



*CENTRUM STUDIÓW UKRAIŃSKICH W SGH*  
*OPRACOWANIE ANALITYCZNE № WP2024.07 PL*

**ZASADY TEORETYCZNE I METODOLOGICZNE  
I GLOBALNE TENDENCJE W ZASTOSOWANIU  
SZTUCZNEJ INTELIGENCJI  
W SEKTORZE OBRONNYM**

**Viktoriia Hurochkina<sup>1</sup>, Switłana Bondarenko<sup>2</sup>,  
Tomasz Szapiro<sup>3</sup>**

**2024**

---

<sup>1</sup> Szkoła Główna Handlowa w Warszawie i Uniwersytet Zielonogórski (Polska), Kyiv Institute of Business and Technology (Ukraina), [viktoriia.hurochkina@sgh.waw.pl](mailto:viktoriia.hurochkina@sgh.waw.pl), [v.hurochkina@wez.uz.zgora.pl](mailto:v.hurochkina@wez.uz.zgora.pl), [viktoriov2005@ukr.net](mailto:viktoriov2005@ukr.net)

<sup>2</sup> Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Polska), Vadym Hetman Kijowski Narodowy Uniwersytet Ekonomiczny, (Ukraina), [bondarenko.svitlana@kneu.edu.ua](mailto:bondarenko.svitlana@kneu.edu.ua)

<sup>3</sup> Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Polska), [tszapiro@sgh.waw.pl](mailto:tszapiro@sgh.waw.pl)

## **CSUkr - Opracowania Analityczne**

*Seria empirycznych i analitycznych opracowań naukowych Centrum Studiów Ukraińskich w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie (CSUkr SGH) dokumentuje badania współpracowników w Polsce i poza jej granicami. Celem badań jest wiedza ekspercka i praktyczne rozwiązania budowane dzięki pogłębianiu rozumienia współczesnych procesów społeczno-ekonomicznych. W szczególności celem Centrum jest wspieranie rozwoju więzi naukowych pomiędzy Ukrainą i Polską w kontekście odbudowy Ukrainy i jej współpracy z krajami Unii Europejskiej i jej partnerami. Badania te dotyczą problemów migracji, zmian społeczno-ekonomicznych, współpracy naukowej oraz rozwoju innowacji, a także integracji Ukrainy z Europejską Przestrzenią Badawczą. Podejmowane tematy mają wpływ na jakość edukacji, kształtowanie przyszłych liderów oraz ich gotowość do sprostania globalnym wyzwaniom. Centrum CSUkr SGH zaprasza do współpracy badaniach, w wymianie wiedzy i naukowej współpracy naukowców, ekspertów, studentów oraz przedstawicieli gospodarki zainteresowanych rozwojem projektów badawczych i ich zastosowań.*

*The series of empirical and analytical scientific studies conducted by the Center for Ukrainian Studies at the Warsaw School of Economics (CSUkr SGH) documents research collaborations involving authors from Poland and other countries. The aim of these studies is to integrate expert knowledge with practical solutions, grounded in a deep understanding of contemporary socio-economic processes. Specifically, CSUkr SGH focuses its efforts on fostering the development of academic connections between Ukraine and Poland in the context of Ukraine's reconstruction and its cooperation with the European Union and other international partners. The research topics cover issues such as migration, socio-economic transformations, scientific cooperation, innovation development, and Ukraine's integration into the European Research Area. The discussed themes have a direct impact on the quality of education, the formation of future leaders, and their preparedness to address global challenges. The CSUkr SGH invites academics, experts, higher education students, and business representatives to collaborate on research projects, their practical applications, knowledge exchange, and the advancement of scientific partnerships.*

*Серія емпіричних та аналітичних наукових досліджень Центру українських студій Варшавської школи економіки (CSUkr SGH) документує наукові роботи співавторів із Польщі та інших країн. Метою досліджень є поєднання експертних знань із практичними рішеннями, заснованими на поглибленому розумінні сучасних соціально-економічних процесів. Зокрема, CSUkr SGH спрямовує свої зусилля на підтримку розвитку наукових зв'язків між Україною та Польщею у контексті відбудови України та її співпраці з країнами Європейського Союзу та іншими міжнародними партнерами. Тематика досліджень охоплює питання міграції, соціально-економічних змін, наукової співпраці та розвитку інновацій, а також інтеграції України до Європейського дослідницького простору. Обговорювані теми безпосередньо впливають на якість освіти, формування майбутніх лідерів та їхню готовність долати глобальні виклики. Центр CSUkr SGH запрошує до співпраці науковців, експертів, здобувачів вищої освіти та представників бізнесу, зацікавлених у розробці дослідницьких проектів і їх практичному застосуванні, а також у обміні знаннями та розвитку наукової співпраці.*

### **OPRACOWANIE GRAFICZNE**

**Anna Altuhova, Switłana Bondarenko**

**Centrum Studiów Ukraińskich w SGH**

**Szkoła Główna Handlowa w Warszawie**

## ZASADY TEORETYCZNE I METODOLOGICZNE I GLOBALNE TENDENCJE W ZASTOSOWANIU SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W SEKTORZE OBRONNYM

**Viktoriia Hurochkina**, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie,  
Uniwersytet Zielonogórski (Polska),

Kyiv Institute of Business and Technology (Ukraina).

**Switłana Bondarenko**, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Polska),  
Vadym Hetman Kijowski Narodowy Uniwersytet Ekonomiczny, (Ukraina).

**Tomasz Szapiro**, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Polska).

### STRESZCZENIE

*Przedmiotem badań są teoretyczno-metodologiczne podstawy oraz praktyczne mechanizmy wdrażania technologii sztucznej inteligencji (SI) w sektorze obronnym w kontekście współczesnych transformacji geopolitycznych. Obiektem badań są procesy technologicznej transformacji sfery wojskowej pod wpływem SI, obejmujące instytucjonalne, organizacyjne, technologiczne i społeczne wymiary wdrażania inteligentnych technologii w systemy zarządzania wojskowego, wywiadu, logistyki oraz cyberbezpieczeństwa. Celem badań jest opracowanie modelu koncepcyjnego wdrażania technologii SI w sektorze obronnym oraz sformułowanie naukowo uzasadnionych rekomendacji dla polityki państwowej w zakresie rozwoju technologicznego kompleksu obronnego. W opracowaniu zaproponowano interdyscyplinarne podejście do badania SI jako złożonego systemu socjotechnicznego, kompleksową metodologię analizy transformacji technologicznych oraz identyfikacji strategicznych kierunków i czynników ryzyka stosowania SI w sektorze obronnym. Podejście to pozwala identyfikować naukowo uzasadnione, praktyczne mechanizmy wdrażania technologii SI oraz konstruować metody minimalizacji ryzyka ich stosowania. Wykorzystano tu podejście interdyscyplinarne, łączenie metod jakościowych i ilościowych, analizę porównawczą modeli krajowych, analizę przypadków empirycznych i matematyczne modelowanie trendów technologicznych. W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące wdrażaniu militarnych technologii SI w Ukrainie, Polsce i w innych państwach, ze szczególnym uwzględnieniem okresu wojny rosyjsko-ukraińskiej.*

### SPIS TREŚCI

1	Wprowadzenie.....	2
2	Przegląd literatury .....	6
3	Teoretyczne podstawy badania .....	20
4	Metoda badań .....	25
5	Uwagi końcowe.....	27
6	Bibliografia.....	28
7	Streszczenie .....	36

## 1 Wprowadzenie

Głównym celem tego badania jest kompleksowa analiza rozwoju i zastosowania technologii sztucznej inteligencji (SI) w sektorze obronnym, ze szczególnym uwzględnieniem doświadczeń Ukrainy w warunkach rosyjskiej agresji. Rozpatrywana jest integracja SI w operacjach wojskowych, zwłaszcza w kontekście wojny rosyjsko-ukraińskiej. Badanie ma na celu zidentyfikowanie kluczowych możliwości i wyzwań związanych z wykorzystaniem SI, opierając się na światowych trendach oraz unikalnych doświadczeniach Ukrainy.

Celem praktycznym jest sformułowanie rekomendacji dotyczących skutecznego i odpowiedzialnego wdrażania technologii SI w celu wzmocnienia zdolności obronnych państwa. Wyniki tej analizy mogą stać się podstawą do opracowania strategii zarządzania ryzykiem oraz optymalnego wykorzystania SI w kontekście wojskowym.

Aktualność problematyki wynika z dynamicznego rozwoju i wdrażania technologii SI w sektorze obronnym. Współczesne wojny i konflikty zbrojne charakteryzują się rosnącą złożonością i dynamiką, potrzebą przetwarzania i analizowania ogromnych ilości różnorodnych danych i koniecznością podejmowania szybkich decyzji w krótkim czasie. Technologie SI pojawiły się jako odpowiedź na te wyzwania i są aktywnie integrowane z sektorem militarnym, oferując innowacyjne rozwiązania zwiększające efektywność systemów obronnych i strategicznego planowania, por. Rashid *et al.*, (2023); Melvin *et al.*, (2024).

Wdrożenie technologii SI w sektorze obronnym to jeden z kluczowych trendów, które będą determinować rozwój technologii w najbliższych latach. Według prognoz firmy analitycznej Gartner, do 2026 roku organizacje priorytetyzujące inwestycje w bezpieczeństwo w oparciu o program ciągłego zarządzania zagrożeniami (CTEM) będą mogły zredukować liczbę nieautoryzowanych dostępów do swoich systemów o dwie trzecie. Dowodzi to znaczenie integracji technologii SI nie tylko w zwiększeniu efektywności operacyjnej, ale także w umacnianiu cyberbezpieczeństwa w sektorze wojskowym, por. Gartner (2024).

Firma Gartner przewiduje szereg istotnych trendów technologicznych, które będą miały bezpośredni wpływ na sferę wojskową. Do 2026 roku 80% organizacji zajmujących się tworzeniem oprogramowania powoła zespoły programistów platformowych w celu opracowania usług, komponentów i narzędzi wielokrotnego użytku, co przyspieszy rozwój i wdrażanie nowych systemów SI w wojsku. Oczekuje się również znacznej upowszechnienia generatywnej SI – do 2026 roku ponad 80% firm będzie korzystać z API i modeli generatywnych SI lub wdroży odpowiednie aplikacje w środowiskach produkcyjnych, w

porównaniu z mniej niż 5% w 2023 roku. Taka tendencja może mieć istotny wpływ na technologie wojskowe, zwłaszcza w obszarach analizy danych, podejmowania decyzji i automatyzacji procesów. Prognozy te wskazują na rosnącą rolę technologii SI w różnych branżach, w tym wojskowej, co wspiera tezę o konieczności adaptacji i wdrażania tych innowacji w celu zwiększenia efektywności i konkurencyjności w obecnych warunkach.

Według danych Uniwersytetu Stanforda liczba modeli SI opracowanych w 2023 roku podwoiła się w porównaniu z rokiem poprzednim, osiągając 149 modeli jak dowodzą dane ze strony oficjalnej Stanford University<sup>4</sup>. Świadczy to o przyspieszeniu rozwoju i wdrażania technologii SI, co nieuchronnie wpływa na sektor wojskowy, stwarzając nowe możliwości i wyzwania. Wzrost inwestycji w generatywną SI z 840 mln USD w 2019 roku do 25,2 mld USD w 2023 roku podkreśla rosnące zainteresowanie tą technologią i jej potencjał do rewolucyjnych zmian w dziedzinie wojskowości, por. Stanford University (2024). Według prognoz portalu Statista<sup>5</sup>. Wskazuje to na przyspieszenie rozwoju i wdrażania technologii SI, co nieuchronnie wpływa na sektor militarny, tworząc nowe możliwości i wyzwania. Wzrost inwestycji w generatywną SI z 840 mln USD w 2019 roku do 25,2 mld USD w 2023 roku podkreśla rosnące zainteresowanie tą technologią oraz jej potencjał do wprowadzania rewolucyjnych zmian w dziedzinie wojskowości, por. Stanford University (2024). Prognozy Statista wskazują, że wartość rynku SI osiągnie 305,9 mld USD w 2024 roku, a do 2030 roku wzrośnie do 738,8 mld USD. Potencjał ekonomiczny technologii sztucznej inteligencji jest niezwykle wysoki. Eksperci przewidują, że rynek SI przyniesie światowej gospodarce 15 bilionów dolarów, por. Wilson, Daugherty (2024).

Rozwój technologii SI dynamicznie przyspiesza, co bezpośrednio wpływa na różne sektory, w tym wojskowy. Zgodnie z ostatnimi informacjami firma OpenAI wprowadziła nową serię modeli SI o nazwie „Strawberry”, które mają zdolność swoistego „rozumowania” i dzięki zwiększeniu czasu na analizę odpowiedzi, co pozwala zwiększyć jakość odpowiedzi, por. OpenAI (2024). Technologia ta może potencjalnie znaleźć zastosowanie w sektorze wojskowym, poprawiając procesy podejmowania decyzji oraz analizę danych.

Wzrasta także zainteresowanie kwestiami bezpieczeństwa cybernetycznego związanymi z SI. Eksperci ostrzegają przed rozprzestrzenianiem się tzw. deepfake'ów (istotne informacje fałszywe) generowanych przez SI, które mogą dotyczyć nie tylko wideo i audio,

---

<sup>4</sup> Stanford University. (2024). The AI Index Report: Measuring trends in AI. Stanford HAI.

<https://aiindex.stanford.edu/report/>

<sup>5</sup> Statista. (2024). AI market size worldwide from 2020-2030.

<https://www.statista.com/forecasts/1474143/global-ai-market-size>

ale także innych form danych, co stwarza nowe wyzwania dla systemów bezpieczeństwa, por. Reguerra (2024). A sytuacja rodzi potrzebę opracowania profesjonalnych systemów ochrony informacji, szczególnie w sektorze wojskowym, gdzie użycie SI staje się coraz powszechniejsze.

