

RADOSŁAW BIELAWSKI\*

Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa, Polska

## WSPÓŁCZESNA KATEGORYZACJA ZAGROŻEŃ KOSMICZNYCH

### CONTEMPORARY CATEGORIZATION OF SPACE THREATS



**ABSTRAKT:** Artykuł dotyczy współczesnych zagrożeń kosmicznych. W pierwszej części zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z przedmiotem badań, takie jak: zagrożenie, kluczowe zagrożenie, zagrożenie kosmiczne oraz dokonano podziału tych zagrożeń. Przeprowadzono analizę wybranych raportów rządowych i na ich podstawie określono wskazane tam zagrożenia kosmiczne – broń kosmiczną, a wśród niej środki walki: kinetyczne, niekinetyczne, elektroniczne i cybernetyczne. W dalszej części odniesiono się do wybranych, dostępnych dokumentów strategicznych. Stanowiły je współczesne strategie kosmiczne opracowane przez Francję i Wielką Brytanię, w których określono niemilitarne i militarne zagrożenia kosmiczne. W kolejnej części pracy odniesiono się do zagrożeń (głównie naturalnych) antycypowanych przez agencje rządowe – obiekty bliskie Ziemi. W stosunku do zagrożeń kosmicznych określono ich charakterystykę oraz wskazano skutki jakie mogą one wywołać. W ostatniej części artykułu, na podstawie analiz wskazanych dokumentów i podejść, skategoryzowano współczesne militarne i niemilitarne zagrożenia kosmiczne.

**SŁOWA KLUCZOWE:** przestrzeń kosmiczna, domena walki, zagrożenia, broń.

**ABSTRACT:** The article concerns contemporary space threats. The first part defines the basic concepts related to the subject of research, such as: threat, key threat, space threat and divides these threats. An analysis of selected governmental reports has been carried out and, based on them, space threats identified therein - space weapons, and among them the means of warfare: kinetic, non-kinetic, electronic and cyber. In the

---

\* dr Radosław Bielawski, Ministry of National Defence, Warsaw, Poland

 <https://orcid.org/0000-0002-5701-4476>  [r.bielawski@ron.mil.pl](mailto:r.bielawski@ron.mil.pl)

Copyright (c) 2022 Radosław BIELAWSKI. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.

following part, reference was made to selected, available strategic documents. These were contemporary space strategies developed by France and the United Kingdom, in which non-military and military space threats were defined. The next part of the paper refers to threats (mainly natural) anticipated by government agencies - near-Earth objects. In relation to space threats, their characteristics were defined and the effects they may cause were indicated. In the last part of the paper, based on the analysis of the indicated documents and approaches, contemporary military and non-military space threats were categorized.

**KEYWORDS:** outer space, domain of combat, threats, weapons.

## WPROWADZENIE

Kosmos, jak również uznanie tego środowiska w 2019 roku za nowy obszar działań operacyjnych wojsk – piątą domenę walki – spowodowało zintensyfikowanie działań państw w tym obszarze. Jego militaryzacja i weaponizacja, jak również fizyczne uwarunkowania Kosmosu są źródłem powstałych zagrożeń. Należy uznać, że zagrożenia te mogą być katastrofalne i wywołać takie skutki, jak: wyginiecie dużej części ludności, kilkugodzinne rozchodzenie się fal uderzeniowych, pożary, efekt cieplarniany czy zniszczenie warstwy ozonowej atmosfery.

Wstępne badania literatury przedmiotu wykazały brak kompleksowej współczesnej kategoryzacji zagrożeń kosmicznych. Zatem przedmiotem badań są zagrożenia związane z przestrzenią kosmiczną. Celem artykułu jest: zdefiniowanie pojęć związanych z zagrożeniami w odniesieniu do przestrzeni kosmicznej, ich identyfikacja, uporządkowanie i kategoryzacja. W pracy zastosowano teoretyczne metody badawcze: analizę, syntezę, abstrahowanie.

## PODSTAWOWE POJĘCIA ZWIĄZANE Z PRZEDMIOTEM BADAŃ

Za zagrożenie definicyjnie przyjąć można sytuację, w której pojawia się prawdopodobieństwo powstania stanu niebezpiecznego dla otoczenia<sup>1</sup>. Literatura przedmiotu określa również pojęcie kluczowego zagrożenia, do których zalicza między

---

<sup>1</sup> M. E. Kołodziejczak, *Różnica pojęć: wojna, konflikt zbrojny, kryzys, zagrożenie występujących w naukach o bezpieczeństwie* [w:] W. Sójka, M. E. Kołodziejczak (red.), *Zagrożenia bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej w XXI wieku. Pojęcie, zakres i kwalifikacja*, Warszawa 2016, s. 16.

