

Przejście z 5G na 6G w komunikacji wojskowej

Niniejsza książka stanowi kompleksową i wybiegającą w przyszłość analizę przejścia z technologii 5G na 6G w komunikacji wojskowej. Bada podstawy architektoniczne, zastosowania operacyjne, wyzwania związane z bezpieczeństwem i strategiczne implikacje systemów komunikacyjnych nowej generacji w środowiskach obronnych. Obejmując tematy takie jak dzielenie sieci, zarządzanie oparte na sztucznej inteligencji, integracja satelitów, odporność cybernetyczna, bezpieczeństwo post-kwantowe i operacje wielodomenowe, książka przedstawia komunikację wojskową jako krytyczny czynnik umożliwiający dowodzenie i kontrolę. Oferuje perspektywę na poziomie systemu, która integruje technologię, doktrynę i strategię, aby sprostać przyszłym wymaganiom operacyjnym.



Rexhep Mustafovski, MSc, jest oficerem sygnałowym i badaczem akademickim w dziedzinie komunikacji wojskowej i bezpiecznych systemów sieciowych. Ukończył Akademię Wojskową "General Mihailo Apostolski" w Skopje i uzyskał tytuł magistra w dziedzinie komunikacji i technologii informacyjnych na Uniwersytecie "Ss. Cyryla i Metodego" w Skopje.




WYDAWNICTWO
NASZA WIEDZA

Mustafovski, Qehaja, Hajrizi



WYDAWNICTWO
NASZA WIEDZA



Przejście z 5G na 6G w komunikacji wojskowej

Architektury, integracja i wpływ operacyjny

Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi

Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi

Przejście z 5G na 6G w komunikacji wojskowej

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Rexhep Mustafovski
Besnik Qehaja
Edmond Hajrizi**

Przejście z 5G na 6G w komunikacji wojskowej

Architektury, integracja i wpływ operacyjny

FOR AUTHOR USE ONLY

ScienciaScripts

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

This book is a translation from the original published under ISBN 978-620-9-71856-4.

Publisher:

Scienca Scripts

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova, Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu

info@omniscryptum.com

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-9-86428-5

Copyright © Rexhep Mustafovski, Besnik Qehaja, Edmond Hajrizi

Copyright © 2026 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

Przejście z 5G na 6G w łączności wojskowej

Architektury, integracja i wpływ na działalność operacyjną

Przedmowa.....	2
Wprowadzenie.....	5
Rozdział 1 – Wprowadzenie do ewolucji łączności wojskowej	10
Rozdział 2 – Podstawy systemów łączności wojskowej	31
Rozdział 3 – Przegląd technologii 5G	53
Rozdział 4 – Przykłady zastosowań sieci 5G w wojsku	77
Rozdział 5 – Wyzwania związane z bezpieczeństwem 5G w środowiskach wojskowych.....	97
Rozdział 6 – Integracja 5G z istniejącymi systemami wojskowymi	114
Rozdział 7 – Czynniki napędzające przejście z 5G na 6G.....	131
Rozdział 8 – Wizja i podstawowe koncepcje technologii 6G	148
Rozdział 9 – Architektury 6G dla łączności wojskowej.....	168
Rozdział 10 – Bezpieczeństwo i odporność w sieciach wojskowych 6G.....	190
Rozdział 11 – Wpływ przejścia z 5G na 6G na działania operacyjne	212
Rozdział 12 – Interoperacyjność, standaryzacja i perspektywa NATO	232
Rozdział 13 – Implikacje etyczne, prawne i strategiczne	253
Rozdział 14 – Kierunki rozwoju i wyzwania badawcze.....	276
Wnioski.....	296
Bibliografia	300

Przedmowa

Nazywam się **Rexhep Mustafovski, magister nauk ścisłych**, a niniejsza książka stanowi kontynuację i strategiczne rozszerzenie mojego zaangażowania akademickiego, zawodowego i badawczego w dziedzinie nowoczesnych wojskowych systemów łączności. Przez lata moja praca koncentrowała się na transformacji architektur łączności jako decydujących czynników umożliwiających dowodzenie i kontrolę, koordynację operacyjną oraz odporność strategiczną. Ewolucja od zaawansowanych wdrożeń 5G w kierunku powstającego paradygmatu 6G stwarza nie tylko możliwości technologiczne, ale także wyzwania strukturalne, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo narodowe, interoperacyjność i długoterminową suwerenność. Motywacją do napisania tej książki są długotrwałe badania naukowe, zaangażowanie zawodowe w edukację wojskową oraz ciągłe zajmowanie się nowymi technologiami komunikacyjnymi, które w coraz większym stopniu kształtują doktrynę operacyjną.

