

Innowacyjne dziś – strategiczne jutro.
Technologie podwójnego zastosowania w służbie bezpieczeństwa
państwa
(Innovative Today – Strategic Tomorrow. Dual-Use Technologies in the Service
of National Security)

Streszczenie

W obliczu współczesnych wyzwań w zakresie bezpieczeństwa narodowego rośnie znaczenie technologii podwójnego zastosowania, które łączą funkcje cywilne oraz wojskowe. Rozwiązania te, obejmują między innymi bezzałogowe statki powietrzne, sztuczną inteligencję oraz nowoczesne materiały, umożliwiają elastyczne reagowanie na zróżnicowane zagrożenia oraz wspierają rozwój odporności państwa.

Szczególne uwaga została poświęcona potencjałowi polskiego sektora naukowo-technicznego, w tym projektom rozwijanym przez uczelnie techniczne, jednostki badawcze i przedsiębiorstwa prywatne. Przedstawione przykłady potwierdzają zdolność krajowego środowiska inżynierskiego do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, które mogą być skutecznie wdrażane zarówno w infrastrukturze cywilnej, jak i w systemach obronnych.

Celem opracowania jest wskazanie roli technologii podwójnego zastosowania w kształtowaniu nowoczesnej polityki bezpieczeństwa oraz potrzeby budowy zintegrowanego systemu wspierającego ich rozwój, wdrożenie i promocję na arenie międzynarodowej.

Słowa kluczowe:

technologie podwójnego zastosowania, bezpieczeństwo narodowe, bezzałogowe statki powietrzne, sztuczna inteligencja, materiały kompozytowe, innowacje technologiczne

Abstract

The growing complexity of contemporary security challenges highlights the increasing importance of dual-use technologies that integrate both civilian and military functionalities. Solutions such as unmanned aerial vehicles, artificial intelligence and advanced materials provide the flexibility required to respond to diverse threats and play a key role in enhancing national resilience.

This article emphasizes the potential of the Polish scientific and technological sector, including initiatives developed by technical universities, research institutes and private enterprises. The selected case studies demonstrate the capacity of the domestic engineering community to deliver innovative solutions suitable for both civilian infrastructure and defense systems.

The objective is to explore the strategic role of dual-use technologies in shaping modern security policy and to underscore the need for a coordinated framework that facilitates their development, implementation and international promotion.

Keywords:

dual-use technologies, national security, unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, composite materials, technological innovation

1. Wprowadzenie

Współczesne systemy bezpieczeństwa narodowego podlegają dynamicznym przemianom wynikającym z rosnącej złożoności środowiska międzynarodowego, gwałtownego rozwoju nowych technologii oraz ewolucji charakteru zagrożeń. W obliczu niestabilności geopolitycznej, ekspansji zagrożeń informacyjnych i cyfrowych, a także rosnącego znaczenia odporności infrastruktury krytycznej, państwa zmuszone są do redefinicji swoich strategii bezpieczeństwa. Zmiany te pociągają za sobą konieczność integracji nowoczesnych oraz interdyscyplinarnych rozwiązań technologicznych, przy jednoczesnym uwzględnieniu synergii między środowiskami cywilnymi, a wojskowymi.

W tym kontekście na szczególną uwagę zasługują technologie podwójnego zastosowania (ang. dual-use), które łączą potencjał zastosowań cywilnych z możliwością adaptacji do celów obronnych. Ich rozwój, klasyfikacja oraz kontrola stały się jednym z najważniejszych wyzwań dla wspólnot międzynarodowych. Zgodnie z definicją zawartą w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/821 z dnia 20 maja 2021 roku, są to produkty, oprogramowanie i technologie, które mogą być wykorzystywane zarówno do celów cywilnych, jak i wojskowych¹.

Rzeczywisty rozwój tych technologii nie odbywa się w próżni. Ich znaczenie rośnie w odpowiedzi na zmiany w sposobie prowadzenia współczesnych konfliktów, które coraz rzadziej mają charakter konwencjonalny przybierając formę operacji hybrydowych, cyberataków, dezinformacji czy ingerencji w przestrzeń informacyjną². W takim środowisku to nie liczba jednostek wojskowych, lecz zdolność państwa do szybkiego wdrażania i adaptacji przełomowych rozwiązań technologicznych staje się nowym miernikiem siły i suwerenności³.