innymi: wyścig zbrojeń, militaryzację, konflikt zbrojny, cyberatak<sup>2</sup>. W odniesieniu do przestrzeni kosmicznej w literaturze przedmiotu istnieje pojęcie globalnego zagrożenia<sup>3</sup>. Współcześnie prognozuje się kilka tego typu kataklizmów, do których można zaliczyć te związane bezpośrednio z przestrzenią kosmiczną. Pierwszym z nich jest uderzenie asteroidy i wywołanie zakłócenia trajektorii Ziemi. Kolejnym szacowanym zagrożeniem może być globalny konflikt atomowy w Kosmosie, pomiędzy mocarstwami które w swoim rezerwuarze posiadają tego typu broń. Innym prognozowanym zagrożeniem jest burza słoneczna, która z prędkością 10 mln km/h działając na pole magnetyczne Ziemi doprowadzić może do awarii zasilania czy zaburzenia pracy urządzeń elektronicznych lub przemagnesowania Ziemi. Kolejne globalne zagrożenie związane z przestrzenią kosmiczną to rozbłysk kosmiczny gamma, którego skutkami może być silne napromieniowanie ludzi, zwierząt i roślinności. Oprócz naturalnych zagrożeń pochodzących z przestrzeni kosmicznej istnieją inne, spowodowane przez człowieka. Do takich – antropogenicznych – możemy zaliczyć te będące wynikiem współczesnej militaryzacji i weaponizacji przestrzeni kosmicznej, a więc broń kosmiczną i związaną z nią możliwość jej użycia. Na potrzeby tej oraz innych publikacji, uwzględniając zarówno zagrożenia naturalne, jak i antropogeniczne związane z Kosmosem można zaproponować termin zagrożenia kosmiczne i odnosząc je do klasyfikacji – naturalne zagrożenia kosmiczne i antropogeniczne zagrożenia kosmiczne. Zagrożenia kosmiczne mogą charakteryzować działania militarne i niemilitarne, zatem można je określić odpowiednio jako: militarne zagrożenia kosmiczne i niemilitarne zagrożenia kosmiczne.

## ZAGROŻENIA KOSMICZNE I ICH TYPOLOGIA W RAPORTACH RZĄDOWYCH

Dostępne w literaturze przedmiotu współczesne raporty rządowe<sup>4</sup> jak i starsze tego typu opracowania<sup>5</sup> podkreślają rosnące zagrożenia kosmiczne. Dokumenty te są wynikiem analiz stanu militaryzacji i weaponizacji państw – często mocarstw i supermocarstw, które w swoim rezerwuarze posiadają broń kosmiczną, lub ambicjonalne dążą do pozyskania takiej

---

<sup>2</sup> W. Sójka, *Ewolucja zagrożeń, wyzwania, szans i ryzyk bezpieczeństwa narodowego Polski – wnioski* [w:] W. Sójka, M. E. Kołodziejczak (red.), *Zagrożenia bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej w XXI wieku. Pojęcie, zakres i kwalifikacja*, Warszawa 2016, s. 26.

<sup>3</sup> Termin ten wynika z podejścia współczesnych badaczy, w szczególności klimatologów, fizyków czy ekologów, analizujących wpływ człowieka i Kosmosu na ekosystemy Ziemi.

<sup>4</sup> T. Harrison i in., *Space Threat Assessment 2020*, Center for Strategic and International Studies 2020; B. Weeden, V. Samson, *Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment*, 2020 r.

<sup>5</sup> R. Preston i in., *Space Weapons Earth Wars*, Santa Monica, CA 2002.

technologii. Z reguły poddawane rozważaniom są tutaj kluczowe zagrożenia, będące wynikiem militaryzacji i weaponizacji Kosmosu, a przez to dążenie przez niektóre państwa do osiągnięcia statutu supermocarstwa kosmicznego. Do państw takich współcześnie zalicza się kolejno: Stany Zjednoczone, Federacja Rosyjska, Chińska Republika Ludowa (ChRL), Iran, Koreańska Republika Ludowo-Demokratyczna (Korea Północna) i Indie<sup>6</sup>.

Broń kosmiczną, zgodnie z raportami, można zdefiniować i dokonać jej uporządkowania – klasyfikacji. Broń kosmiczna to kinetyczny lub niekinetyczny środek walki, dzięki któremu możliwe jest oddziaływanie na aktywa kosmiczne rozlokowane, zarówno w segmencie kosmicznym, jak i wspomagającym go segmencie naziemnym i użytkownika. Zgodnie z raportami wyróżnić można 4 rodzaje broni kosmicznej: kinetyczną (ang. *kinetic physical*), niekinetyczną (ang. *non-kinetic physical*), elektroniczną oraz cybernetyczną<sup>7</sup>. Elementami różniącymi rodzaje broni kosmicznej są uzyskane efekty. Za broń kinetyczną uznaje się środek walki, mający zdolność rażenia elementu kosmicznego za pomocą wytworzenia dużej energii kinetycznej w niedługim okresie czasu, np. powstałej z detonacji ładunku kruszącego zawartego w głowicy bojowej środka raketowego. Wyróżnia się trzy rodzaje kosmicznej broni kinetycznej – rozlokowana w przestrzeni kosmicznej, naziemną, tzw. DA-ASAT<sup>8</sup> oraz orbitalną bazowania kosmicznego. Broń tego typu charakteryzuje się brakiem możliwości zmiany decyzji dotyczącej rażenia obiektu, po jej aktywowaniu. Ocena zniszczeń, wywołanych jej użyciem, odbywa się w czasie rzeczywistym lub w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Wywołuje ona straty niezamierzone, do których można zaliczyć: utratę życia, zniszczenie obiektu (naziemnego, kosmicznego), jak również możliwość powstania śmieci kosmicznych powstałych z defragmentacji rażonego obiektu<sup>9</sup>.

Kolejny rodzaj zagrożenia kosmicznego to broń niekinetyczna. Wyróżnia się tutaj detonację nuklearną w przestrzeni kosmicznej, jak również broń o ukierunkowanej energii – laserową i mikrofalową. Detonacja nuklearna (wybuch jądrowy) jest eksplozją, do której dochodzi w wyniku rozszczepienia pierwiastków ciężkich lub reakcji termojądrowej. W wyniku tej eksplozji dochodzi do szybkiego uwolnienia energii (kilka mikrosekund), która jest czynnikiem niszczącym. Czynnikiem rażenia są kolejno: fala uderzeniowa (50% energii),

---

<sup>6</sup> R. Bielawski, *Potęgometryczny wymiar militaryzacji przestrzeni kosmicznej*, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej 2022, ss. 213–215.