Znaczące są również rosnące inwestycje w infrastrukturę SI. Przykładem jest fundusz o wartości ponad 30 mld USD tworzony przez firmy BlackRock i Microsoft, przeznaczony na rozwój infrastruktury sztucznej inteligencji, por. Reuters (2024). Takie inwestycje świadczą o strategicznym znaczeniu rozwoju SI, który ma bezpośredni wpływ na sferę wojskową, gdyż zaawansowane technologie odgrywają w nim rolę kluczową.

Te trendy podkreślają znaczenie i potrzebę kompleksowych badań nad zastosowaniem SI w sektorze militarnym, uwzględniając zarówno potencjalne korzyści, jak i ryzyka związane z jej wdrażaniem. Jest to szczególnie ważne w kontekście opracowywania strategii bezpieczeństwa narodowego i obronności, gdzie efektywność technologii musi uwzględniać ich wpływ na środowisko oraz gospodarkę.

Główne metody badawcze w niniejszym opracowaniu obejmują przeglądy literatury naukowej z publikacji indeksowanych w bazach Web of Science i Scopus, analizę statystyczną oraz raporty instytucji wojskowych różnych krajów, w tym Ukrainy. Do zrozumienia współczesnych trendów, wyzwań i zasad w zastosowaniu SI w sferze militarnej wykorzystano narzędzia dynamicznej analizy porównawczej. Metoda ta posłużyła do analizy komparatywnej poziomów wdrażania oraz efektywności zastosowań SI w siłach zbrojnych różnych państw z uwzględnieniem zmian w czasie.

Analiza obejmuje doświadczenia Ukrainy, szczególnie w kontekście wojny rosyjsko-ukraińskiej, oraz doświadczenia innych krajów na świecie. Analiza komparatywna pozwala zidentyfikować pozytywne i negatywne trendy w rozwoju technologii wojskowych SI oraz wyróżnić udane strategie i najlepsze praktyki z różnych krajów. W badaniu uwzględniono także podejście do formalizacji wpływu technologii SI na zdolności obronne państw. To podejście opiera się na wyborze tzw. „punktów wpływu”, które pozwalają systematyzować i formalizować kierunki stosowania SI oraz szczegółowo opisywać potencjalne ryzyka i ich konsekwencje.

Zastosowanie technologii komputerowych i metod uczenia maszynowego umożliwia ilościową ocenę integralnego poziomu skuteczności SI potrzebnego do zapewnienia odpowiedniego poziomu zdolności obronnych państwa. Zebrane dane analityczne posłużyły do identyfikacji trendów w badaniach nad SI w sektorze wojskowym oraz do porównania

doświadczeń różnych krajów. Wyróżniono kluczowe obszary zastosowania sztucznej inteligencji w wojsku, ze szczególnym naciskiem na drony, wywiad i analitykę, cyberbezpieczeństwo oraz systemy wspomaganie podejmowania decyzji (Bae, Hong, 2023; Carlo et al., 2023).

Badania składają się z dwóch głównych części. W części pierwszej, czyli w tym opracowaniu, skoncentrowano się na podstawach teoretycznych, metodologii oraz analizie globalnych trendów rozwoju wojskowej SI. Po niniejszym Wprowadzeniu, w Rozdziale 2. Przedstawiono wyniki systematycznego przeglądu literatury. Do uogólnienia i systematyzacji aparatu pojęciowego oraz zidentyfikowania współczesnych kierunków badań nad zastosowaniem SI w wojskowości wykorzystano analizę deskryptywną, opartą na źródłach z bazy danych Scopus. Po wprowadzeniu terminologii opisano metody analizy i wstępnego przetwarzania danych. Wizualizacja danych w postaci tzw. chmury słów kluczowych pomaga zidentyfikować kluczowe obszary badań, takie jak uczenie maszynowe, wizualizacja komputerowa, przetwarzanie języka naturalnego i robotyka, a także ich potencjał w zastosowaniach wojskowych.

Rozdział 3 przedstawia kompleksowe podstawy teoretyczne, wykorzystane w analizie kluczowych pojęć i współczesnych trendów w dziedzinie SI i uczenia maszynowego (ML), szczególnie w kontekście ich zastosowań militarnych. Przegląd obejmuje historyczny rozwój, aktualny stan i istotne przyszłe kierunki rozwojowe, w tym - rozszerzenie możliwości modeli, wykorzystanie SI w środowiskach symulacyjnych, problemy z odtwarzalnością, rozwój kompleksowych testów oceny, prawa skalowania modeli językowych, rozwój modeli dyfuzyjnych oraz szybkie rozprzestrzenianie się zaawansowanych technologii.

Rozdział 4 poświęcony jest opisowi metod badawczych zastosowanych w analizie rozwoju i zastosowań technologii SI w wojsku, z uwzględnieniem kontekstu wojny rosyjsko-ukraińskiej. Procedura badawcza obejmuje dziewięć głównych etapów, od określenia problemu i celów badania, poprzez przeprowadzenie systematycznego przeglądu literatury i analizy naukometrycznej, po badanie konkretnych przypadków zastosowania SI w działaniach wojennych oraz analizę aspektów etycznych i prawnych, ocenę trendów technologicznych i wpływu strategicznego. W analizie wykorzystano metody ilościowe i jakościowe, oficjalne raporty i dane statystyczne, co pozwoliło wskazać na istotne determinanty roli SI we współczesnych wyzwaniach wojskowych i opracować strategiczne rekomendacje dotyczące wdrożenia SI w polskich siłach zbrojnych, o czym mowa będzie w drugiej części pracy. Niniejsze opracowanie kończy bibliografią i załączniki.

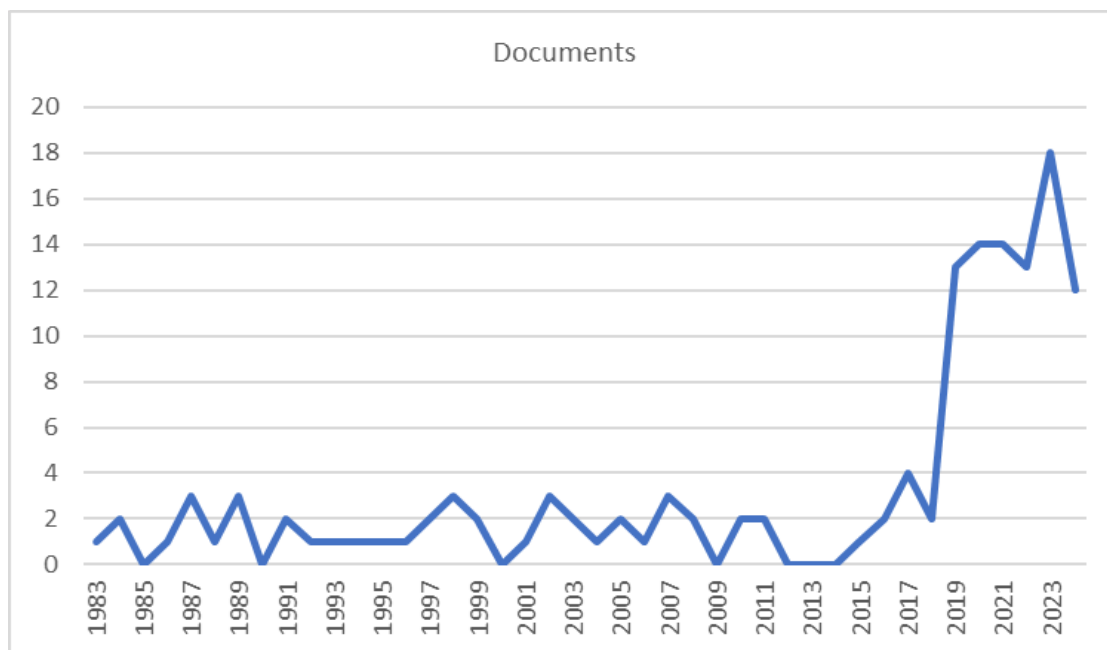
## 2 Przegląd literatury

Niniejszy rozdział poświęcony jest kompleksowej analizie naukometrycznej badań w dziedzinie zastosowania SI w wojskowości. Wykorzystując dane z bazy Scopus, przeprowadzono analizę aktywności publikacyjnej w celu identyfikacji kluczowych trendów i kierunków badań. Rozdział otwiera przegląd dynamiki publikacji w okresie od 1983 do 2024 roku, co pozwala prześledzić ewolucję naukowych zainteresowań tym tematem. Następnie wykorzystano metodę chmury słów, co pozwoliło w przejrzysty sposób wskazać główne koncepcje i kierunki badań. Szczególną uwagę zwrócono na ilościową analizę słów kluczowych (tagów), co pozwoliło zidentyfikować najbardziej aktualne aspekty badań problematyki militarnej metodami SI. Ponadto przeprowadzono również analizę tematyki publikacji, wyróżniając główne nurty badawcze oraz kluczowe wnioski czołowych autorów. Rozdział kończy sformułowanie hipotez badawczych oraz opis autorskiej metody naukometrycznej analizy badań łączących SI i zastosowania militarne.

Do uogólnienia i systematyzacji aparatu pojęciowego oraz określenia współczesnych kierunków badań w tej dziedzinie wykorzystano jako hasła kluczowe „Artificial Intelligence”, „Military Applications” i „War”. W bazie Scopus znaleziono 137 dokumentów za okres 1983–2024 (por. Rysunek 2.1). Otrzymano następujące główne wnioski:

1. W okresie od 1983 do 2024 roku widoczna jest wyraźna tendencja wzrostu liczby publikacji naukowych. Rok 2019 stał się wyraźnym punktem zwrotnym, kiedy liczba publikacji wzrosła ponad trzykrotnie w porównaniu z jakimkolwiek wcześniejszym rokiem. Okres 2019–2024 charakteryzuje się stabilnie wysokim zainteresowaniem, średnio 14 publikacji rocznie. Rok 2023 wyróżnia się jako rok o największej liczbie publikacji, co może potencjalnie świadczyć o szczytowym zainteresowaniu lub istotnych zmianach w tej dziedzinie.
2. Całkowita liczba publikacji w ostatnich 5 latach (2019–2023: 72) wzrosła ośmiokrotnie w porównaniu do poprzednich 5 lat (2014–2018: 9).
3. Okres 2019–2024 zbiega się z istotnymi przełomami w technologii SI, w tym z osiągnięciami w uczeniu maszynowym i przetwarzaniu języka naturalnego, co prawdopodobnie przyczyniło się do wzrostu zainteresowania badaniami nad wojskowymi zastosowaniami.



**Publikacje – tematyka AI i militarna (1983–2024).**

Źródło: opr. wł.na podst. <http://surl.li/rnosuk>

**Rysunek 2.1.** Liczba publikacji w bazie Scopus (hasła kluczowe „Artificial Intelligence”, „Military Applications” i „War”) wyniosła 137 w okresie 1983–2024 i zwiększyła się blisko ośmiokrotnie po roku 2019.

Rysunku 2.1. ilustruje gwałtowny wzrost zainteresowania w latach 2019-2022 tematyką sztucznej inteligencji w dziedzinie wojskowości dla wskazanych słów kluczowych. W 2023 roku trend nieco zwolnił, ale nadal utrzymuje się na wyższym poziomie niż w 2019 roku.

Integracja technologii SI w sektorze obronnym stała się w ostatnich latach przedmiotem intensywnych badań i dyskusji. W niniejszym przeglądzie omówiono obecny stan SI w zastosowaniach militarnych, uwzględniając zarówno możliwości, jak i wyzwania, które pojawiają się w najnowszej literaturze i raportach.

Najnowsze badania wykazały, że SI przewyższa ludzkie możliwości w kilku kluczowych obszarach, istotnych dla operacji wojskowych. Raport SI Index 2024 podkreśla znaczące osiągnięcia w klasyfikacji obrazów, wizualnym rozumowaniu i przetwarzaniu języka naturalnego, por. AI Index (2024). Osiągnięcia te mają bezpośredni wpływ na działania wojskowego wywiadu i analizę danych, potencjalnie zwiększając szybkość i precyzję identyfikacji zagrożeń oraz rozpoznania sytuacji, por. Rashid *i in.* (2023).

Jednak SI wciąż ustępuje możliwościom ludzkim w wykonywaniu bardziej złożonych zadań, takich jak planowanie strategiczne i rozumowanie wizualne oparte na zdrowym

rozsądku, por. SI Index (2024). To ograniczenie podkreśla stałe znaczenie ludzkiego doświadczenia w procesach podejmowania decyzji wojskowych, jak wskazuje Johnson (2024) w swojej analizie roli SI w strukturach dowodzenia w wojsku.

Raport SI Index 2024 wskazuje na istotną tendencję w badaniach i rozwoju SI: dominację przemysłu nad środowiskiem akademickim. W 2023 roku sektor przemysłowy opublikował 51 znaczących modeli uczenia maszynowego, podczas gdy instytucje akademickie jedynie 15, por. AI Index, (2024). Taki zwrot wskazuje, że przyszłe wojskowe zastosowania SI mogą coraz bardziej opierać się na innowacjach sektora prywatnego – trend ten odnotował również Feldstein (2023) w swoim badaniu wpływu SI na globalne strategie wojskowe. Na globalnej scenie rozwoju SI Stany Zjednoczone wyróżniają się jako niekwestionowany lider. W 2023 roku amerykańskie instytucje stworzyły 61 rozpoznawalnych modeli SI, znacznie wyprzedzając Unię Europejską (21 modeli) oraz Chiny (15), por. SI Index (2024). Ta dysproporcja może wskazywać na potencjalną geopolityczną przewagę w technologii wojskowej opartej na SI, co może wpłynąć na dynamikę międzynarodowego bezpieczeństwa, por. Vigevano (2021).