Technologie podwójnego zastosowania rodzą istotne dylematy etyczne, polityczne i regulacyjne, związane z ich eksportem, transferem i wykorzystaniem. Nieodpowiedzialne zarządzanie tymi zasobami może prowadzić do wzmacniania potencjału militarnego reżimów autorytarnych lub

¹ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/821 z dnia 20 maja 2021 r. ustanawiające wspólnotowy system kontroli wywozu, pośrednictwa, pomocy technicznej, tranzytu i transferu produktów podwójnego zastosowania, Dz.U. UE L 206 z 11.6.2021, s. 1.

² J. P. Maciejewski, „Wojna hybrydowa jako wyzwanie dla współczesnych sił zbrojnych”, *Zeszyty Naukowe AON*, 2019, nr 3(116), s. 55–70.

³ B. Nowak, „Technologia jako źródło przewagi strategicznej w polityce bezpieczeństwa państwa”, *Przegląd Strategiczny*, 2022, nr 15, s. 133–149.

organizacji destabilizujących porządek międzynarodowy⁴. Z drugiej strony, właściwie zaplanowana strategia rozwoju oraz kontroli tych technologii może znacząco przyczynić się do budowania odporności państwa, nie tylko w wymiarze obronnym, ale również społecznym, gospodarczym i środowiskowym.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie roli oraz znaczenia technologii podwójnego zastosowania w systemie bezpieczeństwa narodowego, ze szczególnym uwzględnieniem ich potencjału innowacyjnego, mechanizmów implementacji oraz obszarów zastosowania. Analizie poddane zostaną zarówno ramy prawne i strategiczne funkcjonujące w Unii Europejskiej i NATO, jak i konkretne przykłady z sektora lotniczego/ kosmicznego. Podkreślona zostanie również potrzeba integracji środowiska naukowego, technologicznego i instytucjonalnego w celu skutecznego wykorzystania potencjału dual-use w służbie bezpieczeństwa i suwerenności państwa.

2. Metodologia

Niniejsze opracowanie ma charakter przeglądowo-analityczny i opiera się na analizie literatury przedmiotu, dokumentów strategicznych, raportów organizacji międzynarodowych oraz wybranych aktów prawnych związanych z technologiami podwójnego zastosowania. Szczególną uwagę poświęcono materiałom publikowanym przez instytucje Unii Europejskiej, NATO, krajowe jednostki badawcze oraz uznane czasopisma naukowe z zakresu bezpieczeństwa, inżynierii i technologii obronnych.

Dobór przykładów oparto na ich reprezentatywności dla polskiego potencjału technologicznego oraz na rzeczywistych lub potencjalnych możliwościach wdrożeniowych zarówno w sektorze cywilnym, jak i obronnym. Analiza ma charakter interdyscyplinarny, łącząc perspektywy nauk technicznych oraz polityki bezpieczeństwa. Celem jest wskazanie praktycznego znaczenia technologii podwójnego zastosowania w kontekście budowy nowoczesnego i zintegrowanego systemu bezpieczeństwa państwa.

3. Bezzałogowe statki powietrzne

3.1 Charakterystyka i znaczenie technologiczne

Bezzałogowe statki powietrzne (UAV) stanowią obecnie jeden z najdynamiczniej rozwijających się obszarów współczesnej technologii lotniczej. Ich konstrukcja umożliwia elastyczne konfigurowanie systemów pomiarowych, transmisyjnych i obserwacyjnych, co pozwala na dostosowanie platformy do szerokiego spektrum wymagań operacyjnych. Kluczową cechą tej technologii jest zdolność do

⁴ M. Drelich, „Bezpieczeństwo eksportu technologii dual-use: między interesem handlowym a odpowiedzialnością międzynarodową”, *Sprawy Międzynarodowe*, 2021, nr 1, s. 88–103.

prowadzenia misji w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów oraz eliminacji ryzyka dla życia personelu. Współczesne systemy bezzałogowe stają się integralnym elementem struktur bezpieczeństwa, obronności oraz zarządzania kryzysowego na poziomie lokalnym, krajowym i międzynarodowym⁵.