Książka ta została napisana we współpracy z **dr Besnikiem Qehają i prof. dr. Edmondem Hajrizim**. Ich przywództwo akademickie i wiedza specjalistyczna znacznie wzbogacają interdyscyplinarny zakres tej pracy. Dr Besnik Qehaja, uznany strateg ds. innowacji cyfrowych i dziekan Wydziału Informatyki i Inżynierii na UBT, wnosi dogłębną wiedzę specjalistyczną w zakresie transformacji cyfrowej, integracji sztucznej inteligencji, zaawansowanych systemów uczenia się oraz rozwoju inteligentnej infrastruktury. Jego doświadczenie akademickie, w tym badania doktoranckie nad systemami monitorowania w czasie rzeczywistym oraz przywództwo w krajowych inicjatywach e-zdrowia, wzmacnia rygor analityczny tej książki w obszarach związanych z systemami inteligentnymi, architekturami danych rozproszonych oraz frameworkami opartymi na sztucznej inteligencji. Prof. dr Edmond Hajrizi, założyciel i rektor UBT, stworzył jedną z wiodących instytucji akademickich zorientowanych na innowacje w regionie. Jego wieloletnie zaangażowanie w łączenie badań akademickich z praktycznym wdrażaniem technologii i współpracą międzynarodową zapewnia strategiczną głębię szerszej wizji przedstawionej w tej książce.

Głównym celem niniejszej pracy jest zbadanie przejścia z 5G na 6G w komunikacji wojskowej jako transformacji systemowej i strategicznej, a nie jako zbioru izolowanych ulepszeń technicznych. We współczesnych operacjach wojskowych systemy komunikacyjne są nierozdzielnie związane z dowództwem, integracją wywiadowczą i skoordynowanymi manewrami w wielu dziedzinach. Zdolność do bezpiecznej, niezawodnej i terminowej wymiany informacji decyduje o świadomości sytuacyjnej, skuteczności misji, ochronie sił zbrojnych i wiarygodności odstraszenia. Architektura komunikacyjna ewoluowała od funkcji pomocniczej do fundamentalnego zasobu strategicznego.

W trakcie naszych doświadczeń akademickich i zawodowych zaobserwowaliśmy powtarzającą się lukę między szybko rozwijającymi się technologiami komunikacyjnymi a ich spójną integracją ze strukturami dowodzenia wojskowego.

Chociaż literatura techniczna często skupia się na poszczególnych innowacjach, takich jak dzielenie sieci, kryptografia postkwantowa, zarządzanie siecią oparte na sztucznej inteligencji czy integracja satelitów, to niewiele jest kompleksowych prac analizujących, w jaki sposób te elementy wspólnie zmieniają doktrynę komunikacji wojskowej. Niniejsza książka ma na celu wypełnienie tej luki, oferując uporządkowaną i interdyscyplinarną analizę systemów komunikacyjnych nowej generacji w środowiskach obronnych.

Zakres tej książki obejmuje historyczną ewolucję wojskowych systemów komunikacyjnych, podstawy architektury technologii 5G, operacyjne zastosowania wojskowe, wyzwania związane z cyberbezpieczeństwem i wojną elektroniczną, integrację ze starszymi systemami taktycznymi oraz pojawiające się czynniki napędzające transformację 6G. Analiza dodatkowo zgłębia architekturę oparte na sztucznej inteligencji, zintegrowane systemy wykrywania i komunikacji, mechanizmy bezpieczeństwa odporne na ataki kwantowe, łączność wielodomenową, interoperacyjność w ramach sojuszy, kwestie regulacyjne oraz długoterminowe implikacje strategiczne.

Szczególony nacisk kładzie się na odporność, suwerenność i interoperacyjność. W miarę jak sieci komunikacyjne coraz bardziej zbliżają się do infrastruktury cywilnej i zglobalizowanych łańcuchów dostaw, strategiczna autonomia staje się kluczowym czynnikiem. Przejście na 6G wiąże się nie tylko z poprawą wskaźników wydajności, ale także z nowymi modelami zarządzania, które uwzględniają aspekty etyczne, prawne i geopolityczne. Koordynacja oparta na sztucznej inteligencji, rozproszone systemy uwierzytelniania, adaptacyjne zarządzanie widmem oraz mechanizmy szyfrowania gotowe na technologię kwantową muszą zostać zintegrowane w spójnych architekturach zaprojektowanych z myślą o środowiskach, w których panuje konkurencja i występują zakłócenia.

