konsekwencje jego wystąpienia wykraczają dalece poza wyizolowany obszar bezpieczeństwa lotów orbitalnych, mając swoje bezpośrednie i wieloaspektowe przełożenie na sytuację panującą na Ziemi.

Półwiecze niefrasobliwości?

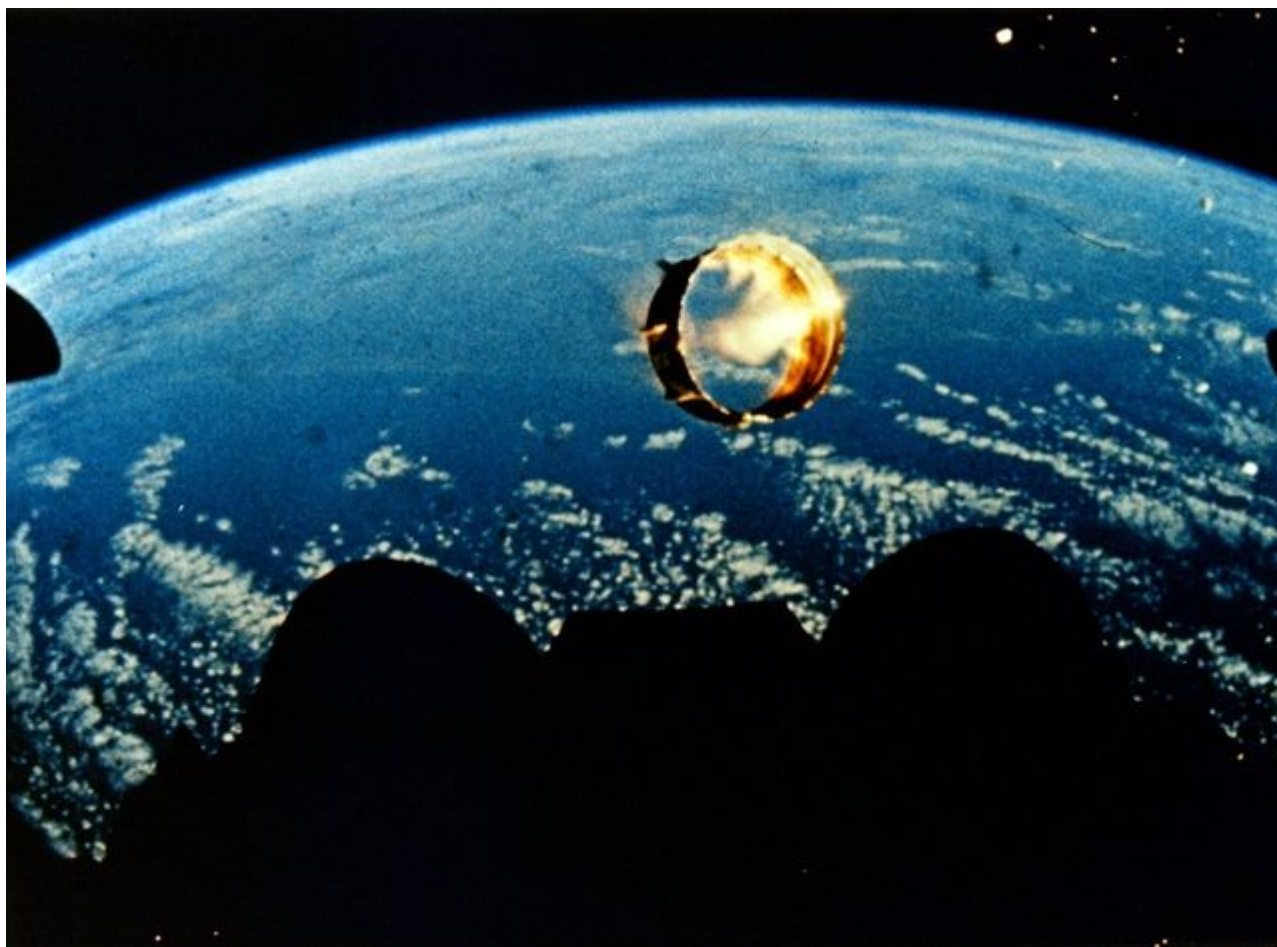
W historycznym momencie wystrzelenia radzieckiego Sputnika-1 trudno było przewidywać, jak rozwinie się tempo wyścigu kosmicznego i jak dalece zmieni on architekturę systemu bezpieczeństwa międzynarodowego. Mało kto wówczas przypuszczał, że ludzka aktywność tak dynamicznie wpłynie na przestrzeń okołoziemską i stanie się do tego stopnia fizycznie namacalna – w wymiarze nagromadzenia wytworów ludzkiej myśli technicznej na orbicie wokół Ziemi. Od zarania ery kosmicznej ludzkość wysłała w kosmos już ponad 5 tys. misji z różnego rodzaju ładunkiem: sondami badawczymi, satelitami rozmaitego przeznaczenia, instrumentami komunikacyjnymi i innym niezbędnym sprzętem. Każdy z nich został umieszczony na orbicie w konkretnym celu i z wykorzystaniem znacznych środków finansowych.