Kluczowym problemem w wojskowym zastosowaniu SI jest brak standaryzowanych ocen odpowiedzialnego stosowania SI. Raport SI Index 2024 wskazuje na znaczną lukę w standardowych praktykach raportowania wśród wiodących twórców SI (AI Index, 2024). Ten niedobór powoduje znaczne trudności w ocenie ryzyka i ograniczeń najlepszych modeli SI w kontekście wojskowym, gdzie stawki przy ich wdrażaniu są niezwykle wysokie. Umbrello i in. (2020) sugerują konieczność opracowania solidnych, standaryzowanych metod oceny systemów wojskowych SI, aby zapewnić ich etyczne i odpowiedzialne wykorzystanie.

Dane wskazują, że technologie SI podnoszą wydajność pracy i poprawiają jakość wykonywanych zadań (AI Index, 2024). W kontekście wojskowym oznacza to potencjalne korzyści w logistyce, planowaniu i funkcjach wsparcia, co może przyczynić się do bardziej efektywnych operacji. Ponadto, SI przyspiesza odkrycia naukowe, a takie aplikacje jak AlphaDev sprawiają, że procesy algorytmiczne stają się bardziej efektywne, por. AI Index (2024). Te osiągnięcia mogą mieć znaczący wpływ na wojskowe badania i rozwój, co badali Chen i in. (2020) w swojej analizie zastosowania SI w systemach dowodzenia i kontroli. Raport SI Index 2024 odnotowuje gwałtowny wzrost liczby regulacji dotyczących SI, szczególnie w USA (z jednej w 2016 roku do 25 w 2023 roku). Taki trend regulacyjny prawdopodobnie wpłynie na rozwój i wdrażanie technologii wojskowych SI, co wymaga uwzględnienia ram prawnych i etycznych podczas ich implementacji, na co zwraca uwagę

Vigevano (2021) w swojej analizie ograniczeń prawnych SI w konfliktach zbrojnych.

Świadomość i zaniepokojenie społeczne dotyczące SI również znacznie wzrosły. Raport wskazuje, że 66% respondentów uważa, że SI znacząco wpłynie na ich życie w ciągu najbliższych 3-5 lat, a 52% wyraża obawy dotyczące produktów i usług opartych na SI (AI Index, 2024). Rosnąca świadomość i zaniepokojenie społeczeństwa mogą wpłynąć na akceptację oraz etyczne aspekty użycia SI do celów militarnych, co potencjalnie może przełożyć się na decyzje polityczne i wsparcie społeczne dla inicjatyw wojskowych wynikających z koncepcji wykorzystujących SI, ale wymagających także przestrzegania zasad etycznych stosowanych w wojsku por. Galliot (2021).

Raport SI Index (2024) dokumentuje również postępy w rozwoju autonomicznych platform lądowych, powietrznych i morskich sterowanych przez systemy SI. Według tego raportu, rozwój ten dotyczy także zastosowań ML do analizy danych wywiadowczych, wykrywania zagrożeń i wspierania decyzji dowodzenia. Liderami pod względem liczby publikacji i wdrażania technologii SI w sektorze obronnym są USA, Chiny, Wielka Brytania, Indie oraz Korea Południowa. Wiodące państwa wojskowe przeznaczają znaczne środki na badania i rozwój w dziedzinie SI. Raport ten odnotowuje również rosnącą aktywność Wielkiej Brytanii, Izraela, Niemiec i Indii w zakresie wdrażania technologii SI w siłach zbrojnych. Najwyższe poziomy finansowania wojskowej SI mają USA, Chiny, Rosja oraz Izrael.

Według danych OECD, wiodące państwa wojskowe corocznie przeznaczają od 1 do 3% swoich budżetów obronnych na badania i rozwój technologii SI (OECD, 2023). Wśród organizacji publikujących najwięcej prac na ten temat dominują ośrodki badawcze, uniwersytety i korporacje z USA, Chin i Wielkiej Brytanii. Główną uwagę zwraca się na możliwości zastosowania SI do celów wywiadowczych, obserwacji i rozpoznawania celów, por. Galliot (2021) oraz Kania (2021). Autonomiczne i półautonomiczne systemy bojowe oparte na SI są rozważane jako sposób na zwiększenie efektywności, precyzji oraz szybkości wykrywania i identyfikacji obiektów, co jest kluczowe dla operacji wojskowych, por. Chen i in. (2020). Ważnym kierunkiem badań jest również zastosowanie SI do zarządzania i podejmowania decyzji w sektorze obronnym. Analizy dotyczą możliwości wykorzystania SI w zautomatyzowanych systemach dowodzenia, w celu skrócenia czasu reakcji i zwiększenia efektywności działań, por. Johnson (2024), Feldstein (2023), Zhu i in. (2021), Zhang i in. (2020).

Kolejnym ważnym trendem są badania nad rolą SI w zapewnianiu cyberbezpieczeństwa oraz przeciwdziałaniu cyberatakom. Systemy oparte na SI są rozważane

jako skuteczne narzędzie do wykrywania i neutralizacji złośliwej aktywności w cyberprzestrzeni, szczególnie w kontekście wojen hybrydowych, por. Bogdanov i Yevtodyeva (2021), Turunen (2022).

Jedną z wiodących dziedzin zastosowania SI jest autonomiczne sterowanie bezałogowymi statkami powietrznymi (BSP). Badacze proponują metody uczenia się ze wzmocnieniem głębokim, które umożliwiają BSP efektywne wykrywanie i śledzenie dynamicznych celów nawet w trudnych, nieznanych warunkach, por. Hu (2023). Algorytmy te wykazują dużą odporność i zdolność adaptacji do zmieniającej się sytuacji, co ma kluczowe znaczenie dla zadań wojskowych. Ponadto, intensywnie analizowane są możliwości optymalizacji taktycznych formacji BSP z wykorzystaniem technologii SI. Jednym z ważnych kierunków jest tu optymalizacja formacji taktycznych BSP w celu zapewnienia przewagi w przestrzeni powietrznej. Badania pokazują, jak wieloagentowe metody uczenia się ze wzmocnieniem mogą pomóc w znalezieniu optymalnych formacji taktycznych BSP w warunkach niepewności o zachowaniach przeciwnika, por. De Lima Filho *et al.* (2022). Takie adaptacyjne formacje taktyczne mogą zwiększyć skuteczność BSP w operacjach obrony przeciwlotniczej.

Innym perspektywicznym kierunkiem jest wykorzystanie SI do wykrywania i lokalizacji sytuacji anormalnych na podstawie analizy danych z fotometrii lotniczej BSP. Systemy te potrafią wykrywać niebezpieczne obiekty, zmiany w sytuacji i inne zagrożenia, por. Avola *et al.* (2022). Ważnym kierunkiem badań jest opracowanie systemów automatycznego wykrywania i identyfikacji celów powietrznych. Połączenie SI z technologiami Internetu rzeczy (IoT) i wizualizacji komputerowej umożliwia tworzenie inteligentnych systemów zarządzania przestrzenią powietrzną, które w czasie rzeczywistym wykrywają i klasyfikują obiekty powietrzne, por. Singh *et al.* (2019), Caruso (2023). Jest to kluczowe dla zmniejszenia ryzyka tzw. „friendly fire” i zapewnienia skutecznej obrony przeciwlotniczej. Metody SI są również stosowane do udoskonalania technologii pasywnej radiolokacji. Dane wskazują na rozwój systemów wykorzystujących metody SI do klasyfikacji i identyfikacji celów powietrznych na podstawie danych z radarów pasywnych, co zwiększa skuteczność obrony przeciwlotniczej, por. Steck *et al.* (2023).

Równie istotne jest zastosowanie SI w systemach logistyki wojskowej. Jednym z kierunków jest użycie SI do prognozowania zapotrzebowania na części zamienne do sprzętu wojskowego. Badania pokazują, że metody uczenia maszynowego, takie jak modele regresyjne i podejścia zespołowe, pozwalają precyzyjnie prognozować potrzeby w zakresie

części zamiennych, optymalizując zarządzanie zapasami, por. Kim et al. (2023). Ponadto, SI jest wykorzystywana w usprawnianiu procesów logistycznych w bazach wojskowych i w wojskowych obiektach. Literatura przedstawia systemy łączące metody prognozowania zapotrzebowania i optymalizacji tras, aby poprawić efektywność dostaw i uzupełniania zasobów, w tym gotówki do wojskowych bankomatów, por. Orhan, Erol Genevois (2023).

Szerokie zastosowanie SI w logistyce wojskowej wiąże się z rosnącym poziomem automatyzacji i inteligentnych procesów decyzyjnych. Analizy pokazują, że systemy SI mogą optymalizować operacje magazynowe, transport, realizację zamówień itp., obniżając koszty i zwiększając ogólną efektywność procesów logistycznych, por. de Castro et al. (2024).

Uczni proponują koncepcję tzw. „bliźniaków cyfrowych” decydentów, zdolnych do nauki w określonym środowisku i autonomicznego reprezentowania „bliźniaka-właściciela” w jego kluczowych zadaniach, por. Golovianko et al. (2023).

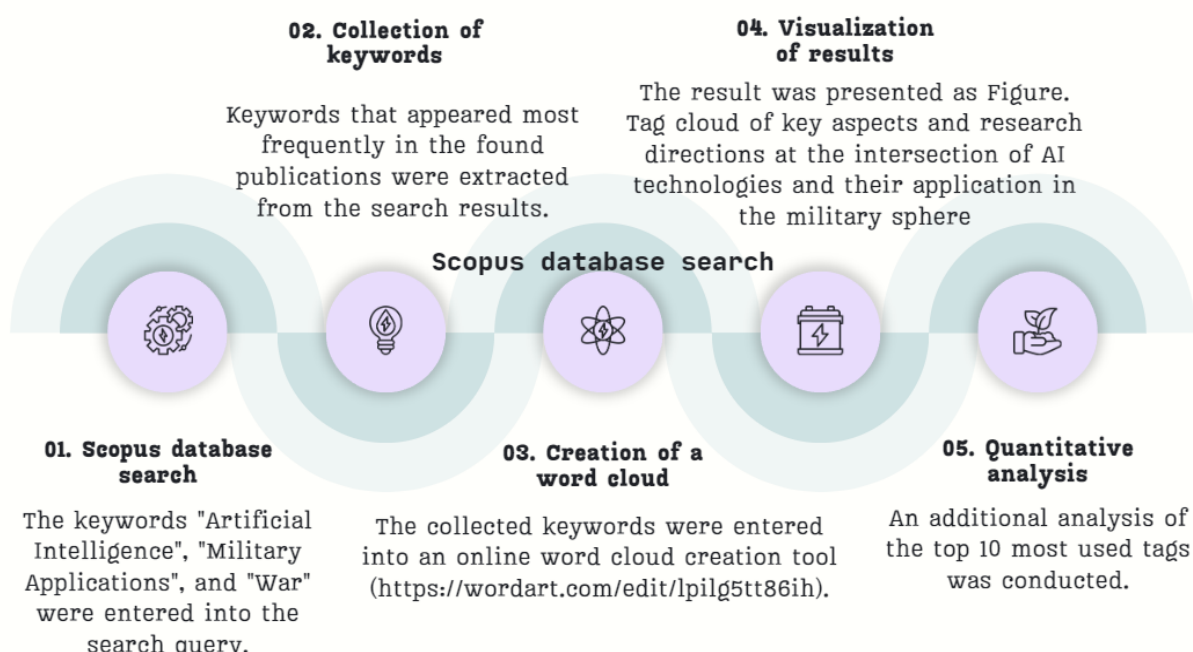
Kolejnym ważnym kierunkiem jest wdrożenie technologii SI w medycynie wojskowej. Jednym z kluczowych zastosowań jest wykorzystanie SI do automatyzacji diagnostyki i oceny ciężkości urazów w warunkach polowych. Algorytmy uczenia maszynowego oparte na danych z USG mogą dokładnie wykrywać i lokalizować odłamki w tkankach oraz określać ich zagrożenie dla pobliskich naczyń krwionośnych, por. Snider et al. (2022), Boice et al. (2022), Hernandez-Torres et al. (2023). Systemy te pomagają zrekompenzować brak doświadczenia personelu medycznego w warunkach polowych.

Systemy SI są też stosowane do przewidywania i zapobiegania stanom krytycznym żołnierzy. Opracowano modele oparte na multimodalnych czujnikach noszonych, które mogą dokładnie przewidzieć rozwój udaru cieplnego u żołnierzy jeszcze przed pojawieniem się wyraźnych objawów, por. Yaldiz et al. (2023). Umożliwia to szybkie interwencje i zapobieganie niebezpiecznym powikłaniom. Innym ważnym kierunkiem jest wykorzystanie SI do wspierania decyzji personelu medycznego w sytuacjach bojowych. Badania pokazują, że integracja modeli SI w proces udzielania pomocy poszkodowanym zwiększa precyzję diagnozy i skuteczność sortowania według poziomu krytyczności, por. Spirnak, Antani (2024), Angthong et al. (2024). Ma to duże znaczenie w warunkach ograniczonych zasobów i masowych ofiar.

Metody AI są również stosowane do automatyzacji rutynowych procesów w medycynie wojskowej, takich jak prognozowanie zapotrzebowania na części zamienne do sprzętu medycznego, por. Kim et al. (2023) lub optymalizacja logistyki dostaw i dystrybucji zasobów, por. de Castro et al. (2024).