<sup>7</sup> T. Harrison i in., *Space Threat Assessment 2020...*

<sup>8</sup> Akronim od anglojęzycznej pełnej nazwy **D**irect-**A**scent **A**ntisatellite.

<sup>9</sup> A. Radomska, *Contemporary Military Threats in Space Domain*, „Kwartalnik Bellona” t. 3 (2021).

promieniowanie ciepłe (światłne) (35% energii), promieniowanie przenikliwe (5% energii), impuls elektromagnetyczny i skażenie promieniotwórcze (10% energii)<sup>10</sup>. Miarą wyzwalonej energii broni jądrowej jest wydajność jądrowa, wyrażona jako równoważnik trotylowy ładunku, a więc odpowiednik masy trójnitrotoluenu potrzebnego do wydzielenia tej samej ilości energii. W praktyce używa się współczynnika wydajności jako stosunku wydajności jądrowej do masy środka bojowego. Bazując na dotychczasowych doświadczeniach z użycia broni jądrowej można antycypować skutki, jakie wywoła jej detonacja w przestrzeni kosmicznej. W 1962 roku wystrzelono i zdetonowano ładunek jądrowy o wydajności jądrowej wynoszącej 1,4 Mt na wysokości 400 km (odpowiednik wysokości na jakiej znajduje się Międzynarodowa Stacja Kosmiczna). W wyniku jej eksplozji na Ziemi zgasty światła uliczne, nie działały telefony, nawigacja satelitarna, jak również systemy radiolokacyjne. Zważywszy na brak atmosfery w przestrzeni kosmicznej szacuje się, że skutkami jej użycia byłoby powstanie kuli ognia. Kilkusekundowa jej obserwacja mogłaby trwale uszkodzić ludzki wzrok. Powstające promieniowanie mogłoby również trwale uszkodzić układy elektroniczne urządzeń zamieszczonych w przestrzeni kosmicznej – satelitów, teleskopów oraz innych. Dodatkowo na ryzyko choroby popromiennej narażeni są astronauty, przebywający na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.

Do broni niekinetycznej zalicza się również broń o ukierunkowanej energii, której czynnikiem aktywnym jest światło laserowe lub mikrofałe. Efektem działania takiej broni jest oślepienie satelity, utrata kontroli nad nią lub jej fizyczne zniszczenie. Obecnie istnieje wiele problemów technologicznych, które powodują znaczne ograniczenia użycia jej w przestrzeni kosmicznej. Niezbędne jest skupienie i utrzymanie wiązki do czasu skumulowania się energii, często na obiektach szykoprzemieszczających się. Poza tym, z uwagi na koherentną jedną wiązkę światła laserowego, utrudnione jest oddziaływanie na kilka obiektów, np. salwę pocisków. Kolejny problem broni ukierunkowanej do zasięg. Zazwyczaj skuteczne jej oddziaływanie szacuje się na kilkaset kilometrów, co w odniesieniu do obiektów kosmicznych powoduje znaczące obniżenie jej skuteczności.

Kolejne zagrożenie kosmiczne to broń elektroniczna. Jej zastosowanie w przestrzeni kosmicznej podyktowane jest dwoma podstawowymi technikami. Pierwsza z nich to jamming, natomiast drugą jest spoofing. Jammingiem (inaczej zagłuszaniem) określa się

---

<sup>10</sup> R. Szepke, *1000 słów o atomie i technice jądrowej*, Warszawa 1982.

technikę polegającą na emitowaniu fal elektromagnetycznych w kierunku odbiornika sygnału, w celu przerwania jego dostępności. Za spoofing, czyli fałszowanie i podszywanie się, uznaje się rodzaj ataku elektronicznego, polegającego na emisji fałszywych sygnałów nawigacyjnych imitujących prawdziwe sygnały docierające do odbiornika z satelitów tego systemu. Celem takiego ataku jest doprowadzenie do wyznaczenia przez odbiornik GPS nieprawidłowych informacji o jego pozycji geograficznej, prędkości i czasie<sup>11</sup>. W odniesieniu do atakowania aktywów kosmicznych, w zależności na wektor działania, rozróżnia się dwa rodzaje jammingu. Pierwszy w relacji stacja naziemna-satelita, druga to satelita-stacja naziemna. Odpowiednio są one nazywane uplink jamming i downlink jamming. Działanie kosmicznej broni elektronicznej można scharakteryzować za pomocą kilku zmiennych. Skutki rażenia są odwracalne, a ocena zniszczeń utrudniona – brak możliwości, chyba że efekty są widoczne. Straty niezamierzone wywoływane przez urządzenia elektroniczne skupiają się do zakłócenia sygnałów oraz sąsiadujących częstotliwości lub sygnałów radiowych.