Niezależnie od stopnia swojego zaawansowania i pełnionych funkcji, wszelkie rozwiązania technologiczne tracą jednak z czasem swoją użyteczność, a dotąd niezbędny i kosztowny instrument staje się w pewnym momencie nieprzydatnym i kłopotliwym odpadem. W warunkach kosmicznych prawidłowość ta ulega spotęgowaniu, jeśli wziąć pod uwagę ograniczone możliwości, dodatkowe koszty i zaangażowanie niezbędne do skutecznej neutralizacji obiektu – w tym, całkowitego usunięcia go z orbity. Kombinacja mnogich operacyjnych ograniczeń, finansowej nieopłacalności i kilkudziesięciu lat zbierania doświadczeń w eksploracji kosmosu doprowadziła w efekcie do poważnego spiętrzenia ilości kosmicznych szczątków, które zalegają na swoich orbitach. Do absolutnych rekordzistów w tym zakresie należy amerykański satelita Vanguard 1, jeden z pionierskich instrumentów kosmicznych, który począwszy od 17 marca 1958 roku po dziś dzień krąży nieprzerwanie nad powierzchnią Ziemi – pomimo zakończenia służby w 1964 roku.

Skala problemu

Zasób porzuconych i wygaszonych instrumentów orbitalnych to jednak tylko skromna część szerszego katalogu obiektów klasyfikowanych jako kosmiczny złom. Składają się na nie również zużyte segmenty rakiet, narzędzia porzucone przez załogi misji kosmicznych oraz fragmenty statków i ich podzespołów oderwane w wyniku intensywnej eksploatacji, eksplozji lub kolizji (w tym, elementy kadłubów, odłamki osłon termicznych, a nawet skrawki lakieru). Obiekty te mogą się poruszać po

swoich orbitach z prędkościami przekraczającymi 8 km/s, co sprawia, że nawet najmniejsze z nich są zdolne do wyrządzenia poważnych szkód w strukturze sprawnych instrumentów satelitarnych i pojazdów kosmicznych.



Misja Apollo 6 - rakieta Saturn V w trakcie separacji segmentu. Fot. NASA via Wikipedia

Główny problem stanowi jednak przede wszystkim niepojęty wzrost ich ilości na przestrzeni ostatniego półwiecza. W początkowym okresie podboju kosmosu nie był on jeszcze dostrzegany, a studia nad potencjalnymi zagrożeniami kolizyjnymi skupiały się na prawdopodobieństwie zderzeń z naturalnymi obiektami pozaziemskimi – planetoidami i meteoroidami. W miarę postępu eksploracji w dalsze rejony Układu Słonecznego, analizowano je coraz bardziej wnikliwie, poszukując bezpiecznych sposobów przedostania się przez pas planetoid roztaczający się pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza. Punktem zwrotnym w tym wymiarze okazały się badania amerykańskiego astrofizyka i specjalisty NASA, Donalda J. Kesslera, który w 1971 roku dokonał oceny dynamiki obiektów i struktury pasa asteroid. Efektem tych i dalszych prac było sformułowanie zależności określanej popularnie „Syndromem Kesslera”, czyli fenomenu polegającego na akumulacji i nasilającym się w czasie (w postępie wykładniczym) kaskadowym wzroście liczby zderzeń między obiektami pierścienia orbitalnego. Kluczowym założeniem w obserwacjach Kesslera było generowanie przez kolejne zderzenia coraz większej liczby coraz mniejszych obiektów, zwiększające tym samym prawdopodobieństwo występowania kolejnych kolizji. W skali pasa planetoid postęp zjawiska miał zyskiwać na intensywności w wymiarze liczącym w miliardach lat.