Analiza naukometryczna potwierdza duże naukowe zainteresowanie i aktualność badań nad technologiami SI w kontekście ich zastosowań wojskowych. W dalszym do analizy badań w dziedzinie SI i jego zastosowań wojskowych zastosowano metodę analizy naukometrycznej, wiążącej metodę chmury słów z ilościową analizą publikacji naukowych. Takie podejście pozwoliło zwizualizować i usystematyzować kierunki badań w tej dziedzinie, por. Rysunek 2.2.

#### Chmura słów i analiza publikacji naukowych - procedura.



Źródło: opr.wł.

**Rysunek 2.2.** Analiza naukometryczna jest wykorzystywana w pięciostopowej procedurze wizualizacji wspierającej identyfikację kluczowych kierunków badań

Na Rysunku 2.2. przedstawiono etapy analizy, na które składały się następujące kroki:

- 01. Wyszukanie w bazie Scopus:** w zapytaniu wyszukiwawczym wprowadzono słowa kluczowe „Artificial Intelligence”, „Military Applications” i „War”. Umożliwiło to zidentyfikowanie istotnych publikacji naukowych w badanym obszarze.
- 02. Wybór słów kluczowych:** z wyników wyszukiwania wyodrębniono słowa kluczowe, które najczęściej pojawiały się w znalezionych publikacjach. Słowa te odzwierciedlają główne kierunki i aspekty badań w tej dziedzinie.
- 03. Tworzenie chmury słów:** zebrane słowa kluczowe wprowadzono do narzędzia online do tworzenia chmury słów (<https://wordart.com/edit/lpilg5tt86ih>). To narzędzie wizualizowało częstość użycia słowa, tworząc chmurę, w której rozmiar słowa odpowiadał częstości jego występowania w publikacjach.

04. Wizualizacja wyników: wyniki przedstawiono w formie rysunku 2.3.
05. Analiza ilościowa: przeprowadzono dodatkową analizę 10 najczęściej używanych słów kluczowych. Wyniki przedstawiono w formie graficznej na Rysunku 2.4.

Kluczowe tendencje przedstawia Rysunek 2.3.

### Chmura słów kluczowych – kierunki badań.



Źródło: opr. wł. przy użyciu <https://wordart.com/edit/lpilg5tt86ih>

**Rysunek 2.3.** Chmura kluczowych aspektów i kierunków badań na styku technologii SI i ich zastosowania w obszarze wojskowym

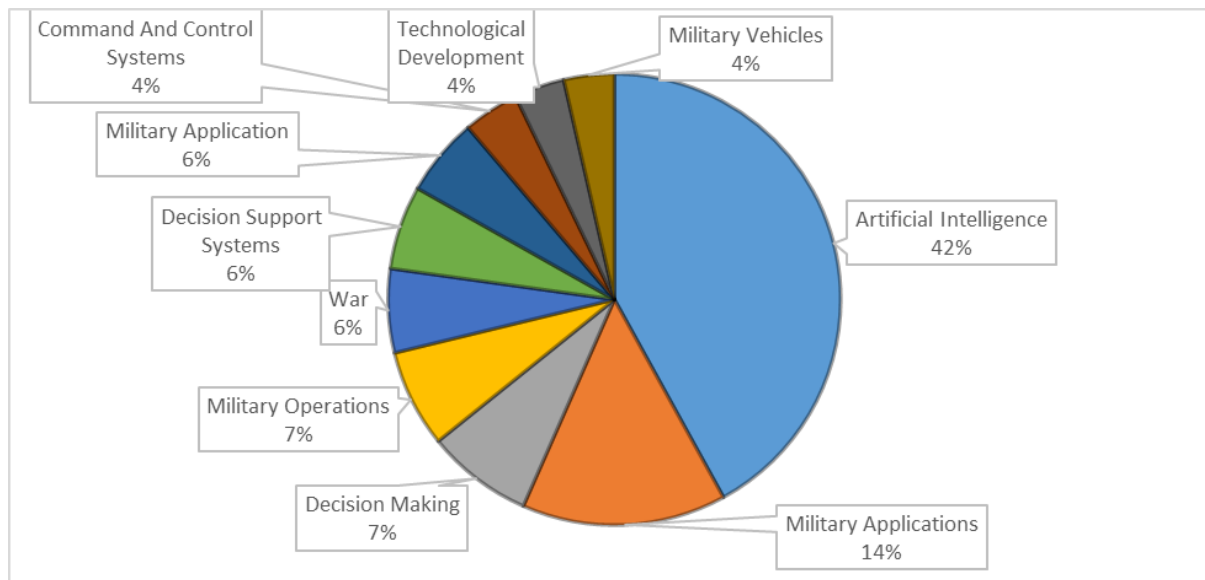
Rysunek 2.3. przedstawia chmurę słów, ilustrując wizualizację kluczowych aspektów oraz kierunków badań na przecięciu technologii SI i ich zastosowania w sektorze obronnym.

Analiza ilościowa słów kluczowych pokazuje, że „Sztuczna inteligencja” jest najczęściej wymienianym tagiem, który występuje 84 razy, co stanowi 21% ogólnej liczby wzmianek. To świadczy o centralnej roli koncepcji SI w badanym zbiorze danych. Następne pod względem częstotliwości słowo kluczowe to „Zastosowanie wojskowe”, które wymieniano 29 razy (7,3%). Prawdopodobnie to słowo kluczowe wskazuje na konkretne przypadki użycia SI w sektorze obronnym. Słowa kluczowe „Podejmowanie decyzji”, „Operacje wojskowe”, „Wojna” i „Systemy wsparcia podejmowania decyzji” mają podobną liczbę wzmianek (od 12 do 15), a każde z nich stanowi około 3% ogólnej liczby. To świadczy o znaczeniu zastosowania SI w kontekście wsparcia podejmowania decyzji oraz operacji wojskowych. „Zastosowanie wojskowe” jest wymieniane 11 razy (2,8%). „Systemy dowodzenia i zarządzania” występują 8 razy (2%), co wskazuje na rolę SI w wojskowym dowodzeniu i zarządzaniu. „Rozwój technologiczny” oraz „Technika wojskowa” są wymieniane po 7 razy (1,8%), co świadczy o związku między SI a rozwojem



technologicznym oraz o jego potencjalnym zastosowaniu w technice wojskowej. Na Rysunku 2.4 przedstawiono ilościową analizę słów kluczowych dla publikacji top-10.

### Struktura top-10 kluczowych badawczych słów kluczowych



Źródło: stworzone przez autora na podstawie Scopus

**Rysunek 2.4.** Wśród badawczych słów kluczowych z grupy Top 10 sztuczna inteligencja oraz zastosowania militarne łącznie występują częściej niż pozostałe słowa kluczowe

Rysunek 2.4 ilustruje poziom koncentracji słów kluczowych w badaniach; analiza słów kluczowych wykazuje, że SI stanowi 42% zastosowań słów kluczowych w badaniach, a na drugim miejscu znajdują się zastosowania wojskowe (14%).

Ogólnie rzecz biorąc, ilościowa analiza słów kluczowych identyfikuje podejmowanie decyzji, operacje wojskowe i systemy zarządzania jako kluczowe tematy i obszary zastosowania SI w kontekście wojskowym. Częstotliwość wzmiankowania dostarcza zrozumienia względnej ważności różnych aspektów w badanych danych.

Dynamiczny rozwój technologii SI oraz ich wdrożenie w sektorze obronnym stwarza nowe możliwości i wyzwania dla sił zbrojnych na całym świecie. Hatzivasilis *i in.* (2024) podkreślają, że cyfryzacja znacznie ułatwia nasze codzienne życie, ale także tworzy nowe podatności na ataki cybernetyczne. Proponują rozwiązania oparte na inteligencji roju do obsługi incydentów i reagowania na nie, integrując wywiad cybernetyczny i wykorzystując sztuczną inteligencję do oceny ryzyka.

Raja *i in.* (2023) badają zastosowanie uczenia pogłębionego (ang. *deep learning*) ze wzmocnieniem oraz podejścia tzw. „lidera-podążającego” w sieciach powietrznych opartych



na SIoT. Ich badania wykazują potencjał SI w poprawie efektywności i bezpieczeństwa bezzałogowych statków powietrznych (dronów) w zastosowaniach przemysłowych i wojskowych. Jednym z najbardziej kontrowersyjnych aspektów wykorzystania SI w sektorze obronnym jest rozwój i zastosowanie autonomicznych systemów uzbrojenia. Figuroa *i in.* (2023) analizują ryzyka związane z autonomiczną bronią, koncentrując się na prawach osób z niepełnosprawnościami. Podkreślają, że takie systemy mogą nieproporcjonalnie wpływać na wrażliwe grupy społeczne i naruszać międzynarodowe prawo humanitarne.

Carayannis i Draper (2023) analizują czynniki ryzyka związane z możliwością pojawienia się sztucznej superinteligencji (ASI) w świecie, w którym wojna wciąż jest normą. Proponują strategię optymalizacji pokoju wykorzystującą jako narzędzie uniwersalną globalną umowę pokojową, w celu ograniczenia ryzyka wojny z zbrojną SI. Erskine (2023) analizuje bezpośrednie źródła ryzyka związane z przenikaniem skutków wpływu wykorzystania metod SI na decyzje dotyczących prowadzenia wojny. Jego analiza wskazuje, że zależność od systemów wsparcia podejmowania decyzji, które wykorzystują metody uczenia maszynowego, może podważyć nasze zaufanie do stosowanych w defensywie międzynarodowych standardów postępowania.

Junklewitz *i in.* (2023) podkreślają znaczenie zasad bezpieczeństwa cybernetycznego w regulacjach dotyczących nowych technologii SI w sektorze kosmicznym. Omawiają wyzwania i możliwości, które pojawiają się przy wdrażaniu rozwiązań SI dla bezpieczeństwa i ochrony cybernetycznej w cywilnych i wojskowych operacjach kosmicznych. Thomas *i in.* (2024) proponują metody reinterpretacji zasad etyki SI w celu określenia kryteriów etycznych dla rozwoju i wdrażania systemów SI w obszarach o wysokim ryzyku, w tym w obronie. Ich podejście ma na celu promowanie etycznego projektowania, rozwoju i wdrażania systemów wykorzystujących metody SI.

Van den Hoven van Genderen i Ballardini (2024) analizują wyzwania regulacyjne związane z wykorzystaniem SI w przetwarzaniu danych związanych z emocjami. Omawiają potencjalne konflikty między różnymi regulacjami w UE, takimi jak RODO i projekt ustawy o SI, które mogą wpłynąć na inwestycje w innowacje związane ze sztuczną inteligencją i ich ochronę prawną. Lloyd *i in.* (2023) rozważają wykorzystanie spersonalizowanych cyfrowych ludzi, nośników lub technologii wizualizacji komputerowego do wspierania zdrowia układu ruchu żołnierzy. Podkreślają znaczenie celowego wpływu na mechanikę tkanek w celu utrzymania zdrowia stawów.

**Kierunki badań zastosowań sztucznej inteligencji w sektorze obronnym.**

Tematyka	Główne wnioski	Główni autorzy
Rozwój i wdrażanie SI w sektorze obronnym	- Cyfryzacja stwarza nowe możliwości i słabe punkty - Inteligencja roju do przetwarzania incydentów - Głębokie uczenie się ze wzmocnieniem sieci	Hatzivasilis et al. (2024) Raja et al. (2023)
Problemy etyczne i autonomiczne systemy uzbrojenia	- Zagrożenia dla bezbronnych grup ludności - Naruszenie międzynarodowego prawa humanitarnego - Równowaga pomiędzy autonomią a kontrolą człowieka	Figuroa et al. (2023) Biggar (2023)
Wpływ na stabilność nuklearną i bezpieczeństwo globalne	- Zagrożenia związane ze sztuczną superinteligencją - Wpływ na decyzje dotyczące prowadzenia wojny - Konieczność nowych traktatów międzynarodowych	Carayannis & Draper (2023) Erskine (2023)
Cyberbezpieczeństwo i ochrona infrastruktury krytycznej	- Znaczenie struktur cyberbezpieczeństwa w przestrzeni kosmicznej - Identyfikacja zagrożeń bioaerozolowych - Optymalizacja kosztów systemów bezpieczeństwa	Carlo et al. (2023) Srikrishna (2024)
Aspekty regulacyjne i prawne	- Metodologia kryteriów etycznych SI - Konflikty pomiędzy różnymi normami prawnymi - Wpływ aktów regulacyjnych na innowacyjność	Taddeo et al. (2024) van den Hoven van Genderen & Ballardini (2024)
Kształcenie i szkolenie specjalistów wojskowych	- Spersonalizowane modele cyfrowe do wsparcia zdrowia - Wdrożenie chatbotów w służbach zdrowia psychicznego	Lloyd et al. (2023) Hsu (2023)
Innowacje technologiczne i ich zastosowanie	- Rozwój bezzałogowych pojazdów morskich - Trendy w technologii dronów - Rozszerzanie obszarów zastosowań UAV	Bae & Hong (2023) Satyarthi et al. (2023)
Percepcja społeczna i dyskurs publiczny	- Błędne przekonania na temat wykorzystania sztucznej inteligencji w obronności - Społeczne i humanitarne zagadnienia cyfryzacji - Potrzeba lepszej informacji publicznej	Hadlington et al. (2024) Gnatik (2024)

Źródło: opr. wł.

Tabela 2.1. Podsumowanie głównych kierunków badań nad wojskowymi zastosowaniami sztucznej inteligencji.

Hu (2023) bada krytyczne czynniki dla pomyślnego wdrożenia programów komputerowych, które symulują i przetwarzają ludzką mowę (także w piśmie), umożliwiając ludziom interakcję z urządzeniami cyfrowymi, tak jakby komunikowali się z prawdziwą osobą (ang. *chatbot*) w służbie zdrowia psychicznego w armii. W badaniach zastosowano do określenia kluczowych czynników sukcesu i ich powiązań hybrydowe podejście wielokryterialne (MCDM, Multiple Criteria Decision Making). Bae i Hong (2023) prowadzą badania nad rozwojem bezzałogowych pojazdów morskich, koncentrując się na ich

rozpoznawaniu i interakcji. Omawiają potencjalne korzyści tych technologii w zadaniach morskich, które zmniejszając ryzyko ludzki i zwiększają możliwości militarne.