3.2 Zastosowania w sektorze cywilnym

W zastosowaniach cywilnych bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane są m.in. do monitorowania stanu środowiska naturalnego, inspekcji infrastruktury krytycznej oraz prowadzenia działań poszukiwawczo-ratowniczych. Umożliwiają one szybką ocenę sytuacji w terenie objętym katastrofą naturalną, precyzyjne lokalizowanie osób zaginionych oraz kontrolę obiektów infrastrukturalnych takich jak mosty, linie energetyczne czy sieci gazociągowe⁶. Ich zdolność do zbierania danych w czasie rzeczywistym oraz do operowania w trudno dostępnych obszarach czyni je narzędziem wspierającym zarządzanie sytuacjami nadzwyczajnymi oraz zapewnianie ciągłości działania usług publicznych⁷.

3.3 Zastosowania wojskowe i operacyjne

W sektorze obronnym bezzałogowe statki powietrzne pełnią funkcję kluczowego narzędzia rozpoznania, nadzoru i prowadzenia precyzyjnych misji. Dzięki możliwościom prowadzenia lotów na dużych wysokościach i długim czasie działania, stanowią efektywne wsparcie działań bojowych. Przykładem tego typu systemu jest MQ-9 Reaper, zdolny do prowadzenia długodystansowych misji bojowych oraz misji obserwacyjnych⁸. Z kolei Bayraktar TB2 wykazuje wysoką skuteczność zarówno w konfliktach asymetrycznych, jak i w operacjach patrolowych⁹. W Polsce rozwijane są własne systemy tego typu, m.in. platforma FlyEye, wykorzystywana przez Siły Zbrojne RP, Straż Graniczną i służby ratownicze¹⁰.

3.4 Znaczenie dla systemów bezpieczeństwa i perspektywy rozwoju

Bezzałogowe statki powietrzne zyskują coraz większe znaczenie w kontekście strategicznej autonomii państw oraz budowy odporności systemów bezpieczeństwa. Stanowią element transformacji cyfrowej

⁵ European Commission, *EU Dual-Use Export Controls*, Brussels 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R0821> (dostęp: 15.07.2025).

⁶ G. R. Dubois, "Environmental Monitoring with UAVs: Trends and Perspectives," *Sensors*, 2021, vol. 21(5), s. 1652.

⁷ T. Nguyen, "Disaster Response Using Civilian Drones," *Journal of Emergency Management*, 2022, vol. 20(3), s. 117–124.

⁸ U.S. Air Force, MQ-9 Reaper Factsheet, 2024, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/> (dostęp: 17.07.2025).

⁹ K. A. Rekawek, „Bayraktar TB2 – wpływ technologii dronowej na współczesne konflikty zbrojne”, *Przegląd Strategiczny*, 2022, nr 1, s. 123–137.

¹⁰ Grupa WB, *System FlyEye- informacje techniczne*, 2023, <https://www.wbgroup.pl> (dostęp: 17.08.2025).

sił zbrojnych i instytucji cywilnych, umożliwiając zbieranie danych operacyjnych, obserwację w czasie rzeczywistym oraz integrację z sieciocentrycznymi systemami dowodzenia. Ich funkcjonalna neutralność polegająca na możliwości prowadzenia różnych typów misji za pomocą tej samej platformy czyni je klasycznym przykładem technologii podwójnego zastosowania¹¹.

W polskich warunkach rozwój tej dziedziny jest efektem współpracy między przemysłem zbrojeniowym, instytutami badawczymi oraz uczelniami technicznymi. Programy takie jak Orlik czy Wizjer, realizowane przez krajowe podmioty, świadczą o rosnącej kompetencji w zakresie projektowania, integracji oraz wdrażania rodzimych systemów bezzałogowych¹². W dłuższej perspektywie technologie te mogą stanowić istotny element wzmacniania zdolności obronnych państwa oraz eksportowego potencjału polskiego przemysłu lotniczego.