Rosnąca wiedza na temat liczby i charakterystyki sztucznych obiektów na orbicie okołoziemskiej pozwoliła Kesslerowi na stwierdzenie występowania w ich przypadku podobnego zjawiska, jednak o znacznie wyższej dynamice. Swoje wnioski Kessler opublikował w 1978 roku razem z Burtonem Cour-Palais w opracowaniu pt. *Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt*. Wykazywano w nim, że procesy zachodzące w obrębie pasa planetoid działają również na niskiej

orbicie okołoziemskiej, ale w znacznie większym tempie, skracającym postęp całego cyklu do zaledwie kilku dekad. Kontynuując prace nad tym zagadnieniem, Kessler zmodyfikował znaczenie syndromu kojarzonego z jego nazwiskiem, publikując w 1991 roku opracowanie pt. *Collisional Cascading: The Limits of Population Growth in Low Earth Orbit*. Jego centralnym założeniem stało się przekonanie, że po przekroczeniu krytycznego nagromadzenia orbitujących śmieci dojdzie do wystąpienia „efektu domina”, który spowoduje lawinowy postęp kolejnych zderzeń generujących coraz większą liczbę obiektów, aż do momentu kompletnego ich rozdrobnienia i uniemożliwienia bezpiecznych lotów orbitalnych.

Groźny „efekt domina”

Od momentu opublikowania pierwszej analizy Kesslera w 1978 roku liczba kosmicznych śmieci znajdujących się na orbicie okołoziemskiej wzrosła już ponad trzykrotnie. Zgodnie z przyjętymi przez naukowca założeniami, oznacza to poważne przekroczenie granicy, za którą zagrożenie ze strony sztucznych obiektów orbitalnych zaczęło przewyższać prawdopodobieństwo kolizji z obiektami naturalnego pochodzenia. Skalę problemu potęgują przejawy międzynarodowej konfrontacji i rywalizacji w przestrzeni kosmicznej, których bezpośrednim efektem są testy broni antysatelitarnej (ASAT). Jak groźne może być stosowanie tego typu technologii, udowodniły zwłaszcza skutki chińskiego testu z 11 stycznia 2007 roku, który zakończył się skutecznym zestrzeleniem satelity pogodowego Feng-Yun 1C. Wydarzenie to samo w sobie doprowadziło do gwałtownego wzrostu całkowitej ilości orbitalnego złomu o co najmniej 25 procent, stając się zarazem przykładem realnych konsekwencji, jakie może pociągnąć za sobą militaryzacja kosmosu.



Wizja eksplozji satelity, ilustracja: ESA / esa.int

Krótko potem – w dniu 10 lutego 2009 roku – miała miejsce inna groźna sytuacja nadzwyczajna, która poskutkowała lawinowym przyrostem liczby kosmicznych szczątków. Blisko 800 km nad Ziemią doszło