Saadaoui *i in.* (2023) badają trendy w dziedzinie technologii bezałogowych, identyfikując związane z nimi problemy i wyzwania. Omawiają też potencjalne zastosowanie dronów w różnych dziedzinach, w tym w wojsku. Hadlington *i in.* (2024) badają społeczne postrzeganie wykorzystania SI w obronie. Ich badania ujawniają różne nieporozumienia dotyczące zastosowania SI w działaniach obronnych, podkreślając konieczność lepszego informowania społeczeństwa. Feldstein (2023) omawia problemy społeczne i humanitarne związane z tytanicznymi zmianami w życiu człowieka w kontekście totalnej cyfryzacji, w tym wojskowe zastosowania SI.

Aktualny stan badań i kluczowe trendy w badaniach nad SI w kontekście zastosowań wojskowych przedstawia Tabela 2.1.

Przedstawiony przegląd pozwala sformułować szereg istotnych wniosków dotyczących rozwoju i wdrażania technologii SI w sektorze obronnym. Szybki rozwój SI generuje efekt podwójny, otwierając nowe możliwości dla zwiększenia zdolności obronnych, a jednocześnie generując bezprecedensowe wyzwania dla sektora wojskowego. Szczególnej uwagi wymagają aspekty etyczne, przede wszystkim związane z opracowaniem i zastosowaniem autonomicznych systemów uzbrojenia, które pozostają centralnym tematem dyskusji naukowych. Nie mniej ważny jest wpływ wojskowego SI na bezpieczeństwo globalne i stabilność nuklearną, co budzi poważne zaniepokojenie międzynarodowej społeczności i wymaga dogłębnych badań.

W warunkach rosnącej cyfryzacji sfery wojskowej kluczowe znaczenie zyskują kwestie cyberbezpieczeństwa oraz ochrony infrastruktury krytycznej, co wymaga opracowania kompleksowych rozwiązań opartych na SI. Równocześnie pojawia się pilna potrzeba sformułowania adekwatnej bazy prawnej regulującej rozwój i wykorzystanie wojskowego SI, która powinna uwzględniać zarówno interesy krajowe, jak i międzynarodowe zobowiązania. Kluczowym aspektem skutecznego wdrażania SI staje się przygotowanie wykwalifikowanych specjalistów wojskowych, zdolnych do efektywnej pracy z nowoczesnymi systemami SI. Przy tym innowacje technologiczne nieustannie rozszerzają spektrum możliwych zastosowań SI w operacjach wojskowych, co wymaga ciągłej aktualizacji doktryn i strategii. Ważnym czynnikiem pozostaje także społeczne postrzeganie i rozumienie roli SI w sektorze obronnym, co wpływa na legitymację i wsparcie odpowiednich inicjatyw. Wszystkie te wnioski podkreślają konieczność zastosowania interdyscyplinarnego

podejścia do badań i rozwoju wojskowego SI, a także znaczenie utrzymania ciągłego konstruktywnego dialogu pomiędzy technologami, etykami, prawnikami i politykami, aby zapewnić odpowiedzialny rozwój i wykorzystanie tych krytycznie ważnych technologii.

W kontekście sformułowanego uprzednio problemu badawczego i podsumowań dokonanych na podstawie danych naukometrycznych dotyczących Ukrainy można sformułować następujące hipotezy badawcze wymagające weryfikacji.

Hipoteza 1 (o efektywności). *Wdrażanie technologii SI w operacyjne i strategiczne zadania Sił Zbrojnych Ukrainy doprowadzi do znacznego zwiększenia efektywności operacji wojskowych, zwłaszcza w obszarach wywiadu, zarządzania wojskowego oraz cyberbezpieczeństwa.*

Hipoteza 2 (o zdolnościach obronnych). *Wykorzystanie technologii SI w sektorze obronnym, szczególnie w kontekście wojny rosyjsko-ukraińskiej, stwarza nowe możliwości wzmocnienia zdolności obronnych Ukrainy, ale jednocześnie generuje specyficzne wyzwania i ryzyko, które wymaga specjalistycznych metod zarządzania i regulacji.*

Hipoteza 3 (o transferze technologii). *Doświadczenia Ukrainy w zastosowaniu SI w operacjach wojskowych, w szczególności w zakresie wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych, mogą być skutecznie zaadaptowane przez inne kraje, w tym Polskę, w celu wzmocnienia ich zdolności obronnych przed zagrożeniami hybrydowymi.*

W ramach niniejszego badania opracowano i wdrożono innowacyjną metodę analizy naukometrycznej, specjalnie przeznaczoną do badania skrzyżowania technologii SI i ich zastosowań wojskowych. To kompleksowe podejście metodologiczne integruje wyczerpujące dane z bazy Scopus z nowoczesnymi narzędziami wizualizacji i analizy ilościowej, zapewniając wielowymiarowe badania problematyki. Metodologia opiera się na zintegrowanej analizie słów kluczowych, wykorzystującej unikalną kombinację terminów („Sztuczna inteligencja”, „Zastosowanie wojskowe” i „Wojna”), aby uformować całościowy krajobraz badawczy, łącząc sfery technologiczne i wojskowe. Wieloetapowe przetwarzanie danych zapewnia systematyczny i powtarzalny proces wydobywania, precyzowania i analizy informacji z bazy Scopus, co znacznie zwiększa wiarygodność i głębokość analizy naukometrycznej. Kluczowym komponentem metodologii jest zastosowanie zaawansowanych metod wizualizacji, w tym tworzenie chmur słów, co pozwala na przedstawienie złożonych danych bibliometrycznych w intuicyjnie zrozumiałym formacie i szybkie identyfikowanie kluczowych trendów badawczych. Wprowadzone analizy ilościowe słów kluczowych

zapewniają podstawę liczbową dla zrozumienia priorytetów badawczych, oferując obiektywny pogląd na względną znaczenie różnych aspektów badań wojskowego SI. Metodologia obejmuje również interdyscyplinarny syntez, który efektywnie łączy aspekty technologiczne, wojskowe i strategiczne badań, zapewniając całościowe zrozumienie krajobrazu badawczego. Istotnym elementem jest czasowe i geopolityczne kartografowanie, które odzwierciedla ewolucję trendów badawczych w czasie i przestrzeni, dając wgląd w geopolityczną dynamikę badań wojskowego SI. Opracowana baza metodologiczna charakteryzuje się wysoką adaptacyjnością do nowych dziedzin badań, co czyni ją szczególnie cenną dla badania szybko rozwijających się technologii. Ponadto metodologia obejmuje integrację z analizą strategiczną, łącząc dane naukometryczne z analizą wojskowo-strategiczną, aby podejmować uzasadnione decyzje dotyczące wdrażania technologii i kształtowania polityki. Ta innowacyjna metoda analizy naukometrycznej stanowi istotny wkład w dziedzinę badań wojskowego SI, oferując badaczom, strategom wojskowym i decydentom potężne narzędzia do zrozumienia aktualnych trendów, określenia priorytetowych kierunków oraz podejmowania decyzji opartych na danych w dynamicznym środowisku wojskowego zastosowania SI.

Reasumując niniejszym rozdziale przedstawiono wnioski z analizy naukometrycznej badań w zakresie zastosowania SI w sektorze wojskowym. Obserwuje się przyspieszenie naukowego zainteresowania militarną SI, szczególnie zauważalne od 2019 roku. Aktywność badawcza koncentruje się m.in. dotyczących autonomicznych systemów, doskonalenia procesów podejmowania decyzji, analizy danych wywiadowczych oraz cyberbezpieczeństwa. Przywództwo w zakresie badań i wdrożeń utrzymują USA, Chiny oraz Wielka Brytania, czego dowodzą wskaźniki publikacji i wdrożenia. Środowisko akademickie przywiązuje szczególną wagę do aspektów etycznych i ryzyka związanego z wykorzystaniem SI w celach wojskowych. Zaproponowana autorska metoda analizy pozwoliła zidentyfikować główne trendy oraz priorytetowe kierunki badań i sformułować hipotezy badawcze.

W kolejnym rozdziale przedstawiono teoretyczne podstawy stosowania technologii SI w sektorze obronnym, w tym koncepcje SI, jej ewolucję oraz współczesne trendy rozwoju w obszarze militarnych zastosowań SI.

### 3 Teoretyczne podstawy badania

We współczesnych warunkach prowadzenia działań bojowych technologie SI odgrywają coraz ważniejszą rolę w sektorze obronnym, transformując sposoby planowania, wykonywania i analizy operacji wojskowych. Dlatego niniejszy Rozdział 3. Dotyczy teoretycznych podstaw stosowania technologii SI w dziedzinie militarnej, co stanowi fundament do zrozumienia ich współczesnego stanu i perspektyw rozwoju. W Rozdziale kolejno omówiono podstawowe koncepcje SI, ich ewolucję od wczesnych systemów eksperckich do sztucznych sieci neuronowych i algorytmów generatywnych, z uwzględnieniem specyfiki zastosowań wojskowych. W szczególności rozważono głębokie uczenie, przetwarzanie języka naturalnego i wizualizację komputerowa w kontekście ich potencjalnego wykorzystania do zwiększenia efektywności operacji wojskowych oraz optymalizacji procesów podejmowania decyzji.

SI to dziedzina informatyki zajmująca się tworzeniem inteligentnych algorytmów będących podstawą komputerowych aplikacji, które działają i reagują jak ludzie. W szerszym sensie SI obejmuje wszelkie techniki umożliwiające komputerom imitowanie ludzkiej inteligencji, wykorzystując logikę, zasady „jeśli-to”, drzewa decyzyjne i uczenie maszynowe. Według Johna McCarthy'ego, jednego z pionierów SI, to „...*nauka i technika tworzenia inteligentnych maszyn, szczególnie inteligentnych programów komputerowych...*” (por. McCarthy, 1955). Koncepcja sztucznej inteligencji sięga lat 50. XX wieku, kiedy Alan Turing zaproponował test do określenia inteligencji maszyn, a sam termin „sztuczna inteligencja” został wprowadzony na konferencji w Dartmouth w 1956 roku. Pierwsze systemy sztucznej inteligencji wykorzystywały podejścia obliczeń symbolicznych i reprezentacji wiedzy, takie jak „Ogólny rozwiązywacz problemów” Simon i Newell (por. Kaplan, 2024).

W latach 60. i 70. XX wieku intensywnie badano systemy ekspertowe, które akumulowały wiedzę wysoko wykwalifikowanych specjalistów w wąskich dziedzinach. Takie systemy znalazły zastosowanie w diagnostyce medycznej, wyszukiwaniu i usuwaniu awarii, automatycznym projektowaniu (por. Covaciu et al., 2024). Lata 80. XX wieku były czasem rozwoju pierwszych sieci neuronowych z propagacją wsteczną, takich jak sieć LeNet do rozpoznawania odręcznych symboli. Jednak ograniczenia mocy obliczeniowych i brak dużych zbiorów danych treningowych nie pozwoliły wtedy w pełni wykorzystać potencjału tego kierunku (por. Al Hajji et al., 2024).

Prawdziwy przełom nastąpił w latach 2000-2010 dzięki znacznemu wzrostowi możliwości obliczeniowych, zwłaszcza z pojawieniem się procesorów graficznych (GPU),

dużych zbiorów danych cyfrowych i nowych algorytmów głębokiego uczenia, takich jak wielowarstwowe perceptrony, sieci konwolucyjne i rekurencyjne oraz transformery. Przykładami osiągnięć tego okresu są stworzenie autonomicznego pojazdu Stanley, zwycięstwo IBM Watson w telewizyjnej grze Jeopardy! oraz rozpoznawanie mowy przez systemy Siri i Google (por. Wang et al., 2021; Meerveld, 2023).

W kontekście militarnym SI można zdefiniować jako wykorzystanie systemów komputerowych zdolnych do wykonywania zadań, które zazwyczaj wymagają ludzkiej inteligencji, takich jak rozpoznawanie wzorców, rozpoznawanie mowy, podejmowanie decyzji i tłumaczenie z jednego języka na inny. Systemy te mają na celu w celu zwiększenia efektywności operacji wojskowych, poprawę rozpoznawania sytuacji oraz optymalizację procesów podejmowania decyzji, por. US Department of Defense (2018). Warto tu odnotować, że SI to nie pojedyncza technologia, lecz spektrum metod i procesów, por. Wang et al. (2024) obejmująca

1. Uczenie maszynowe.
2. Głębokie uczenie.
3. Sieci neuronowe.
4. Przetwarzanie języka naturalnego.
5. Wizualizację komputerową.
6. Systemy eksperckie.

W kontekście tego badania rozpatrujemy SI jako zbiór technologii, które pozwalają systemom wojskowym autonomicznie analizować dane, podejmować decyzje i podejmować działania, które tradycyjnie wymagały interwencji człowieka. Ta definicja daje kompleksowe zrozumienie SI, obejmując zarówno jego ogólne znaczenie, jak i konkretne zastosowania w sektorze obronnym. Stanowi to podstawę do dalszej dyskusji na temat możliwości i wyzwań związanych z wdrażaniem technologii SI w operacjach wojskowych, w szczególności w kontekście doświadczeń Ukrainy.