4. Sztuczna inteligencja

4.1 Znaczenie technologiczne i potencjał adaptacyjny

Sztuczna inteligencja (AI) stała się integralnym elementem nowoczesnych systemów technologicznych, w tym również w obszarach związanych z bezpieczeństwem państwa i infrastrukturą krytyczną. Jej zastosowania, obecne pierwotnie w rozwiązaniach komercyjnych, takich, jak inteligentne systemy selekcji informacji czy algorytmy personalizacji treści, znajdują dziś coraz szersze wykorzystanie w kontekście zarządzania stanem technicznym złożonych systemów technicznych. Szczególne znaczenie przypisuje się jej funkcjom diagnostycznym oraz prognostycznym, które umożliwiają detekcję nieprawidłowości oraz przewidywanie potencjalnych usterek¹³.

4.2 Zastosowanie w lotnictwie cywilnym i wojskowym

W systemach lotniczych rozwijane są zaawansowane narzędzia klasy *predictive maintenance* oraz *real-time structural health monitoring*, które integrują dane z czujników rozmieszczonych w strukturze płatowca i analizują je za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji. Takie podejście pozwala nie tylko na prognozowanie zużycia komponentów, ale także na optymalizację harmonogramów przeglądów oraz znaczącą redukcję kosztów eksploatacyjnych¹⁴.

W lotnictwie cywilnym implementacja rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji przekłada się na skrócenie przestojów operacyjnych oraz wzrost niezawodności technicznej. Przykładem takiego rozwiązania jest system *Airplane Health Management* opracowany przez firmę Boeing, umożliwiający

¹¹ T. Wagner, "The Operational Flexibility of Dual-Use UAV Systems," *Defense Technology Review*, 2023, vol. 15(2), s. 88–97.

¹² Ministerstwo Obrony Narodowej RP, *Program Rozwoju Systemów Bezzałogowych 2021–2026*, Warszawa 2021.

¹³ P. M. Frank, U. Rückert, „Intelligent fault diagnosis in safety-critical systems”, *Annual Reviews in Control*, 2005, vol. 29, s. 33–45.

¹⁴ D. L. Hall, J. Llinas, „An Introduction to Sensor Fusion”, *Proceedings of the IEEE*, 1997, vol. 85, no. 1, s. 6–23.

operatorom linii lotniczych bieżące monitorowanie stanu technicznego floty i analizę potencjalnych zagrożeń¹⁵.

Z kolei w sektorze obronnym technologie te odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu gotowości operacyjnej jednostek bojowych. Algorytmy predykcyjne wspierają zarządzanie flotą statków powietrznych, pojazdów naziemnych oraz infrastruktury logistycznej, umożliwiając szybką reakcję na zmieniające się uwarunkowania operacyjne¹⁶. Informacje o stanie technicznym systemów uzbrojenia są dostępne w czasie rzeczywistym, co zwiększa elastyczność i skuteczność działań zbrojnych.

4.3 Interoperacyjność i potencjał podwójnego zastosowania

Jednym z najważniejszych atutów sztucznej inteligencji w kontekście bezpieczeństwa jest jej wysoki potencjał interoperacyjny. Podstawowe mechanizmy decyzyjne wykorzystywane w systemach tego typu pozostają niezmiennie, niezależnie od środowiska zastosowania. Oznacza to, że te same algorytmy mogą zostać wdrożone zarówno w samolotach pasażerskich, jak i w systemach bezałogowych wykorzystywanych do zadań wojskowych lub ratowniczych. Tego rodzaju uniwersalność definiuje sztuczną inteligencję jako klasyczny przykład technologii podwójnego zastosowania, zdolnej do adaptacji w różnych kontekstach operacyjnych przy zachowaniu spójności funkcjonalnej i wysokiej skuteczności działania¹⁷.

4.4 Znaczenie dla bezpieczeństwa systemowego

Z perspektywy systemowej, wdrożenie inteligentnych systemów diagnostycznych wpisuje się w szerszy paradygmat nowoczesnego zarządzania infrastrukturą krytyczną. Zautomatyzowane, samouczące się modele analityczne wspierają tworzenie złożonych strategii monitoringu i utrzymania zasobów technicznych, redefiniując tradycyjne podejście do utrzymania ruchu. Poprzez wzrost zdolności predykcyjnych oraz możliwość integracji z innymi systemami bezpieczeństwa, sztuczna inteligencja przyczynia się do budowy odporności systemowej państwa oraz wzmacniania jego autonomii technologicznej i strategicznej.