Ostatnim zdefiniowanym rodzajem zagrożenia kosmicznego jest broń cybernetyczna. Za jej pośrednictwem rozróżnia się 3 rodzaje oddziaływania: przechwytywanie lub monitorowanie danych, przekłamanie danych i przejęcie kontroli. Ocenę zniszczeń wywołanych tymi technikami można potwierdzić w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do rzeczywistego. Przechwytywanie i monitorowanie danych polega na zbieraniu danych przesyłanych przez systemy satelitarne. Przykładem takich działań jest podsłuch lub działania z zakresu wywiadu elektronicznego (ang. *ELectronics INTelligence* – ELINT). Przekłamanie danych jest techniką oddziaływania na system komputerowy, w wyniku którego dochodzi do zmiany danych i przetwarzania przez system błędnych informacji. Ostatnia z technik – przejęcie kontroli – polega na możliwości kierowania obiektem przez system komputerowy. Skutkiem takich cyberataków może być trwałe uszkodzenie lub zniszczenie obiektu kosmicznego – satelity.

## ZAGROŻENIA KOSMICZNE I ICH TYPOLOGIA W DOKUMENTACH STRATEGICZNYCH

Jedna ze współczesnych strategii kosmicznych *Space Defence Strategy*<sup>12</sup> analizuje zagrożenia kosmiczne w sposób selektywny. Zapisy tego dokumentu wskazują na naturalne

---

<sup>11</sup> R.B. Langley, *Innovation: GNSS Spoofing Detection*, „GPS Word” (2013).

<sup>12</sup> The French Ministry for the Armed Forces, *Space Defence Strategy*, Paris 2019.

zagrożenia kosmiczne, związane z warunkami fizycznymi tego środowiska – duże amplitudy temperatur oraz silne promieniowanie jonizujące oraz zagrożenia antropogeniczne – śmieci kosmiczne. Zapisy strategii podkreślają skutki zderzeń śmieci kosmicznych z poruszającymi się w Kosmosie satelitami. W przypadku zderzenia się obiektu o wymiarach od jednego do dziesięciu centymetrów z satelitą może spowodować poważne jego uszkodzenie. Obiekty powyżej 10 cm mogą nie tylko całkowicie zniszczyć satelitę, ale również wytworzyć kolejne śmieci kosmiczne powstające z defragmentacji zniszczonego obiektu. Mimo, że część śmieci kosmicznych ulega naturalnym deorbitacją (12 lat dla obiektu poruszającego się na wysokości 500 km), dynamiczny wzrost wystrzeliwanych obiektów kosmicznych zwiększa prawdopodobieństwo takich zderzeń.

W dalszej części analizowanego dokumentu zawarta jest przyszłościowa analiza zagrożeń wynikająca z militaryzacji kosmosu. Przyjęty podział dotyczy kosmicznych zagrożeń militarnych, zarówno w wojskowych działaniach defensywnych, jak i ofensywnych. Antycypuje się 5 rodzajów zagrożeń kosmicznych: cyberzagrożenia (cyber threats), zagłuszanie elektromagnetyczne (electromagnetic jamming), usługi orbitalne (orbital services), zagrożenia konwencjonalne (conventional threats), zagrożenia kinetyczne (kinetic threats). Cyberzagrożenia kosmiczne należą do najbardziej prawdopodobnych ataków na aktywa kosmiczne. Taka konstatacja uzasadniona jest tanim kosztem wykonania ataków cybernetycznych. Same ataki charakteryzują się trudnością wykrycia sprawcy ataku, którego skutki mogą być odwracalne jak i nieodwracalne – np. przejęcie kontroli i doprowadzenie do zniszczenia obiektu, poprzez zmianę jego trajektorii. Zagłuszanie elektromagnetyczne skierowane jest najczęściej na segment naziemny systemów satelitarnych. Zagrożenia – usługi orbitalne – związane są z komercjalizacją rynku kosmicznego oraz szerokim dostępem do przestrzeni kosmicznej. Działania realizowane przez sektor cywilny, takie jak: tankowanie, inspekcja, wymiana części umożliwiają wykonanie zbliżeń do obiektów kosmicznych, a co za tym idzie łatwego ich przechwycenia, czy nawet fizycznego zniszczenia. Francuska strategia klasyfikując współczesne zagrożenia militarne wyróżnia kosmiczne zagrożenia konwencjonalne. Uznaje za nie takie techniki, jak: sabotaż, ataki na infrastrukturę naziemną oraz systemy energetyczne. Ostatnią grupą zagrożeń zawartych w dokumencie strategicznym są zagrożenia kinetyczne. Zaliczono do nich: naziemną, orbitalną oraz miotaną z powietrza broń ASAT, która charakteryzuje się nieodwracalnością skutków jej użycia, które

zazwyczaj wiążą się nie tylko z fizycznym zniszczeniem obiektu, jak również z prawdopodobieństwem powstania śmieci kosmicznych.