Ważny wkład tej książki odzwierciedla zorientowaną na integrację ścieżkę badawczą, która kładzie nacisk na uporządkowaną konwergencję sztucznej inteligencji, mechanizmów kryptograficznych odpornych na technologie kwantowe, ram uwierzytelniania opartych na łańcuchu bloków, adaptacyjnego zarządzania widmem oraz redundancji komunikacji wielodomenowej. To podejście integracyjne ma na celu zapewnienie bezpiecznej, odpornej i skutecznej komunikacji we wszystkich warunkach operacyjnych, w tym w środowiskach elektromagnetycznych o ograniczonej dostępności oraz w ekstremalnych scenariuszach meteorologicznych. Poprzez syntezę zaawansowanych technologii w spójne ramy architektoniczne, praca dostosowuje współczesne innowacje do praktycznych wymagań wojskowych.

Analiza jest przeprowadzana na poziomie koncepcyjnym i architektonicznym, co pozwala na zastosowanie omawianych zasad w różnych kontekstach krajowych i wdrożeniach technologicznych. Książka ta nie przedstawia procedur niejawnych, szczegółów inżynierskich dotyczących konkretnych dostawców ani ram doktrynalnych właściwych dla poszczególnych krajów. Skupia się natomiast na trwałych zasadach strukturalnych, rozumowaniu strategicznym i myśleniu na

poziomie systemowym, które wspierają świadome podejmowanie decyzji i badania zorientowane na przyszłość.

Podejście to ma pewne ograniczenia. Biorąc pod uwagę szybkie tempo rozwoju technologicznego, konkretne wdrożenia systemów 6G będą nadal ewoluować. Niniejsza książka nie ma na celu wyczerpującego omówienia każdego prototypu eksperymentalnego ani nowo powstających inicjatyw badawczych. Jej celem jest raczej przedstawienie uporządkowanych podstaw, które pozostaną aktualne pomimo przyspieszenia technologicznego. Przedstawiona tu logika architektury, zasady zarządzania i rozważania strategiczne mają przetrwać konkretne zmiany generacyjne.

Książka jest skierowana do studentów studiów magisterskich i doktoranckich na kierunkach inżynierii komunikacyjnej, cyberbezpieczeństwa, studiów obronnych i dziedzin pokrewnych, a także do naukowców, architektów systemów, decydentów politycznych i specjalistów wojskowych zajmujących się planowaniem komunikacji w sieciach, edukacją i dowodzeniem operacyjnym. Książka ma strukturę wspierającą zarówno badania naukowe, jak i zastosowania zawodowe, oferując dogłębną analizę przy zachowaniu praktycznego znaczenia.

Współpraca między autorami odzwierciedla wspólne zaangażowanie w badania oparte na innowacjach i integrację interdyscyplinarną. Łącząc wiedzę specjalistyczną w zakresie komunikacji wojskowej ze strategią transformacji cyfrowej i przywództwem w zakresie innowacji instytucjonalnych, niniejsza praca ma na celu wniesienie zrównoważonej i przyszłościowej perspektywy na przyszłość systemów komunikacji obronnej. Połączenie rygoru akademickiego, wglądu technologicznego i strategicznej dalekowzroczności kształtuje ramy przedstawione w niniejszych rozdziałach.

Ostatecznie książka ta odzwierciedla trwającą podróż akademicką i zawodową poświęconą zrozumieniu, w jaki sposób technologie komunikacyjne nowej generacji zmieniają zdolności operacyjne i stabilność strategiczną. Przejście z 5G na 6G stanowi decydujący moment w ewolucji komunikacji wojskowej. Dzięki ustrukturyzowanej analizie, zintegrowanemu myśleniu architektonicznemu i świadomości strategicznej niniejsza praca ma na celu wniesienie znaczącego wkładu w dyskurs naukowy i praktyczny postęp w tej kluczowej dziedzinie. Mamy nadzieję, że przedstawione tu perspektywy będą zachęcać do dalszych badań, współpracy interdyscyplinarnej i odpowiedzialnych innowacji w zakresie rozwoju bezpiecznych, inteligentnych i odpornych systemów komunikacji wojskowej.

Wprowadzenie

Przemiany systemów łączności wojskowej w ciągu ostatniego stulecia odzwierciedlają szerszą ewolucję samej sztuki wojennej. Od przewodowych linii telegraficznych i analogowych radiostacji polowych po szerokopasmowe sieci satelitarne i sieci definiowane programowo – łączność pozostaje centralnym układem nerwowym organizacji wojskowej. Jednak obecne przejście od zaawansowanych sieci piątej generacji do przewidywanego paradygmatu szóstej generacji stanowi raczej zmianę jakościową niż liniowy postęp technologiczny. Sygnalizuje ono pojawienie się inteligentnych, adaptacyjnych i głęboko zintegrowanych ekosystemów komunikacyjnych, które na nowo definiują relacje między łącznością, władzą dowodzenia, dominacją informacyjną i stabilnością strategiczną. Niniejsza książka analizuje to przejście nie jako wąski rozwój inżynierski, ale jako systemową transformację doktryny, architektury i zdolności operacyjnych komunikacji wojskowej.