Jednym z kluczowych kierunków SI jest uczenie maszynowe (ML). Wspiera rozwój algorytmów i modeli, które pozwalają systemom komputerowym automatycznie zwiększać swoją efektywność w rozwiązywaniu określonych zadań na podstawie zdobywanego doświadczenia, bez wyraźnego programowania, por. Zhao et al. (2024). W ML rozważa się dwa główne podejścia: uczenie nadzorowane i uczenie nienadzorowane, por. Ukwaththa et al. (2024); Shen et al. (2024).

Jedną z obiecujących metod ML jest głębokie uczenie (ang. *deep learning*), które

wykorzystuje wielowarstwowe sieci neuronowe do wydobywania hierarchicznych cech z danych. Sieci konwolucyjne (CNN) okazują się skuteczne w zadaniach związanych z wizualizacją komputerową, podczas gdy sieci rekurencyjne (RNN) są przydatne w przetwarzaniu danych sekwencyjnych, takich jak tekst czy szereg czasowy, por. Bâra *et al.*, (2019); Zafar *et al.* (2023). Inną metodą jest uczenie ze wzmocnieniem, w którym agent uczy się optymalnej strategii zachowania, interagując z otoczeniem poprzez mechanizm nagród i kar. Podejście to leży u podstaw takich systemów jak AlphaGo, por. Hu (2024).

Oprócz klasycznego ML rozwijane są nowe podejścia, takie jak tzw. uczenie federacyjne, kiedy modele uczą się na rozproszonych urządzeniach bez centralizacji danych oraz meta-uczenie – nauka samego procesu uczenia w celu szybkiej adaptacji do nowych zadań, por. Tritschler *et al.* (2024); Pellini *et al.* (2024).

Współczesne metody sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego są intensywnie rozwijane i stosowane w różnych dziedzinach. Według Raportu SI Index, w ciągu ostatnich 5 lat liczba patentów związanych z zastosowaniem SI w systemach wojskowych wzrosła ponad trzykrotnie. Metody wizualizacji komputerowej umożliwiają automatyczną segmentację obrazów medycznych, kontrolę jakości w produkcji oraz autonomiczne prowadzenie pojazdów. Przetwarzanie języka naturalnego pozwala na tworzenie programów komputerowych zdolnych do komunikacji w języku naturalnej (chatbotów), systemów pytania-odpowiedź oraz automatyzację analizy tekstów. Systemy rekomendacyjne personalizują treści dla użytkowników usług online, por. Kuru *et al.* (2023); Spirnak *et al.* (2024). Modele generatywne, takie jak generatywne sieci przeciwnikujące (GAN) i autoenkodery wariacyjne (VAE) pozwalają na syntezę realistycznych obrazów, wideo, audio i tekstów. Modele językowe (ang. Large Language Models; LLM), takie jak GPT-3 formy OpenAI generują spójne teksty, odpowiadają na pytania i wykonują zadania użytkowe. Z kolei modele dyfuzyjnych, takich jak DALL-E i Midjourney, umożliwiają tworzenie wysokiej jakości treści na podstawie opisów tekstowych, por. Thomas *et al.* (2024); Shoemaker (2024). Rozbudowywane są sztuczne sieci neuronowe dla celów zastosowań. Naukowcy eksperymentują z modelami, które mają setki miliardów, a nawet tryliony parametrów. Pojawienie się takich modeli otwiera nowe możliwości w zakresie automatyzacji procesów i przewidywania wyników, ale także wiąże się z istotnymi wyzwaniami etycznymi i technicznymi.

W dziedzinie militarnej, SI znajduje zastosowanie w różnych obszarach, w tym w rozwoju autonomicznych systemów uzbrojenia, analizie danych wywiadowczych, symulacji i



modelowaniu działań bojowych, a także w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw. Nascimento *et al.* (2023) wskazują, że w szczególności SI może być obszarem zastosować w obszarach takich jak:

1. autonomiczne pojazdy bojowe, które mogą operować w strefach walki bezpośredniej bez udziału ludzi, minimalizując ryzyko dla żołnierzy.
2. rozpoznawanie obrazu w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem technologii wizualizacji komputerowej, co umożliwi szybkie identyfikowanie zagrożeń.
3. analiza danych wywiadowczych z różnych źródeł, aby poprawić sytuacyjną świadomość dowództwa i umożliwić szybsze podejmowanie decyzji.
4. optymalizacja logistyki i planowania operacji, co pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów i minimalizowanie strat.

Jednak wprowadzenie SI w operacjach wojskowych wiąże się również z licznymi wyzwaniami, w tym obawami o etykę i bezpieczeństwo, a także potrzebą regulacji dotyczących użycia autonomicznych systemów uzbrojenia. Regulacyjne te i zasady działania powinny zapewnić odpowiedzialne wykorzystanie nowych technologii.

Sztuczna inteligencja stanowi istotny element transformacji sfery wojskowej, umożliwiając zwiększenie efektywności operacji oraz poprawę sytuacyjnej świadomości. W miarę rozwoju tych ich wpływ na strategię militarne, organizację i metody działania armii będzie coraz bardziej widoczny. Kluczowe dla przyszłości zastosowania SI w wojsku jest znalezienie równowagi między wykorzystaniem potencjału tych technologii a zapewnieniem odpowiedzialnego i etycznego podejścia do ich wdrażania.

Rozszerzenie możliwości modeli SI w takich obszarach jak obliczenia matematyczne, integracja oprogramowania oraz narzędzi może być również korzystna w przypadku zastosowań wojskowych. Udana zastosowanie agentów SI w symulowanych środowiskach, takich jak Minecraft, oraz ich integracja z robotyką, pokazują potencjał do wykorzystania takich technologii w sferze militarnej. Jednak naukowcy z Princeton przestrzegają przed „kryzysem reprodukcyjności” w ML, spowodowanym przepływem danych, gdy dane testowe są włączane do zbioru treningowego lub wykorzystuje się czynniki związane z wynikiem przetwarzania informacji. Może to prowadzić do prezentowania w publikacjach przesadnie optymistycznych wyników. W celu rozwiązania tego problemu proponowane jest użycie specjalnych kart informacyjnych, por. Carlini *et al.* (2021).

Naukowcy opracowali test BIG-bench, który zawiera 204 zadania do oceny zdolności modelu, od zapamiętywania po wieloetapowe rozumowanie, por. Puente-Castro *et al.* (2024).

Takie podejście pozwala na kompleksową ocenę możliwości systemów SI oraz ML, w przeciwieństwie do ograniczeń istniejących benchmarków.

Badania DeepMind wykazały, że współczesne duże modele językowe są niewystarczająco wytrenowane, a ich wydajność można znacznie poprawić poprzez zwiększenie objętości danych treningowych, por. Hoffmann et al. (2022). Ta cecha skalowania może być ważna dla zastosowania takich modeli w sektorze obronnym.

Nowe możliwości dla wizualizacji komputerowej i przetwarzania multimediów w sferze militarnej mogą otworzyć modele dyfuzyjne, które już wykazały znaczne sukcesy w generowaniu obrazów, wideo i innych typów danych, por. Radford *et al.* (2021).

Obserwuje się tendencję do szybkiego klonowania modeli wiodących firm przez społeczność open source, por. Müller et al. (2020). Wskazuje to na potencjał do szybkiego rozprzestrzeniania się i dostosowywania zaawansowanych technologii SI, w tym - w sektorze wojskowym. W ten sposób teoretyczne podstawy badań zastosowania SI w sektorze obronnym obejmują szeroki zakres nowoczesnych tendencji rozwoju SI, w tym kwestie reprodukowalności, testowania możliwości modeli, cech skalowania, rozwoju nowych architektur oraz ich praktycznego zastosowania. Te aspekty kształtują krytycznie ważny kontekst dla wszechstronnego badania i opracowywania efektywnych rozwiązań opartych na SI w siłach zbrojnych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono przegląd teoretycznych podstaw zastosowania SI w sektorze obronnym oraz fundamentalne koncepcje SI, jej rozwój historyczny oraz współczesne trendy. Kluczowe wnioski są następujące.

1. SI jest dziedziną wieloaspektową, obejmującą szeroki zakres metod i podejść, od uczenia maszynowego po wizualizację komputerową i przetwarzanie języka naturalnego.
2. Zastosowanie SI w sektorze obronnym ma istotny potencjał do zwiększenia efektywności operacji, poprawy zdolności do rozpoznania sytuacyjnego i optymalizacji procesów podejmowania decyzji.
3. Współczesne tendencje rozwoju SI, takie jak głębokie uczenie się i modele generatywne, otwierają nowe możliwości dla zastosowań wojskowych.
4. Wprowadzenie SI w sferze militarnej wiąże się z istotnymi wyzwaniami etycznymi i potencjalnym ryzykiem wymagającym poważnego rozważenia.
5. Doświadczenia wiodących krajów, w tym Chin, pokazują aktywne wprowadzanie SI do systemów wojskowych, w tym rozwój tzw. „wirtualnych dowódców”.

Teoretyczne podstawy decydują o roli SI w nowoczesnych operacjach wojskowych i nakreślają perspektywy dalszego rozwoju zastosowań. W kolejnym rozdziale przedstawiono zastosowaną procedurę obejmującą uzasadnienie wyboru metod i procedury zbierania i analizy danych. Takie podejście umożliwia analizę zastosowania SI w sektorze obronnym, w szczególności w kontekście doświadczeń Ukrainy.

#### **4 Metoda badań**

Metoda badań opiera się na analizie publicznie dostępnych źródeł informacji dotyczących zastosowania technologii SI w sektorze obronnym, z uwzględnieniem danych dotyczących wojny rosyjsko-ukraińskiej. Badanie wykorzystuje połączenie jakościowych i ilościowych metod przetwarzania takich danych, co prowadzi do kompleksowej analizy przy zachowaniu wymogów dotyczących poufności informacji wojskowej.

Głównymi źródłami danych dla badania są publicznie dostępne materiały analityczne, w tym publikacje wiodących ośrodków analitycznych, badania akademickie oraz raporty organizacji międzynarodowych. Ważnym źródłem informacji są prezentowane mediach oficjalne oświadczenia ministerstw obrony, publikacje w specjalistycznych czasopismach wojskowych oraz relacje międzynarodowych mediów. Dodatkowym źródłem danych jest dokumentacja technologiczna, w tym zgłoszenia patentowe w obszarze wojskowego SI oraz specyfikacje techniczne publicznie dostępnych systemów SI.

Narzędzia metodologiczne badania obejmują analizę jakościową i ilościową. Analiza jakościowa jest realizowana poprzez analizę treści publikacji i raportów, co pozwala na ujawnienie kluczowych trendów i dokonanie kategoryzacji rozwiązań technologicznych. Ważnym elementem analizy jakościowej jest analiza studiów przypadków opublikowanych zastosowań SI oraz badanie studiów przypadków związanych z technologią. Oceny ekspertów uzyskane poprzez strukturalizowane wywiady oraz analizę publikacji ekspertów uzupełniają jakościowy skład badań.

Analiza ilościowa opiera się na badaniach bibliometrycznych, które obejmują analizę dynamiki publikacji oraz identyfikację kluczowych tematów badawczych. Analiza patentów pozwala na śledzenie dynamiki patentowania rozwiązań SI oraz określenie trendów technologicznych. Analiza statystyczna otwartych danych umożliwia badanie ogólnych trendów rozwoju technologii.

Aby ocenić wpływ SI, zastosowano zmodyfikowany model oparty na otwartych danych, przedstawiony równaniem:

$$Y(t) = \beta_0 + \beta_1(\text{Tech\_Trend}(t)) + \beta_2(\text{Period}(t)) + \gamma X(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

gdzie

- zmienna  $Y(t)$  odzwierciedla ogólne wskaźniki rozwoju technologicznego,
- zmienna  $\text{Tech\_Trend}(t)$  reprezentuje trendy rozwoju technologii SI,
- zmienna  $\text{Period}(t)$  definiuje okresy czasowe analizy,
- zmienna  $X(t)$  obejmuje zmienne kontrolne z otwartych źródeł.

Badanie realizowane jest w czterech kolejnych etapach. Na etapie przygotowawczym dokonuje się określenia dostępnych źródeł danych oraz formułowania kryteriów wyboru materiałów. Etap drugi - zbieranie danych - obejmuje systematyczny przegląd literatury, monitoring źródeł medialnych oraz zbieranie ocen ekspertów. Etap trzeci - analityczny – obejmuje analizę treści zebranych materiałów oraz statystyczne przetwarzanie dostępnych danych. Ostatni etap - walidacji wyników – obejmuje weryfikację krzyżową źródeł oraz ocenę ekspertów wniosków.

Metodologia uwzględnia szereg ograniczeń związanych z wykorzystaniem wyłącznie otwartych źródeł. Ograniczenia informacyjne obejmują niemożność weryfikacji niektórych danych oraz opóźnienia czasowe w publikacji informacji. Ograniczenia metodologiczne dotyczą subiektywności ocen ekspertów oraz niekompletności dostępnych danych.

Aby zapewnić wiarygodność wyników, stosuje się triangulację danych, co oznacza korzystanie z wielu źródeł oraz weryfikację krzyżową informacji. Walidacja wniosków odbywa się poprzez ocenę ekspertów wyników oraz porównanie z istniejącymi badaniami.

Taka metodologia pozwala na przeprowadzenie kompleksowych badań dotyczących zastosowania SI w sektorze obronnym, opierając się wyłącznie na otwartych źródłach informacji prezentujących publicznie dostępne dane. Takie podejście prowadzi do obiektywnych wyników przy zachowaniu wymogów dotyczących poufności informacji wojskowej, a także tworzy podstawy do sformułowania praktycznych rekomendacji dotyczących dalszego rozwoju i wdrażania technologii SI w sektorze obronnym.