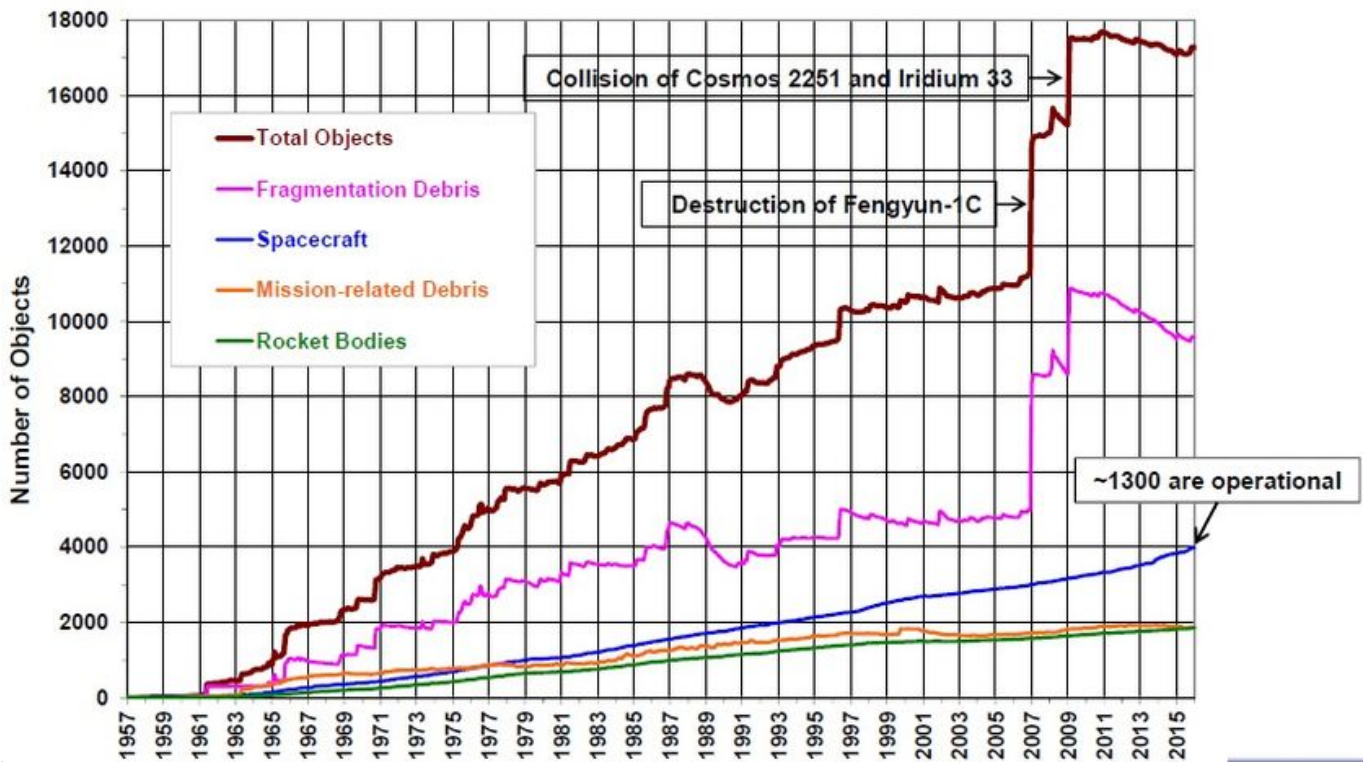
do bezpośredniego zderzenia dwóch sztucznych satelitów Ziemi: sprawnego amerykańskiego Iridium-33 i nieaktywnego rosyjskiego satelity wojskowego Kosmos-2251. Kolizja doprowadziła do całkowitej dekompozycji obu obiektów, uwalniając w przestrzeń kosmiczną blisko 2 tys. zaobserwowanych i potencjalnie groźnych fragmentów materii. Niektóre z nich – o gabarytach dochodzących do kilkudziesięciu centymetrów średnicy – trafiły już niejednokrotnie na potencjalny kurs kolizyjny z Międzynarodową Stacją Kosmiczną, zmuszając obsługę do podejmowania awaryjnych manewrów w celu uniknięcia zagrożenia.

Czytaj też: [Pęknięta szyba w ISS. Zderzenie z kosmicznym śmieciem](#)

Przypadki incydentalnej fragmentacji obiektów nie należą do odosobnionych, a ich lista zawiera także kilka bardzo aktualnych przykładów. Jednym z najpoważniejszych jest awaria nowego japońskiego obserwatorium kosmicznego Astro-H, do której doszło pod koniec marca tego roku. Wszystkie zdarzenia tego typu bywają odbierane jako sygnały urzeczywistniania się katastroficznego scenariusza zawartego w tezach Kesslera. Nietrudno sobie wyobrazić, jak bardzo negatywne i dalece idące konsekwencje miałyby on w skali całego globu. Niekontrolowana seria kolizji orbitalnych zagrażałaby nie tylko samej infrastrukturze kosmicznej, ale przede wszystkim ogólnemu funkcjonowaniu naziemnych systemów umożliwiających korzystanie z jej dobrodziejstw w codziennych zastosowaniach użytkowych. Wchodzą w ten zakres również tak istotne usługi, jak obsługa łączności i telekomunikacji czy obserwacja powierzchni Ziemi na potrzeby zarządzania kryzysowego.