5. Nowoczesne materiały strukturalne

5.1 Rola materiałów kompozytowych we współczesnym lotnictwie

Współczesne systemy lotnicze nie mogłyby osiągać obecnego poziomu sprawności operacyjnej bez zastosowania innowacyjnych materiałów konstrukcyjnych. Szczególne znaczenie w tej dziedzinie mają kompozyty włókniste, zwłaszcza kompozyty węglowe (CFRP) oraz szklane (GFRP), które z

¹⁵ Boeing Commercial Airplanes, *Airplane Health Management- System Overview*, 2023, <https://www.boeing.com/commercial/airplanes/ahm> (dostęp: 17.07.2025).

¹⁶ A. Novák, „Sztuczna inteligencja w zastosowaniach wojskowych-nowe możliwości czy nowe ryzyko?”, *Przegląd Bezpieczeństwa Wewnętrznego*, 2022, nr 14, s. 55–68.

¹⁷ European Defence Agency, *Strategic Foresight Analysis Report*, Brussels 2022, s. 88–92.

biegiem czasu przestały pełnić rolę materiałów uzupełniających względem metali i stały się podstawą strukturalną nowoczesnych płatowców¹⁸.

5.2 Zastosowania materiałów kompozytowych w lotnictwie cywilnym

W samolotach pasażerskich nowej generacji kompozyty stanowią ponad połowę masy struktury. Dla przykładu, w konstrukcji Boeinga 787 Dreamliner udział materiałów kompozytowych sięga 52%, co przekłada się na znaczące zmniejszenie masy własnej i redukcję zużycia paliwa¹⁹. Zaletą kompozytów nie jest wyłącznie lekkość. Wyróżniają się one odpornością na korozję, znakomitą wytrzymałością zmęczeniową oraz możliwością precyzyjnego dostosowania kształtu elementów do wymagań aerodynamicznych.

5.3 Materiały kompozytowe w systemach militarnych

Podobne podejście obserwuje się w lotnictwie wojskowym, gdzie materiały kompozytowe stosowane są nie tylko ze względu na ich właściwości mechaniczne, lecz także z uwagi na ich charakterystyki elektromagnetyczne. Właściwości dielektryczne kompozytów umożliwiają projektowanie struktur o obniżonej wykrywalności radiolokacyjnej. Ponadto, konfiguracja warstw włókien może być optymalizowana lokalnie, co pozwala dostosować parametry konstrukcyjne do specyficznych obciążeń, na przykład zwiększenie sztywności w rejonie mocowań podwozia lub redukcja refleksyjności w obszarach pokryw radarowych²⁰.

5.4 Zastosowanie międzysektorowe i znaczenie strategiczne

Kompozyty strukturalne są dziś klasycznym przykładem materiałów o charakterze podwójnego zastosowania. Spełniają one zarówno wymagania operacyjne sił zbrojnych, jak i potrzeby sektora cywilnego. Ich znaczenie strategiczne wynika z unikalnego połączenia właściwości mechanicznych, fizykochemicznych oraz potencjału inżynierii materiałowej. Znalazły one zastosowanie w szerokim spektrum platform powietrznych i naziemnych, w tym samolotach pasażerskich, śmigłowcach, bezzałogowych statkach powietrznych, a także elementach infrastruktury o znaczeniu krytycznym.

5.5 Kierunki rozwoju i integracja z technologiami addytywnymi

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie integracją materiałów kompozytowych z technologiami druku 3D. Dzięki temu możliwe staje się tworzenie komponentów o zoptymalizowanej geometrii i strukturze wewnętrznej. Połączenie technologii kompozytowych z wytwarzaniem addytywnym zwiększa potencjał adaptacyjny materiałów do konkretnych funkcji technicznych oraz

¹⁸ J. M. Hodgkinson, *Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites*, Woodhead Publishing, Cambridge 2000, s. 11–26.

¹⁹ Boeing, *787 Dreamliner: Materials*, 2024, <https://www.boeing.com/commercial/787/by-design> (dostęp: 17.07.2025).

²⁰ F. C. Campbell, *Structural Composite Materials*, ASM International, Materials Park 2010, s. 145–172.

operacyjnych, wzmacniając tym samym ich rolę w systemach obronności, logistyki oraz zabezpieczenia infrastruktury²¹.