## 5 Uwagi końcowe

Wynik badań przedstawione w niniejszym opracowaniu tworzą uzasadnienie i ramy koncepcyjne dla analizy teoretycznych i metodycznych aspektów wdrażania technologii SI we współczesnym kontekście wojskowym i odniesienie wyników tej analizy do danych empirycznych. Podejście takie umożliwia analizę komparatywną modeli krajowych wdrażania technologii SI, systematyczną analizę przypadków empirycznych i interdyscyplinarne podejście do badania przemian technologicznych.

Efektom takiego podejścia jest możliwość traktowania metod sztucznej inteligencji jako elementu złożonego systemu społeczno-technicznego, który radykalnie przekształca środowisko bezpieczeństwa i strategię wojskowo-technologiczną. W kolejnym opracowaniu zostaną przedstawione wyniki analizy empirycznej dla danych dotyczących Ukrainy i Polski. Analiza ta pozwoli ocenić zróżnicowane krajowe modele procesu wdrażania technologii SI odzwierciedlających specyfikę kontekstu geopolitycznego i dostępne zasoby technologiczne.

Analiza doświadczeń wojny rosyjsko-ukraińskiej jednoznacznie wskazuje na praktyczny potencjał metod sztucznej inteligencji w sektorze obronnym, odzwierciedlający skuteczność wykorzystania sztucznej inteligencji w zarządzaniu systemami bezzałogowymi, wywiadem, cyberbezpieczeństwem i optymalizacją procesów logistycznych. Podejściu systemowemu integruje wymiary technologiczne, bezpieczeństwa, społeczne i etyczne technologii SI.

Podstawą metodologiczną kolejnego etapu badań będą: wszechstronna analiza otwartych źródeł informacji, połączenie jakościowych i ilościowych metod badawczych, triangulacja danych empirycznych oraz matematyczne modelowanie trendów technologicznych. Priorytetowymi obszarami tej analizy są organizacyjne i technologiczne mechanizmy integracji metod SI z wojskowymi systemami zarządzania, badanie etycznych i prawnych aspektów wdrażania systemów autonomicznych, a także rozwój metodologicznych podejść do minimalizacji zagrożeń i optymalizacji wykorzystania technologii SI.

Dalsze badania zmierzają do głębszego zrozumienia możliwości i ograniczeń SI w sektorze obronnym, który ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa narodowego, suwerenności technologicznej i strategicznej konkurencyjności państwa w kontekście trwałych przemian technologicznych współczesnego środowiska bezpieczeństwa.

## 6 Bibliografia

AI Index (2024). The SI Index Report. Measuring trends in SI.

<https://aiindex.stanford.edu/report/>

Al Hajji, Y., Al Hajji, F.-Z., Lee, L. Y. W. (2024). Navigating the horizon of opportunity: a comprehensive review of artificial intelligence applications in cancer care—insights from the 2024 landscape, a narrative review. *Journal of Medical Artificial Intelligence*, 7, Article 38.

<https://doi.org/10.21037/jmai-24-38>

Angthong, C., Rungrattanawilai, N., Pundee, C. (2024). Artificial intelligence assistance in deciding management strategies for polytrauma and trauma patients. *Polski Przegląd Chirurgiczny/Polish Journal of Surgery*, 96.

<https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9857>

Avola, D., Cannistraci, I., Cascio, M., Cinque, L., Diko, A., Fagioli, A., Foresti, G. L., Lanzino, R., Mancini, M., Mecca, A., Pannone, D. (2022). A Novel GAN-Based Anomaly Detection and Localization Method for Aerial Video Surveillance at Low Altitude. *Remote Sensing*, 14(16), 4110.

<https://doi.org/10.3390/rs14164110>

Bae, J., Hong, S. (2023). Unmanned marine vehicles: A survey on intelligence and cooperation. *Ocean Engineering*, 270, Article 113515.

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113515>

Bâra, A., Oprea, S.-V. (2024). Machine Learning Algorithms for Power System Sign Classification and a Multivariate Stacked LSTM Model for Predicting the Electricity Imbalance Volume. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17(1), Article 80.

<https://doi.org/10.1007/s44196-024-00464-1>

Bogdanov, K. V., Yevtodyeva, M. G. (2021). U.S.-China: Mechanisms and dynamics of arms race. *World Economy and International Relations*, 65(6), 42-50.

<https://doi.org/10.20542/0131-2227-2021-65-6-42-50>

Boice, E. N., Hernandez Torres, S. I., Knowlton, Z. J., Berard, D., Gonzalez, J. M., Avital, G., Snider, E. J. (2022). Training Ultrasound Image Classification Deep-Learning Algorithms for Pneumothorax Detection Using a Synthetic Tissue Phantom Apparatus. *Journal of Imaging*, 8(9), 249.

<https://doi.org/10.3390/jimaging8090249>

Carayannis, E.G., Draper, J. Optimising peace through a Universal Global Peace Treaty to constrain the risk of war from a militarised artificial superintelligence. *SI & Soc* 38, 2679–2692 (2023).

<https://doi.org/10.1007/s00146-021-01382-y>

Carlini, N., Tramer, F., Wallace, E., Jagielski, M., Herbert-Voss, A., Lee, K., Roberts, A., Brown, T., Song, D., Erlingsson, U., Oprea, A., Raffel, C. (2021). Extracting training data from large language models. arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.07805>

Carlo, A., Mantu, N. P., W. A. M, B. A. S., Casamassima, F., Boschetti, N., Breda, P., Rahloff, T. (2023). The importance of cybersecurity frameworks to regulate emergent SI technologies for space applications. *Journal of Space Safety Engineering*, 10(4), 474-482.

<https://doi.org/10.1016/j.jsse.2023.08.002>

Caruso, A. M. (2023). IoT, ML for Combat Identification: Technologies to reduce Blue on Blue events in Military Battlefield. In *2023 IEEE International Workshop on Technologies for Defense and Security, TechDefense 2023 - Proceedings* (pp. 89-94). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/TechDefense59795.2023.10380835>

Chen, H., Li, T., Zhu, L., Jiang, T. (2020). Function analysis of command and control system in intelligent war. *Journal of Physics: Conference Series*, 1684(1), 012147.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1684/1/012147>

Covaciu, F., Gherman, B., Rus, G., Vaida, C., Zima, I., Pisla, D. (2024). Development of a Virtual Reality Simulator for a Robotic-Assisted Laparoscopic Surgery. In *2024 24th IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, Cluj-Napoca, May 16-18, 2024.

<https://doi.org/10.1109/AQTR61889.2024.10554158>

de Castro, B. A., Pochmann, P. G. C., Neves, E. B. (2024). Artificial Intelligence Applications in Military Logistics Operations. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 380, pp. 89-100). Springer.

[https://doi.org/10.1007/978-981-99-8894-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-99-8894-5_8)

De Lima Filho, G. M., Kuroswiski, A. R., Medeiros, F. L. L., Voskuijl, M., Monsuur, H., & Passaro, A. (2022). Optimization of Unmanned SIr Vehicle Tactical Formation in War Games. *IEEE Access*, 10, 21727-21741.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152768>

Erskine, T., Miller, S. E. (2024). SI and the decision to go to war: future risks and opportunities. *Australian Journal of International Affairs*, 78(2), 135-147.

<https://doi.org/10.1080/10357718.2024.2349598>

Feldstein, S. (2023). The Consequences of Generative SI for Democracy, Governance and War. In *Survival Global Politics and Strategy* (Vol. 65, pp. 117-142). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9781003429388-9>

Figueroa, M. D., Orozco, A. H., Martínez, J., Jaime, W. M. (2023). The risks of autonomous weapons: An analysis centred on the rights of persons with disabilities. *International Review of the Red Cross*, 105(922), 278-305.

<https://doi.org/10.1017/S1816383122000881>

Galliot, J. (2021). Toward a positive statement of ethical principles for military SI. In J. Galliot, D. MacIntosh, J.D. Ohlin (Eds.), *Lethal Autonomous Weapons: Re-Examining the Law and Ethics of Robotic Warfare* (pp. 121-136). Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/oso/9780197546048.003.0009>

Gao, C., Du, Y., Ma, F., Lan, Q., Chen, J., Wu, J. (2024). A new adversarial malware detection method based on enhanced lightweight neural network. *Computers and Security*, 147, Article 104078.

<https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.104078>

Gartner (2023, October 16). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2024.

<https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2024>

Golovianko, M., Gryshko, S., Terziyan, V., Tuunanen, T. (2023). Responsible cognitive digital clones as decision-makers: a design science research study. *European Journal of Information Systems*, 32(5), 879-901.

<https://doi.org/10.1080/0960085X.2022.2073278>

Hadlington, L., Binder, J., Gardner, S., Karanika-Murray, M., & Knight, S. (2023). The use of artificial intelligence in a military context: development of the attitudes toward SI in defense (AAID) scale. *Frontiers in Psychology*, 14, Article 1164810.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1164810>

Hatzivasilis, G., Lakka, E., Athanatos, M., Ioannidis, S., Kalogiannis, G., Chatzimpyrros, M., Spanoudakis, G., Papastergiou, S., Karagiannis, S., Alexopoulos, A., Amelin, D., & Kiefer, S. (2024). Swarm-intelligence for the modern ICT ecosystems. *International Journal of Information Security*, 23(4), 2951-2975.

<https://doi.org/10.1007/s10207-024-00869-1>

Hernandez-Torres, S. I., Hennessey, R. P., Snider, E. J. (2023). Performance Comparison of Object Detection Networks for Shrapnel Identification in Ultrasound Images. *Bioengineering*, 10(7), 807.

<https://doi.org/10.3390/bioengineering10070807>

Hoffmann, J., Borgeaud, S., Mensch, A., Buchatskaya, E., Cai, T., Rutherford, E., de Las Casas, D., Hendricks, L. A., Welbl, J., Clark, A., Hennigan, T., Noland, E. (2022). Training compute-optimal large language models. In *Proceedings of the 36th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022)* (Code 189185).

[https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2022/file/c1e2faff6f588870935f114ebe04a3e5-Paper-Conference.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2022/file/c1e2faff6f588870935f114ebe04a3e5-Paper-Conference.pdf)

Hu, B., Zhang, S., Liu, B. (2024). A Hybrid Algorithm Combining Data-Driven and Simulation-Based Reinforcement Learning Approaches to Energy Management of Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 10(1), 1257-1273.

<https://doi.org/10.1109/TTE.2023.3266734>

Hu, S. (2023). Intelligent Wargame Deduction Decision Method Based on Deep Reinforcement Learning. *Jisuanji Gongcheng/Computer Engineering*, 49(9), 303-312.

<https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0067067>

Johnson, J. (2024). Finding SI Faces in the Moon and Armies in the Clouds: Anthropomorphising Artificial Intelligence in Military Human-Machine Interactions. *Global Society*, 38(1), 67-82.

<https://doi.org/10.1080/13600826.2023.2205444>

Junklewitz, H., Hamon, R., André, A., Evas, T., Soler Garrido, J. and Sanchez Martin, J.I., *Cybersecurity of Artificial Intelligence in the SI Act*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023,

<https://doi.org/10.2760/271009>



Kania, E. B. (2021). Artificial intelligence in China's revolution in military affairs. *Journal of Strategic Studies*, 44(4), 515-542.

<https://doi.org/10.1080/01402390.2021.1894136>

Kaplan, C. A. (2024). A Collective Intelligence Approach to Safe Artificial General Intelligence. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 14951 LNAI, pp. 109-118). 17th International Conference on Artificial General Intelligence, AGI 2024, Seattle, August 12-15,

2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-65572-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-65572-2_12)

Khare, O., Mane, S., Kulkarni, H., Barve, N. (2024). LeafNST: an improved data augmentation method for classification of plant disease using object-based neural style transfer. *Discover Artificial Intelligence*, 4(1), Article 50.

<https://doi.org/10.1007/s44163-024-00150-3>

Kim, J.-D., Kim, T.-H., Han, S. W. (2023). Demand Forecasting of Spare Parts Using Artificial Intelligence: A Case Study of K-X Tanks. *Mathematics*, 11(3), 501.

<https://doi.org/10.3390/math11030501>

Kuru, K., Pinder, J. M., Watkinson, B. J., Ansell, D., Vinning, K., Moore, L., Gilbert, C., Sujit, A., Jones, D. (2023). Toward Mid-Air Collision-Free Trajectory for Autonomous and Pilot-Controlled Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Access*, 11, 100323-100342.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3314504>

Lloyd, D. G., Saxby, D. J., Pizzolato, C., Worsey, M., Diamond, L. E., Palipana, D., Bourne, M., de Sousa, A. C., Mannan, M. M. N., Nasser, A., Perevoshchikova, N., Maharaj, J., Crossley, C., Quinn, A., Mulholland, K., Collings, T., Xia, Z., Cornish, B., Devaprakash, D., Lenton, G., ... Barrett, R. S. (2023). Maintaining soldier musculoskeletal health using personalised digital humans, wearables and/or computer vision. *Journal of science and medicine in sport*, 26 Suppl 1, S30-S39.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.04.001>

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., Shannon, C. E. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *SI Magazine*, 27(4), 12.

<https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>

Meerveld, H.W., Lindelauf, R.H.A., Postma, E.O., Postma, M. (2023). The irresponsibility of not using SI in the military. *Ethics and Information Technology*, 25(1), 14.

<https://doi.org/10.1007/s10676-023-09683-0>

Melvin, A. A. R., Kathrine, G. J. W., Pasupathi, S., Shanmuganathan, V., Naganathan, R. (2024). An SI powered system call analysis with bag of word approaches for the detection of intrusions and malware in Australian Defence Force Academy and virtual machine monitor malware attack data set. *Expert Systems*, 41(6), Article e13029.

<https://doi.org/10.1111/exsy.13029>

Mir, Z. H., Dreyer, N., Kürner, T., Filali, F. (2024). Investigation on cellular LTE C-V2X network serving vehicular data traffic in realistic urban scenarios. *Future Generation Computer Systems*, 161, 66-80.