Dla porównania inny współczesny dokument o charakterze strategicznym – brytyjska narodowa strategia kosmiczna (National Space Strategy)<sup>13</sup> nie zawiera analizy i identyfikacji zagrożeń kosmicznych. Pośrednio za zagrożenie traktowana jest pogoda kosmiczna oraz jej skutki. Definiuje się ją jako: zjawiska mające miejsce na Słońcu oraz w wietrze słonecznym, magnetosferze, jonosferze i termosferze, które mogą mieć wpływ na działanie i niezawodność kosmicznych i naziemnych systemów technologicznych oraz mogą zagrażać życiu lub zdrowiu ludzi<sup>14</sup>. Pogoda kosmiczna wynika głównie z perturbacji Słońca. Literatura przedmiotu wskazuje 3 efekторы, poprzez które aktywność słoneczna wpływa na Ziemię i jej środowisko. Zalicza do nich takie zagrożenia, jak: fale elektromagnetyczne (promieniowanie), strumienie wysokoenergetycznych cząstek oraz spójne przepływy plazmy lub chmury. Takie wahania wysokoenergetycznego promieniowania prowadzą do zmian w stopniu jonizacji górnych warstw atmosfery ziemskiej (jonosfery), co z kolei modyfikuje transmisyjność i refleksyjność jonosfery dla fal radiowych. Strumienie wysokoenergetycznych cząstek z kolei stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi w przestrzeni kosmicznej, jak również mogą oddziaływać na załogi i pasażerów odbywających podróż transportem lotniczym. Przepływ plazmy lub chmury określane są jako wiatr słoneczny. Zasadniczo przepływ plazmy ze Słońca<sup>15</sup> do Ziemi jest procesem ciągłym. Ziemia chroniona jest przed wpływem tego niekorzystnego zjawiska strefą magnetosfery. Natomiast perturbacje, których efektem jest wyrzucanie dużych ilości plazmy z powierzchni Słońca w przestrzeń międzyplanetarną, tworzące tzw. koronalny wyrzut masy (ang. Coronal Mass Ejection – CME)<sup>16</sup>, wywołują zjawisko nazywane burzą geomagnetyczną – nagłe zmiany pola magnetycznego Ziemi. Taka aktywność słoneczna, przy uderzeniu w ziemską atmosferę prowadzi do różnych negatywnych skutków, takich jak: awarie sieci elektrycznej, utrata dostępu do danych nawigacji satelitarnej. Zasadniczym problemem naturalnych zagrożeń

---

<sup>13</sup> UK Government, *National Space Strategy*, 2021.

<sup>14</sup> A. Hanslmeier, *Introduction, What is Space Weather?* [w:] *The Sun and Space Weather*, Dordrecht, s. 1.

<sup>15</sup> Z uwagi na prędkość plazmy rozróżnia się przepływy wolne rzędu 200÷400 km/s i szybkie 400÷800 km/s.

<sup>16</sup> Typowe prędkości CME wahają się od kilkuset do kilku tysięcy kilometrów na sekundę. Im szybciej przemieszcza się chmura plazmy, tym większą niesie energię oraz możliwości destrukcyjne.



kosmicznych jest brak czasu na przeciwdziałanie z uwagi na krótki czas od reakcji na Słońcu do wywołania negatywnych skutków na Ziemi<sup>17 18</sup>.

## ZAGROŻENIA I ICH TYPOLOGIA PRZEZ KOSMICZNE AGENCJE RZĄDOWE

Europejska Agencja Kosmiczna (*European Space Agency – ESA*) w swojej publikacji<sup>19</sup> definiuje zagrożenia kosmiczne. Pierwszym z nich jest problem śmieci kosmicznych, wskazując że jedynie 13% z 36 tys. średniej wielkości śmieci kosmicznych jest kontrolowanych. Kolejne określone zagrożenia dotyczą pogody kosmicznej i jej wpływu na obiekty kosmiczne, np. satelity, jak również infrastrukturę – sieci telekomunikacyjne. Tak określona problematyka implikuje opracowanie systemów, działających w czasie rzeczywistym, umożliwiających wykrywanie, identyfikację zagrożeń kosmicznych, jak również systemów pozwalających na usuwaniu nieaktywnych obiektów, np. satelitów z przestrzeni kosmicznej i śmieci kosmicznych.

Podośrodek Europejskiej Agencji Kosmicznej Near-Earth Object Coordination Centre (NEOCC), jako zagrożenie kosmiczne określa obiekty bliskie Ziemi (Near-Earth Object – NEO). Do obiektów bliskich Ziemi agencja ESA zalicza: asteroidy (asteroids)<sup>20</sup>, komety (comets)<sup>21</sup> oraz kule ognia (Fireballs)<sup>22</sup>. Asteroidy są obiektami kosmicznymi o strukturze skalistej. Literaturowo klasyfikuje się je na trzy typy, oznaczone literowo – C, S i M, różniące się składem swojej struktury oraz zakresem albedo. Asteroidy C (carbonaceous) (75%

---

<sup>17</sup> Fale elektromagnetyczne, przemieszczają się ze Słońca do Ziemi z prędkością światła i docierają po około 8 minutach, strumienie wysokoenergetycznych cząstek w czasie od 30 minut do kilku godzin, natomiast bardzo szybkie CME docierają do Ziemi w czasie od 20 godzin do kilku dni, I. González Hernández i in., *Solar Origins of Space Weather and Space Climate: Preface* [w:] *Solar Origins of Space Weather and Space Climate*, New York, NY 2013, ss. 2–3.

<sup>18</sup> I.A. Daglis (red.), *Effects of Space Weather on Technology Infrastructure*, t. 176, Dordrecht 2005; I. González Hernández i in., *Solar Origins of Space Weather and Space Climate: Preface...*

<sup>19</sup> European Space Agency, *Protection of space assets* [na:] <https://vision.esa.int/protection-of-space-assets>.

<sup>20</sup> W literaturze istnieje pojęcie zagrożenia kosmicznego – asteroid potencjalnie zagrażającym Ziemi (ang. Potentially Hazardous Asteroid – PHA), P.K. King i in., *Late-time small body disruptions for planetary defense*, „Acta Astronautica” t. 188 (2021), DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.07.034. Istnieje również pojęcie asteroidy bliskiej Ziemi (Near-Earth Asteroid – NEA), takiej której trajektoria zbliża się na odległość 1,3 au od Słońca, a więc na odległość 0,3 au od orbity Ziemi Z. Yu, H. Shang, B. Wei, *Accessibility assessment and trajectory design for multiple Near-Earth-asteroids exploration using stand-alone CubeSats*, „Aerospace Science and Technology” t. 118 (2021), DOI: 10.1016/j.ast.2021.106944, s. 2.