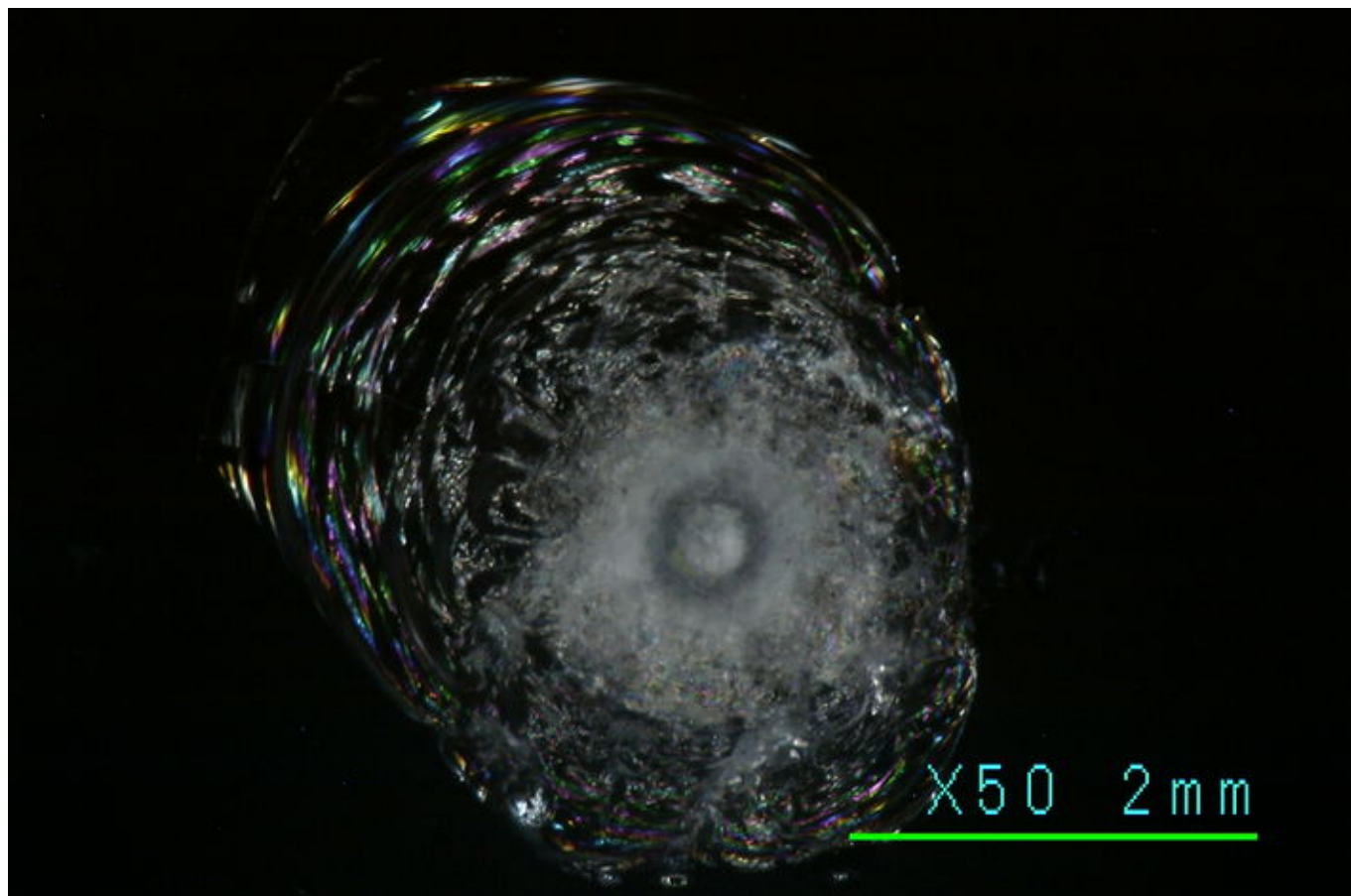
Czytaj też: [Japonia rezygnuje z teleskopu ASTRO-H. "Separacja paneli słonecznych"](#)

Niemniej jednak bieżące analizy sytuacji w obszarze wykrywania i monitorowania kosmicznych śmieci nie dają jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o prawdopodobieństwo wystąpienia "Syndromu Kesslera". Zgodnie z aktualnymi danymi NASA podanymi przy okazji konferencji branżowej w Pasadenie w dniach 24-26 maja tego roku, dwa uprzednio wskazane przykłady potężnych fragmentacji zaistniałych w 2007 i 2009 roku nie doprowadziły do uruchomienia lawiny kolizji. Co więcej, ich efekty w postaci uwolnionej ilości szczątków zdają się z wolna ustępować. Przez ostatnie kilkanaście miesięcy zarysował się trend spadkowy w ogólnej liczbie skatalogowanych kosmicznych śmieci, głównie za sprawą deorbitacji fragmentów uwolnionych w wyniku wystąpienia dwóch wspomnianych zdarzeń.