6. Polska, jako aktywny uczestnik rozwoju technologii podwójnego zastosowania

Dotychczasowe rozważania koncentrowały się na analizie wybranych technologii (takich, jak bezzałogowe systemy powietrzne, sztuczna inteligencja czy nowoczesne materiały), które odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu współczesnych strategii bezpieczeństwa. Równie istotnym zagadnieniem pozostaje jednak pytanie o zdolność państwa do samodzielnego opracowywania, wdrażania oraz adaptowania takich rozwiązań do własnych potrzeb operacyjnych i cywilnych. Polska nie jest wyłącznie odbiorcą nowoczesnych technologii. W krajowym środowisku naukowym, badawczo-rozwojowym oraz przemysłowym dynamicznie rozwijają się inicjatywy o dużym potencjale wdrożeniowym, zorientowane na tworzenie systemów o charakterze dual-use.

Jednym z przykładów takiej inicjatywy jest system PW-ZOOM, opracowany przez Politechnikę Warszawską. Choć pierwotnie przeznaczony do monitorowania kolonii pingwinów na Antarktydzie, dzięki swoim właściwościom obserwacyjnym i autonomicznym może zostać z powodzeniem zaadaptowany do misji patrolowych, taktycznych i rozpoznawczych²². Podobne możliwości oferuje projekt Dragonfly Vision, łączący bezzałogowe statki powietrzne z algorytmami sztucznej inteligencji w celu inwentaryzacji zasobów leśnych. Zastosowane rozwiązania umożliwiają przekształcenie systemu na potrzeby wykrywania nielegalnych obozowisk, analizy terenu lub monitorowania aktywności grup zbrojnych²³.

Istotne, w kontekście technologii podwójnego zastosowania są rozwiązania pochodzące z sektora prywatnego. Volonaut, czyli jednoosobowy pojazd latający stworzony przez Tomasza Patana integruje zaawansowaną aerodynamikę, systemy stabilizacji oraz elektryczny napęd²⁴. Z kolei dron DefendEye, opracowany przez krakowski startup, umożliwia samodzielne prowadzenie misji od startu do lądowania, w tym rozpoznawanie sylwetek ludzi w czasie rzeczywistym²⁵. Przykładem modułowego podejścia do technologii podwójnego zastosowania jest również dron Kuna, zdolny do lotu, poruszania się po lądzie, transportu ładunków i wspomagania ewakuacji poszkodowanych. Konstrukcja oparta na wymiennych komponentach pozwala na elastyczne dopasowanie systemu do charakterystyki misji i warunków operacyjnych²⁶.

Zgromadzone przykłady nie mają charakteru incydentalnego. Świadczą one o istnieniu w Polsce realnego potencjału inżynierskiego, naukowego i technologicznego, który może i powinien zostać

²¹ T. Nguyen, S. Park, M. Seong, „Hybrid Composite Structures for Aerospace Applications Using Additive Manufacturing”, *Composites Part B: Engineering*, 2023, vol. 252, s. 110621.

²² Politechnika Warszawska, PW-ZOOM: Bezzałogowy Statek Powietrzny, 2022, <https://www.pw.edu.pl> (dostęp: 17.07.2025).

²³ Dragonfly Vision, *O Projekcie*, 2024, <https://www.dragonflyvision.pl> (dostęp: 17.07.2025).

²⁴ T. Patan, Volonaut: Pojazd Latający Nowej Generacji, <https://volonaut.com/> (dostęp: 17.07.2025).

²⁵ DefendEye, *Autonomiczny dron specjalistyczny*, 2024, <https://www.defendeye.pl> (dostęp: 17.08.2025).

²⁶ Polska Grupa Zbrojeniowa, *Systemy Bezzałogowe – Katalog Rozwiązań*, Warszawa 2024, s. 52–55.

systematycznie włączony w struktury strategicznego bezpieczeństwa państwa. Realizacja tego celu wymaga jednak zintegrowanego podejścia, obejmującego koordynację instytucjonalną, wsparcie legislacyjne, mechanizmy finansowania innowacji oraz skuteczny transfer technologii między środowiskiem naukowym, przemysłem i administracją państwową.