<sup>21</sup> Wyróżnia się pojęcie – komety bliskie Ziemi (Near-Earth Comets – NECs). Określa się nim komety o okresie obiegu krótszym niż 200 lat i odległości peryhelium mniejszej niż 1,3 au, K.A. van der Hucht, *The IAU and hazardous Near Earth Objects – a clear and present danger*, „Proceedings of the International Astronomical Union” t. 13 nr S349 (2018), DOI: 10.1017/S1743921319000164.

<sup>22</sup> European Space Agency, *Near-Earth Objects Coordination Centre* [na:] <https://neo.ssa.esa.int>.

występowania) o albedo 0,03-0,09 zawierają zubożony wodór, hel i inne lotne substancje. Klasa S (krzemowe), stanowiąca 17% rezerwuaru o albedo 0,10-0,22, składa się z metalicznego żelaza z domieszką krzemianów żelaza i magnezu. Ostatnia grupa asteroidów oznaczona jest M (metaliczne). Ich albedo wynosi w przedziale 0,10-0,18. W składzie dominuje metaliczne żelazo<sup>23</sup>. Komety to ciała niebieskie, których główną strukturę skalno-lodową. Jądro komety zbudowane jest z mieszaniny pyłów i drobnych odłamków skalno-lodowych, składających się z lodu wodnego, zestalonego dwutlenku węgla i metanu. Klasyfikacja komet dzieli je na jednopojawieniowe i krótkookresowe – takie, które obiegają Słońce w czasie nie dłuższym niż 200 lat. Ostatnie zdefiniowane przez ESA naturalne zagrożenie kosmiczne to kule ognia. Jest to efekt spalania się meteorów w atmosferze, charakteryzujący się wydzieleniem dużej ilości światła, jak również fali uderzeniowej. Obiekty te charakteryzują się dwoma parametrami – całkowitą optyczną energią promieniowaną (Total Radiated Energy (J)) oraz całkowitą energią uderzenia (Calculated Total Impact Energy (kt) – CTIE).

W literaturze istnieją dwie możliwości szacowania naturalnych zagrożeń kosmicznych. Należą do nich dwie skale – Palermo<sup>24</sup> i Torino<sup>25</sup>. Skala Palermo jest funkcją logarytmiczną. Wyznaczana jest ona przy udziale dwóch rodzajów danych: prawdopodobieństwa uderzenia obiektu w Ziemię, jak również energii kinetycznej uderzającego obiektu kosmicznego. Obserwowanym obiektom naturalnym, w celu określenia poziomu zagrożenia przypisuje się odpowiedni parametr liczbowy (skalowy), zgodnie z tabelą (Tabela 1). Zgodnie z tą skalą za obiekty zagrażające Ziemi uznaje się te mieszczące się w przedziale  $P = \langle -2, 0 \rangle$ .

Tabela 1.  
Parametry skali Palermo

Parametr	Opis parametru
P=-2	znikome ryzyko
P=0	tzw. ryzyko bazowe – średnie ryzyko, jakie obiekt takiej wielkości mógł zagrozić uderzeniem w powierzchnię Ziemi
P=+2	ryzyko uderzenia obiektu w Ziemię jest 100 razy większe niż ryzyko bazowe

<sup>23</sup> A. Rivkin, *An Overview of the Asteroids and Meteorites* [w:] *Planets, Stars and Stellar Systems*, Dordrecht 2013, s. 97.

<sup>24</sup> Pełna nazwa skali to – The Palermo Technical Impact Hazard Scale.

<sup>25</sup> T.H. Burbine, *Near-Earth Asteroids and the Impact Threat* [w:] *Asteroids*, Cambridge.

Skala Torino przedstawiona jest w formie tabelaryczno-graficznej, w której zaproponowano 4 strefy kolorystyczne (białą, zieloną, żółtą, pomarańczową i czerwoną) oraz 11 liczbowych poziomów zagrożenia (od 0 do 10)<sup>26</sup>. Wartość skali Torino szacowana jest, analogicznie jak skala Palermo, na podstawie prawdopodobieństwa zderzenia, jak również na szacowanej energii kinetycznej (konsekwencja zderzenia). Gradacja poziomów określona jest taki sposób, że poziom 0 (kolor biały) określa znikome zagrożenie (prawdopodobieństwo równe lub bliskie zero, natomiast poziomy 8-10 (kolor czerwony) oznaczają prawdopodobieństwo powyżej 99% zderzenia o katastrofalnych skutkach. Kolor żółty skali (poziomy 2-4) oznaczają małe prawdopodobieństwo uderzenia obiektu kosmicznego w Ziemię. Jednakże, jeśli takie zdarzenie miałoby miejsce szacuje się zniszczenia do wielkości regionu, w czasie nie szybszym niż dekada. Kolor pomarańczowy skali Torino zawiera się w poziomach 5-7. Definiuje on zagrożenia, których skutkiem jest globalna katastrofa, mogąca mieć miejsce w stuleciu wykrycia obiektu.