<https://doi.org/10.1016/j.future.2024.07.002>

MIT Technology Review. (2024). The SI Arms Race: Implications for Global Security. MIT Technology Review Insights.

<https://www.technologyreview.com/>

Mohammadi, S., Belgiu, M., Stein, A. (2024). A source-free unsupervised domain adaptation method for cross-regional and cross-time crop mapping from satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 314, Article 114385.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114385>

Müller, R., Kornblith, S., Hinton, G. (2020). When does label smoothing help? arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.02629>

OECD. (2023). Digital Economy Outlook 2024: Going Digital.

<https://www.oecd.org/digital/oecd-digital-economy-outlook-2024-4cdd4f57-en.htm>

Oguntoye, K. S., Laflamme, S., Sturgill, R., Eisenmann, D. J. (2023). Review of Artificial Intelligence Applications for Virtual Sensing of Underground Utilities. *Sensors*, 23(9), Article 4367.

<https://doi.org/10.3390/s23094367>

Orhan, D., Erol Genevois, M. (2023). Cash Replenishment and Vehicle Routing Improvement for Automated Teller Machines. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 758 LNNS, pp. 721-729). Springer.

[https://doi.org/10.1007/978-3-031-39774-5\\_80](https://doi.org/10.1007/978-3-031-39774-5_80)

Paul, K., Tong, A. (2024, September 13). OpenAI launches new series of SI models with 'reasoning' abilities.

<https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/openai-launches-new-series-ai-models-solve-hard-problems-2024-09-12/>

Pellini, R., Ferrari Dacrema, M. (2024). Analyzing the effectiveness of quantum annealing with meta-learning. *Quantum Machine Intelligence*, 6(2), Article 48.

<https://doi.org/10.1007/s42484-024-00179-8>

Puente-Castro, A., Rivero, D., Pedrosa, E., Pereira, A., Lau, N., Fernandez-Blanco, E. (2024). Q-Learning based system for Path Planning with Unmanned Aerial Vehicles swarms in obstacle environments. *Expert Systems with Applications*, 235, 121240.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121240>

Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., Sastry, G., Askell, A., Mishkin, P., Clark, J., Krueger, G., Sutskever, I. (2021). Learning transferable visual models from natural language supervision. arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.00020>

Rahman, M. H., Madria, S. (2023). An Augmented Dataset for Vision-based Unmanned Aerial Vehicles Detection and Tracking. In *2023 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIPR60534.2023.10440657>

Raja, G., Essaky, S., Ganapathisubramaniyan, A., Baskar, Y. (2023). Nexus of Deep Reinforcement Learning and Leader-Follower Approach for SIoT Enabled Aerial Networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(8), 9165-9172.

<https://doi.org/10.1109/TII.2022.3226529>

Rashid, A. B., Kausik, A. K., Al Hassan Sunny, A., Bappy, M. H. (2023). Artificial Intelligence in the Military: An Overview of the Capabilities, Applications, and Challenges. *International Journal of Intelligent Systems*, 2023, Article 8676366.

<https://doi.org/10.1155/2023/8676366>

Reguerra, E. (2024, September 10). SI deepfake attacks will extend beyond videos and audio — Security firms. *Cointelegraph*.

<https://cointelegraph.com/news/ai-deepfake-scams-threaten-crypto-wallets-2024>

Reuters. (2024, September 18). Microsoft, BlackRock to launch \$30 billion fund for SI infrastructure. *Reuters*. Retrieved September 18, 2024.

<https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/microsoft-blackrock-plan-30-bln-fund-invest-ai-infrastructure-ft-reports-2024-09-17/>

Rotbei, S., Tseng, W. H., Merino-Barbancho, B., Haleem, M. S., Montesinos, L., Pecchia, L., Fico, G., Botta, A. (2024). Evaluating impact of movement on diabetes via artificial intelligence and smart devices systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 257, 125058.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125058>

Saadaoui, F. Z., Cheggaga, N., Djabri, N. E. H. (2023). Multi-sensory system for UAVs detection using Bayesian inference. *Applied Intelligence*, 53(24), 29818-29844.

<https://doi.org/10.1007/s10489-023-05027-z>

Sesli, E. (2024). Human-Robot Interaction (HRI) through hand gestures for possible future war robots: A leap motion controller application. *Multimedia Tools and Applications*, 83(12), 36547-36570.

<https://doi.org/10.1007/s11042-023-15278-0>

Shen, L., An, J., Wang, N., Wu, J., Yao, J., Gao, Y. (2024). Artificial intelligence and machine learning applications in urinary tract infections identification and prediction: a systematic review and meta-analysis. *World Journal of Urology*, 42(1), Article 464.

<https://doi.org/10.1007/s00345-024-05145-4>

Shoemaker, E. (2024). Is SI Art Theft? The Moral Foundations of Copyright Law in the Context of SI Image Generation. *Philosophy and Technology*, 37(3), Article 114.

<https://doi.org/10.1007/s13347-024-00797-x>

Singh, K., Tripathi, G., Chullai, G. A., Kumar, J., Kumar, P. (2019). Future Battlefield SIr Space Management: An Internet of Things (IoT) Based Framework. In *2019 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)* (pp. 15-21). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICSC45622.2019.8938280>

Singh, P., Murthy, V., Kumar, D., Raval, S. (2024). A comprehensive review on application of drone, virtual reality and augmented reality with their application in dragline excavation monitoring in surface mines. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), Article 2327399.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2327399>

Snider, E. J., Hernandez-Torres, S. I., Avital, G., Boice, E. N. (2022). Evaluation of an Object Detection Algorithm for Shrapnel and Development of a Triage Tool to Determine Injury Severity. *Journal of Imaging*, 8(9), 252.

<https://doi.org/10.3390/jimaging8090252>

Spirnak, J. R., Antani, S. (2024). The Need for Artificial Intelligence Curriculum in Military Medical Education. *Military Medicine*, 189(5-6), 954-958.

<https://doi.org/10.1093/milmed/usad412>

Stanford University. (2024). The SI Index Report: Measuring trends in SI. Stanford HAI.

<https://aiindex.stanford.edu/report/>

Statista. (2024). SI market size worldwide from 2020-2030.

<https://www.statista.com/forecasts/1474143/global-ai-market-size>

Steck, M., Hecht, H., Fraenken, D., Liegl, A., Ruppel, M., Winkler, V., Erhart, C., Hepner, C., Ott, T., Mueller, R., Lutz, S. (2023). New Frontiers in Passive Radar - an Industrial Perspective. In *Proceedings of the IEEE Radar Conference*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/RADAR54928.2023.10371132>

Thomas, Ch., Blanchard, A., Taddeo, M. (2024). From SI Ethics Principles to Practices: A Teleological Methodology to Apply SI Ethics Principles in The Defence Domain. *Philosophy and Technology* 37 (1):1-21.

<https://doi.org/10.1007/s13347-024-00710-6>

Tritschler, P., Ohms, T., Yang, B., Zimmermann, A. (2024). Meta-learning for few-shot sensor self-calibration to increase stress robustness. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 138, Article 109171.

<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109171>

Turunen, M. (2022). The Cyber Era's Character of War. In *Proceedings of the 21st European Conference on Cyber Warfare and Security (ECCWS 2022)* (pp. 378-384). Academic Conferences International Limited. ISBN: 978-191458740-5

U.S. Department of Defense. (2018). *Summary of the National Defense Strategy: Sharpening the American Military's Competitive Edge*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

<https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>

Ukwaththa, J., Herath, S., Meddage, D. P. P. (2024). A review of machine learning (ML) and explainable artificial intelligence (XAI) methods in additive manufacturing (3D Printing). *Materials Today Communications*, 41, Article 110294.

<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110294>

Umbrello, S., Torres, P., De Bellis, A. F. (2020). The future of war: could lethal autonomous weapons make conflict more ethical? *SI and Society*, 35(1), 273-282.

<https://doi.org/10.1007/s00146-019-00879-x>

van den Hoven van Genderen, R., Ballardini, R. (2024). *SI and Emotional data between the Scylla and Charybdis of European Regulation*. Abstract from IRIS2024: Internationales Rechtsinformatik Symposium 2024, Salzburg, Austria.

<https://iris-conferences.eu/iris24>

- Vigevano, M. R. (2021). Artificial intelligence in armed conflicts: Legal and ethical limits [Inteligencia artificial aplicable a los conflictos armados: Límites jurídicos y éticos]. *Arbor*, 197(800), a600.  
<https://doi.org/10.3989/arbor.2021.800002>
- Wang, J., Liu, Y., Niu, S., Song, H. (2021). Bio-inspired routing for heterogeneous Unmanned Sircraft Systems (UAS) swarm networking. *Computers and Electrical Engineering*, 95, 107401.  
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107401>
- Wang, M. Y., Chu, Z., Ku, I., Cho Smith, E., Matson, E. T. (2024). A 15-Category Audio Dataset for Drones and an Audio-Based UAV Classification Using Machine Learning. *International Journal of Semantic Computing*, 18(2), 257-272.  
<https://doi.org/10.1142/S1793351X24300048>
- Wang, Z., Yuan, H., Lin, K., Zhang, Y., Xue, Y., Liu, P., Chen, Z., & Wu, M. (2024). Artificial intelligence-empowered assessment of bile duct stone removal challenges. *Expert Systems with Applications*, 258, Article 125146.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125146>
- Wilson, H. J., Daugherty, P. R. (2024). Conversational commerce: entering the next stage of SI-powered digital assistants. *Annals of Operations Research*, 333, 653-687.  
<https://doi.org/10.1007/s10479-021-04049-5>
- Yaldiz, C. O., Buller, M. J., Richardson, K. L., An, S., Lin, D. J., Satish, A., Driver, K., Atkinson, E., Mesite, T., King, C., Bursey, M., Galer, M. (2023). Early Prediction of Impending Exertional Heat Stroke With Wearable Multimodal Sensing and Anomaly Detection. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27(12), 5803-5814.  
<https://doi.org/10.1109/JBHI.2023.3323014>
- Zafar, A., Che, Y., Sehnan, M., Afzal, U., D Algarni, A., & Elmannai, H. (2024). Optimizing solar power generation forecasting in smart grids: a hybrid convolutional neural network - autoencoder long short-term memory approach. *Physica Scripta*, 99(9), Article 095249.  
<https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad6cad>
- Zhang, Z., Shi, F., Wan, Y., Xu, Y., Zhang, F., Ning, H. (2020). Application progress of artificial intelligence in military confrontation. *Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering*, 42(9), 1106-1118.  
<https://doi.org/10.13374/j.issn2095-9389.2019.11.19.001>
- Zhao, J., Gao, X., Wu, Z., Zhang, Q., Han, H. (2024). Artificial intelligence in rail transit wireless communication systems: Status, challenges and solutions. *Physical Communication*, 67, Article 102484.  
<https://doi.org/10.1016/j.phycom.2024.102484>
- Zhu, X., Zhao, C., Liang, Z., Tan, Q. (2021). Thoughts on technology development of OODA empowered with SI. *Hangkong Xuebao/Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 42(4), 524332.  
<https://doi.org/10.7527/S1000-6893.2020.24332>

## 7 Streszczenie

### ABSTRACT

*The subject of the research is the theoretical and methodological foundations as well as practical mechanisms for implementing artificial intelligence (AI) technologies in the defense sector in the context of contemporary geopolitical transformations. The object of the study is the processes of technological transformation in the military sphere under the influence of AI, encompassing institutional, organizational, technological, and social dimensions of integrating intelligent technologies into military management, intelligence, logistics, and cybersecurity systems.*

*The aim of the research is to develop a conceptual model for implementing AI technologies in the defense sector and to formulate scientifically grounded recommendations for state policy regarding the technological development of the defense complex. The study proposes an interdisciplinary approach to analyzing AI as a complex socio-technical system, a comprehensive methodology for examining technological transformations, and identifying strategic directions and risk factors in the application of AI in the defense sector. This approach allows for the identification of scientifically justified practical mechanisms for implementing AI technologies and the development of methods for mitigating associated risks.*

*The research employs an interdisciplinary approach, combining qualitative and quantitative methods, comparative analysis of national models, empirical case studies, and mathematical modeling of technological trends. The study utilizes data on the implementation of military AI technologies in Ukraine, Poland, and other countries, with a particular focus on the period of the Russian-Ukrainian war.*

### АБСТРАКТ

*Предметом дослідження є теоретико-методологічні основи та практичні механізми впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) у оборонному секторі в контексті сучасних геополітичних трансформацій. Об'єктом дослідження є процеси технологічної трансформації військової сфери під впливом ШІ, що охоплюють інституційні, організаційні, технологічні та соціальні аспекти впровадження інтелектуальних технологій у системи військового управління, розвідки, логістики та кібербезпеки.*

*Метою дослідження є розробка концептуальної моделі впровадження технологій ШІ в оборонному секторі та формулювання науково обґрунтованих рекомендацій для державної політики у сфері технологічного розвитку оборонного комплексу. У роботі запропоновано міждисциплінарний підхід до дослідження ШІ як складної соціотехнічної системи, комплексну методологію аналізу технологічних трансформацій та визначення стратегічних напрямів і факторів ризику застосування ШІ в оборонному секторі. Цей підхід дозволяє виявити науково обґрунтовані практичні механізми впровадження технологій ШІ та розробити методи мінімізації ризиків їх застосування.*

*У дослідженні використано міждисциплінарний підхід, поєднання якісних і кількісних методів, порівняльний аналіз національних моделей, аналіз емпіричних кейсів та математичне моделювання технологічних трендів. У роботі використані дані про впровадження військових технологій ШІ в Україні, Польщі та інших державах, із особливим акцентом на період російсько-української війни.*