7. Wnioski i rekomendacje

Technologie podwójnego zastosowania stanowią jeden z fundamentalnych komponentów nowoczesnych strategii bezpieczeństwa narodowego. Ich dynamiczny rozwój, obejmujący zarówno obszary wojskowe, jak i cywilne, prowadzi do głębokiej transformacji w podejściu do ochrony zasobów państwa, reagowania na zagrożenia oraz budowania długofalowej odporności systemowej. Analiza przedstawionych przykładów od bezzałogowych statków powietrznych, przez systemy oparte na sztucznej inteligencji, aż po nowoczesne materiały, potwierdza nie tylko ich interdyscyplinarność, ale także ogromny potencjał adaptacyjny oraz wdrożeniowy.

W kontekście polskim kluczowe znaczenie ma nie tyle dostęp do technologii, ile zdolność do ich samodzielnego tworzenia, skalowania oraz integracji z systemami bezpieczeństwa narodowego. Przykłady krajowych projektów, takich jak PW-ZOOM, Dragonfly Vision, Volonaut czy DefendEye, dowodzą, że w Polsce istnieje zaplecze inżynieryjne, naukowe i przedsiębiorcze, zdolne do kreowania rozwiązań na światowym poziomie. Potencjał ten wymaga jednak wsparcia systemowego, aby mógł skutecznie przejść z poziomu koncepcji i prototypów do etapu pełnoskalowych wdrożeń.

Z perspektywy strategicznej zasadne jest opracowanie i wdrożenie krajowej polityki rozwoju technologii podwójnego zastosowania, która uwzględniałaby zarówno cele operacyjne sił zbrojnych, jak i potrzeby infrastruktury krytycznej, ochrony środowiska czy zarządzania kryzysowego. Konieczne jest stworzenie skutecznych mechanizmów finansowania badań i innowacji w obszarach priorytetowych, takich jak systemy autonomiczne, inteligentne zarządzanie stanem technicznym, sensoryka czy zaawansowane materiały. Równie istotne jest usprawnienie transferu wiedzy między środowiskami akademickimi, przemysłem i instytucjami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo. Tylko w ten sposób możliwe będzie wytworzenie efektywnego ekosystemu innowacji, który stanie się integralną częścią narodowej strategii odporności technologicznej.

Polska znajduje się dziś w punkcie zwrotnym, w którym decyzje dotyczące inwestycji w technologie podwójnego zastosowania mogą zadecydować o jej pozycji na arenie międzynarodowej w nadchodzących dekadach. Zdolność do rozwijania własnych rozwiązań, ich eksportu oraz udziału w kształtowaniu globalnych standardów technologicznych nie tylko zwiększy bezpieczeństwo państwa, ale również umocni jego rolę jako podmiotu aktywnie współtworzącego europejski i transatlantycki porządek strategiczny