Obecnie agencja ESA śledzi i publikuje tzw. listę ryzyka – katalog wszystkich obiektów kosmicznych, dla których obliczono niezerowe prawdopodobieństwo zderzenia z Ziemią. Skatalogowane dane zawierają takie dane jak: numer obiektu, przybliżoną średnicę, szacowany czas uderzenia w Ziemię, czas aktywności, prędkość (km/s), typ orbity. Ponadto dostępne są właściwości fizyczne wybranych obiektów, jak również wizualizacja ich orbit. Obecnie agencja ESA monitoruje 27748 obiektów NEA, 1304 asteroid bliskich Ziemi oraz 117 komety bliskie Ziemi<sup>27</sup>.

### **PROPOZYCJA KATEGORYZACJI WSPÓŁCZESNYCH ZAGROŻEŃ KOSMICZNYCH**

Na podstawie powyższego materiału możliwe jest uporządkowanie wiedzy i opracowanie kategorizacji współczesnych zagrożeń kosmicznych. W poniższej tabeli przedstawiono propozycję kategorizacji współczesnych niemilitarnych (Tabela 2) i militarnych (Tabela 3) zagrożeń kosmicznych.

---

<sup>26</sup> R.P. Binzel, *The Torino Impact Hazard Scale*, „Planetary and Space Science” t. 48 nr 4 (2000), DOI: 10.1016/S0032-0633(00)00006-4.

<sup>27</sup> European Space Agency, *Near-Earth Objects Coordination Centre...*

Tabela 2.

Kategoryzacja współczesnych niemilitarnych zagrożeń kosmicznych

zagrożenie	rodzaj	podrodzaj	opis działania/charakterystyka	
naturalne	właściwości fizyczne przestrzeni kosmicznej	-	- duże amplitudy temperatur, silne promieniowanie jonizujące	
	obiekty bliskie Ziemi – NEO	asteroidy potencjalnie zagrażające Ziemi/asteroidy bliskie Ziemi – PHA/NEA	- katastrofalne skutki: wyginięcie dużej części ludzkości, efekt cieplarniany, zniszczenie warstwy ozonowej atmosfery	
		komety bliskie Ziemi (NECs)		jednopojawieniowe
				krótkookresowe
			kule ognia	
	pogoda kosmiczna		promieniowanie elektromagnetyczne	- zmiany stopnia jonizacji górnych części atmosfery - zaburzenia transmisji fal radiowych - krótki czas reakcji na zagrożenie (
			promieniowanie wysokoenergetyczne – wiatr słoneczny	- awarie sieci elektrycznych - utrudniony dostęp do usług nawigacji satelitarnej
		burza geomagnetyczna	- nagłe zmiany pola magnetycznego Ziemi - utrudniony dostęp do usług nawigacji satelitarnej	
śmieci kosmiczne	-	-	- fizyczne zniszczenie obiektu	

Tabela 3.

Kategoryzacja współczesnych militarnych zagrożeń kosmicznych

zagrożenie	rodzaj	podrodzaj	opis działania/charakterystyka
broń kosmiczna	kinetyczna	DA-ASAT	- rażenie za pomocą dużej ilości energii kinetycznej - fizyczne zniszczenie obiektu - brak możliwości zmiany decyzji po jej aktywacji - ocena zniszczeń w czasie rzeczywistym (zbliżonym do rzeczywistego) - straty niezamierzone: utrata życia, możliwość powstania śmieci kosmicznych
		rozlokowana w przestrzeni kosmicznej	
		orbitalna – bazowania kosmicznego	

			– powstanie śmieci kosmicznych
	niekinetyczna	jądrowa (użyta w Kosmosie)	– rażenie za pomocą dużej ilości energii kinetycznej
			– powstanie fali uderzeniowej, promieniowania ciepłego i przenikliwego, skażenia promieniotwórczego
			– wywołanie na Ziemi: zaburzeń energii elektrycznej, komunikacji, działania systemów radionawigacyjnych, powstanie choroby popromiennej
			– trwałe zniszczenie elementów w Kosmosie, np. satelitów
		laserowa	– efekt: oślepienie, utrata kontroli, fizyczne zniszczenie obiektu
		mikrofalowa	– niewielki zasięg
	elektroniczna	jamming	uplink jamming
			downlink jamming
		spoofing	– zakłócanie pracy urządzenia
			– odwracalne skutki użycia
	cybernetyczna	przechwytywanie/monitorowanie danych	– efekt: nieprawidłowe wskazania pozycji geograficznej, prędkości i czasu
		przekłamanie danych	– odwracalne skutki użycia
		przejęcie kontroli	– skutki zazwyczaj odwracalne
			– ocena zniszczeń: możliwa w czasie rzeczywistym
			– efekt: fizyczne zniszczenie obiektu
			– trudność wykrycia agresora
usługi orbitalne	-	inspekcja	– łatwość przechwycenia/zniszczenia obiektu kosmicznego
		tankowanie	
		obsługa	
konwencjonalne	-	sabotaż	– łatwość przechwycenia/zniszczenia obiektu kosmicznego
		ataki na infrastrukturę naziemną	
		ataki na systemy energetyczne	

## WNIOSKI

Na podstawie analizy materiału badawczego wykazała, że identyfikacja i opis zagrożeń kosmicznych, zawartych w literaturze i strategiach jest rozproszona. Raporty rządowe traktują o militaryzację i weaponizację przestrzeni kosmicznej, a co za tym idzie identyfikują stricte zagrożenia militarne. Za takie zagrożenie kosmiczne uważają broń kosmiczną, a więc środek walki przewidziany do użycia w przestrzeni kosmicznej lub w stosunku do infrastruktury kosmicznej, dyslokowanej również na powierzchni Ziemi – segment naziemny lub użytkownika. Wyróżnia się 4 rodzaje broni mogącej znaleźć zastosowanie w stosunku do aktywów kosmicznych – kinetyczną, niekinetyczną, elektroniczną i cybernetyczną.