Wykres przedstawiający nagromadzenie skatalogowanych obiektów orbitalnych. Ilustracja: NASA / ntrs.nasa.gov

Nie zmienia to jednak faktu, że w dalszym ciągu notowany jest konsekwentny wzrost ilości wszystkich innych obiektów orbitalnych, poza zakresem odłamków pochodzących z fragmentacji. Zaliczają się do nich zarówno kadłuby statków i satelitów, jak też zużyte segmenty rakiet. Znajdują się wśród nich także obiekty wysokiego ryzyka - wyposażone w zbiorniki paliwa bądź niestabilne elementy zasilające, które w wyniku eksplozji mogą generować kolejne skupiska odłamków. Nie można również zapominać, że zasób skatalogowanych kosmicznych śmieci nie uwzględnia całości obecnych na orbicie obiektów. W tym kontekście jeszcze bardziej uderzające mogą być oficjalne dane na temat ilości tylko tych rozpoznanych i monitorowanych - do 2015 roku wyśledzono około 23 tys. dużych obiektów orbitalnych (średnice powyżej 10 cm) i blisko 500 tys. mniejszych (o wymiarach powyżej 1 cm). Szacuje się również, że na orbicie może znajdować się powyżej 100 milionów obiektów nie schodzących poniżej średnicy 1 mm. Dość powiedzieć, że wszystkie z nich są kwalifikowane jako potencjalnie niebezpieczne dla ludzkiej aktywności w przestrzeni kosmicznej.



Okno wahadłowca (STS-127) po trafieniu kosmicznym odłamkiem. Fot. NASA / appel.nasa.gov

Wyrażona w przedstawionych danych skala problemu może być z całą pewnością traktowana jako realne ostrzeżenie przed dalszą niekontrolowaną akumulacją kosmicznych śmieci. Odpowiedzią na to może być tylko zorganizowane i natychmiastowe przeciwdziałanie negatywnym tendencjom sprzyjającym urzeczywistnieniu „Syndromu Kesslera” i wszelkim jego następstwom. Uznając naukowe podstawy i przesłanki kryjących się za nim twierdzeń, można jednocześnie z umiarkowanym optymizmem spoglądać w przyszłość dalszej eksploracji, biorąc pod uwagę mnogość współcześnie wdrażanych inicjatyw badawczych i technologicznych, które mogą sprzyjać wyeliminowaniu rozpatrywanego problemu. Poza dedykowanymi inicjatywami sektorowymi – działalności przedsiębiorstw i agencji rządowych pracujących nad [metodami przechwytywania obiektów orbitalnych](#) – na uwagę w tym kontekście zasługuje również orientacja na technologie kosmiczne wielokrotnego użytku oraz [innowacyjne metody deorbitacji zużytych instrumentów](#), nad którymi prace prowadzone są także z [udziałem polskich podmiotów](#). Działania w każdym z tych zakresów są obecnie szeroko podejmowane, a sprzyja im ogólnoswiatowa korzystna koniunktura na technologie kosmiczne, zarówno w sektorze prywatnym, jak i publicznym. W parze z nimi idą również liczne międzynarodowe i krajowe projekty wykrywania i śledzenia obiektów kosmicznych. Warto tutaj wyróżnić zwłaszcza systemy typu [Space Situational Awareness](#), które traktują monitorowanie kosmicznych śmieci jako jeden z priorytetów swojego działania. Połączenie potencjałów we wskazanych obszarach może w przyszłości zdecydować o możliwościach zapewnienia bezpieczeństwa w tym kluczowym aspekcie współczesnej aktywności kosmicznej.

Czytaj także - [Konferencja SSA: "Przystąpienie do europejskiego konsorcjum priorytetem dla Polski"](#)