Bibliografia

1. Boeing, *787 Dreamliner: Materials*, 2024, <https://www.boeing.com/commercial/787/by-design> (dostęp: 17.07.2025)
2. Boeing Commercial Airplanes, *Airplane Health Management – System Overview*, 2023, <https://www.boeing.com/commercial/airplanes/ahm> (dostęp: 17.07.2025)
3. Campbell F. C., *Structural Composite Materials*, ASM International, Materials Park 2010, s. 145–172
4. DefendEye, *Autonomiczny dron specjalistyczny*, 2024, <https://www.defendeye.pl> (dostęp: 17.07.2025)
5. Dragonfly Vision, *O Projekcie*, 2024, <https://www.dragonflyvision.pl> (dostęp: 17.07.2025)
6. Drelich M., „Bezpieczeństwo eksportu technologii podwójnego zastosowania: między interesem handlowym a odpowiedzialnością międzynarodową”, *Sprawy Międzynarodowe*, 2021, nr 1, s. 88–103
7. Dubois G. R., „Environmental Monitoring with UAVs: Trends and Perspectives”, *Sensors*, 2021, vol. 21(5), s. 1652
8. European Commission, *EU Dual-Use Export Controls*, Brussels 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R0821> (dostęp: 15.07.2025)
9. European Defence Agency, *Strategic Foresight Analysis Report*, Brussels 2022, s. 88–92
10. Frank P. M., Rückert U., „Intelligent fault diagnosis in safety-critical systems”, *Annual Reviews in Control*, 2005, vol. 29, s. 33–45
11. Grupa WB, *System FlyEye – informacje techniczne*, 2023, <https://www.wbgroup.pl> (dostęp: 17.07.2025)
12. Hall D. L., Llinas J., „An Introduction to Sensor Fusion”, *Proceedings of the IEEE*, 1997, vol. 85, nr 1, s. 6–23
13. Hodgkinson J. M., *Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites*, Woodhead Publishing, Cambridge 2000, s. 11–26
14. Jol Hayward, *Airpower and the Environment: The Ecological Implications of Modern Air Warfare*, Air University Press 2013
15. Krelina M., „Quantum Technology for Military Applications”, *arXiv preprint*, 2021
16. Kania E. B., *Battlefield Singularity: AI, Military Revolution and China’s Future Military Power*, Wilson Center, 2017
17. Maciejewski J. P., „Wojna hybrydowa jako wyzwanie dla współczesnych sił zbrojnych”, *Zeszyty Naukowe AON*, 2019, nr 3(116), s. 55–70
18. Montgomery A. H., *Double or Nothing? The Effects of Diffusion of Dual-Use Technologies on Strategic Stability*, CISSM Working Paper, 2020
19. Ministerstwo Obrony Narodowej RP, *Program Rozwoju Systemów Bezzałogowych 2021–2026*, Warszawa 2021
20. Mysyshyn A., „Israel uses dual-use technologies in AI targeting”, *TIME*, 18.12.2024
21. Nguyen T., „Disaster Response Using Civilian Drones”, *Journal of Emergency Management*, 2022, vol. 20(3), s. 117–124
22. Nguyen T., Park S., Seong M., „Hybrid Composite Structures for Aerospace Applications Using Additive Manufacturing”, *Composites Part B: Engineering*, 2023, vol. 252, s. 110621
23. Novák A., „Sztuczna inteligencja w zastosowaniach wojskowych – nowe możliwości czy nowe ryzyko?”, *Przegląd Bezpieczeństwa Wewnętrznego*, 2022, nr 14, s. 55–68
24. Nowak B., „Technologia jako źródło przewagi strategicznej w polityce bezpieczeństwa państwa”, *Przegląd Strategiczny*, 2022, nr 15, s. 133–149
25. Poland dual-use export control regulation, *Dz.U. UE L 206*, 11.06.2021, s. 1
26. Polska Grupa Zbrojeniowa, *Systemy Bezzałogowe – Katalog Rozwiązań*, Warszawa 2024, s. 52–55
27. Politechnika Warszawska, *PW-ZOOM: Bezzałogowy Statek Powietrzny*, 2022, <https://www.pw.edu.pl> (dostęp: 17.07.2025)
28. Rekawek K. A., „Bayraktar TB2 – wpływ technologii dronowej na współczesne konflikty zbrojne”, *Przegląd Strategiczny*, 2022, nr 1, s. 123–137
29. Schneier B., „America’s Dilemma: Close Security Holes, or Exploit Them Ourselves”, *Wired*, 2008
30. Singer P. W., *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, Penguin 2009

31. Singer P. W., Friedman A., *Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know*, Oxford University Press 2014
32. Singer P. W., Brooking E. T., *LikeWar: The Weaponization of Social Media*, Houghton Mifflin Harcourt 2018
33. Wasil A. R. et al., „Governing dual-use technologies: lessons for AI governance”, *arXiv preprint*, 2024
34. Wagner T., “The Operational Flexibility of Dual-Use UAV Systems”, *Defense Technology Review*, 2023, vol. 15(2), s. 88–97
35. Wired-Munro B., “The dual-use conundrum”, *Lowy Institute*, 2023
36. Wired, *The New Arms Race in Dual-Use Technologies*, IE Insights, 2024
37. WWII dual-use tech trade tensions, Hinrich Foundation, 2019
38. N. Davies, „Tactical Edge IoT in Defense Systems”, *Military Technology Review*, 2022, vol. 34(1), s. 44–59.
39. L. Zhang, „Military-Civil Fusion Strategy in Emerging Technologies: Case Study of China”, *Journal of Strategic Studies*, 2023, vol. 46(2), s. 201–219.