Przeanalizowane dokumenty strategiczne wybranych państw (Francji i Wielkiej Brytanii) wskazują, zarówno na zagrożenia militarne, jak i niemilitarne. Strategia francuska określa samą fizyczność przestrzeni kosmicznej za zagrożenie – duże amplitudy temperatur, silne promieniowanie jonizujące. Kolejne zagrożenie to śmieci kosmiczne. Francuski dokument wskazuje również na zagrożenia militarne, do których zalicza: cyberataki, zagłuszanie elektromagnetyczne, usługi orbitalne, zagrożenia konwencjonalne i zagrożenia kinetyczne. Brytyjska strategia skupia się na zagrożeniach naturalnych, wskazując głównie na pogodę kosmiczną i jej skutki. Takie jej efekty, jak fale elektromagnetyczne i wysokoenergetyczne, a także burza geomagnetyczna powodują katastrofalne skutki. Stanowią nie tylko zagrożenie dla załóg kosmicznych, ale również mogą spowodować przerwy w dostawach energii elektrycznej, usług lokalizacji, nawigacji i dokładnego czasu.

Agencje rządowe, analizując zagrożenia kosmiczne, skupiają uwagę na śmieci kosmiczne oraz pogodę kosmiczną. Jako szczególne niebezpieczeństwo w wektorze przestrzeń kosmiczna-Ziemia identyfikują obiekty bliskie Ziemi – asteroidy, komety i kule ognia. Analizując te zjawiska wskazuje się na potrzebę monitorowania tych obiektów, jak również szacowania prawdopodobieństwa uderzenia ich w Ziemię za pomocą dwóch dostępnych skal – Palermo i Torino.

## BIBLIOGRAFIA REFERENCES LIST

### PIŚMIENNICTWO LITERATURE

- Bielawski R., *Potęgometryczny wymiar militaryzacji przestrzeni kosmicznej*, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej 2022.
- Binzel R.P., *The Torino Impact Hazard Scale*, „Planetary and Space Science” t. 48 nr 4 (2000), DOI: 10.1016/S0032-0633(00)00006-4.
- Burbine T.H., *Near-Earth Asteroids and the Impact Threat* [w:] *Asteroids*, Cambridge.
- Daglis I.A. (red.), *Effects of Space Weather on Technology Infrastructure*, t. 176, Dordrecht 2005.
- European Space Agency, *Protection of space assets* [na:] <https://vision.esa.int/protection-of-space-assets>.
- European Space Agency, *Near-Earth Objects Coordination Centre* [na:] <https://neo.ssa.esa.int>.
- González Hernández I., Komm R., Pevtsov A., Leibacher J.W., *Solar Origins of Space Weather and Space Climate: Preface* [w:] *Solar Origins of Space Weather and Space Climate*, New York, NY 2013.
- Hanslmeier A., *Introduction, What is Space Weather?* [w:] *The Sun and Space Weather*, Dordrecht.
- Harrison T., Johnson K., Roberts T.G., i in., *Space Threat Assessment 2020*, Center for Strategic and International Studies 2020.
- Hucht K.A. van der, *The IAU and hazardous Near Earth Objects – a clear and present danger*, „Proceedings of the International Astronomical Union” t. 13 nr S349 (2018), DOI: 10.1017/S1743921319000164.
- King P.K., Syal M.B., Dearborn D.S.P., i in., *Late-time small body disruptions for planetary defense*, „Acta Astronautica” t. 188 (2021), DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.07.034.
- Kołodziejczak M.E., *Różnica pojęć: wojna, konflikt zbrojny, kryzys, zagrożenie występujących w naukach o bezpieczeństwie* [w:] W. Sójka, M. E. Kołodziejczak (red.), *Zagrożenia bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej w XXI wieku. Pojęcie, zakres i kwalifikacja*, Warszawa 2016.
- Langley R.B., *Innovation: GNSS Spoofing Detection*, „GPS Word” (2013).
- Preston R., Johnson D.J., Edwards S.J.A., i in., *Space Weapons Earth Wars*, Santa Monica, CA 2002.
- Radomska A., *Contemporary Military Threats in Space Domain*, „Kwartalnik Bellona” t. 3 (2021).
- Rivkin A., *An Overview of the Asteroids and Meteorites* [w:] *Planets, Stars and Stellar Systems*, Dordrecht 2013.
- Sójka W., *Ewolucja zagrożeń, wyzwania, szans i ryzyk bezpieczeństwa narodowego Polski – wnioski* [w:] W. Sójka, M. E. Kołodziejczak (red.), *Zagrożenia bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej w XXI wieku. Pojęcie, zakres i kwalifikacja*, Warszawa 2016.
- Szepke R., *1000 słów o atomie i technice jądrowej*, Warszawa 1982.
- The French Ministry for the Armed Forces, *Space Defence Strategy*, Paris 2019.
- UK Government, *National Space Strategy*, 2021.
- Weeden B., Samson V., *Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment*, 2020 r.
- Yu Z., Shang H., Wei B., *Accessibility assessment and trajectory design for multiple Near-Earth-asteroids exploration using stand-alone CubeSats*, „Aerospace Science and Technology” t. 118 (2021), DOI: 10.1016/j.ast.2021.106944.



Copyright (c) 2022 Radosław BIELAWSKI



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.