Współczesne siły zbrojne działają w środowiskach charakteryzujących się bezprecedensową złożonością. Pole walki ma coraz bardziej wielodomenowy charakter, obejmując ląd, morze, powietrze, przestrzeń kosmiczną i cyberprzestrzeń. Operacje są prowadzone w warunkach ciągłego nadzoru, intensywnego zatłoczenia widma i ciągłej ekspozycji na zagrożenia cybernetyczne. Cykle decyzyjne uległy radykalnemu przyspieszeniu, skracając czas między wykryciem, analizą a reakcją. W tym kontekście systemy łączności nie są już biernymi czynnikami umożliwiającymi koordynację. Stały się one aktywnymi determinantami tempa operacyjnego, świadomości sytuacyjnej i przewagi strategicznej. Zdolność do przesyłania, zabezpieczania, analizowania i podejmowania działań na podstawie informacji w czasie rzeczywistym definiuje skuteczność wojskową w sposób równie decydujący, jak tradycyjne zdolności kinetyczne.

Sieci piątej generacji wprowadziły elementy transformacyjne, takie jak ulepszone mobilne łącza szerokopasmowe, niezwykle niezawodna komunikacja o niskim opóźnieniu, masowa łączność typu maszynowego, wirtualizacja, dzielenie sieci oraz przetwarzanie brzegowe. Możliwości te poszerzyły horyzont zastosowań wojskowych, umożliwiając koordynację dronów w czasie rzeczywistym, zintegrowanie rozproszonych czujników, systemy noszone przez żołnierzy, inteligentną infrastrukturę bazową oraz hybrydowe modele komunikacji satelitarno-naziemnej. Jednak te same cechy, które sprawiają, że 5G jest potężne, wprowadzają również strukturalne słabe punkty. Wirtualizowane płaszczyzny sterowania zwiększają powierzchnię ataku. Rozproszone warstwy koordynacji zwiększają wzajemną zależność systemową. Wspólna infrastruktura cywilna komplikuje planowanie odporności. W rezultacie integracja 5G ze środowiskami wojskowymi wymaga czegoś więcej niż tylko wdrożenia; wymaga strategicznej adaptacji.

Przewidywane pojawienie się systemów komunikacyjnych szóstej generacji zwiększa zarówno możliwości, jak i złożoność. 6G ma być natywne dla sztucznej inteligencji, wyposażone w czujniki, uwzględniające technologię kwantową oraz zintegrowane z

przestrzenią kosmiczną, powietrzną i naziemną. Ma ono na celu osiągnięcie ultra niskiego opóźnienia w skali mikrosekund, ekstremalnej niezawodności zbliżonej do komunikacji deterministycznej, wykorzystania częstotliwości terahercowych oraz płynnej konwergencji między komunikacją a postrzeganiem otoczenia. Takie cechy obiecują rewolucyjny postęp w zakresie koordynacji systemów autonomicznych, rozproszonego dowodzenia i kontroli, zintegrowanego przetwarzania danych wywiadowczych oraz przewagi informacyjnej. Jednak rodzą one również głębokie pytania o charakterze „, „ dotyczące zarządzania, suwerenności, interoperacyjności, odpowiedzialności etycznej oraz długoterminowego ryzyka strategicznego.

Książka ta bada przejście od 5G do 6G w komunikacji wojskowej przez pryzmat kompleksowej i multidyscyplinarnej perspektywy. Rozpoczyna się od umiejscowienia komunikacji w historycznym kontekście doktrynalnym, analizując ewolucję od starszych radiostacji taktycznych i stacjonarnych sieci dowodzenia do mobilnych architektur szerokopasmowych i infrastruktur definiowanych programowo. Ograniczone możliwości tradycyjnych systemów, w tym ograniczenia przepustowości, ograniczona interoperacyjność i podatność na działania wojny elektronicznej, są analizowane w celu wyjaśnienia motywacji do wdrożenia technologii nowej generacji. Analizowane są operacyjne czynniki integracji 5G, w tym łączność na polu walki w czasie rzeczywistym i koordynacja sieciocentryczna, wraz z ich implikacjami strukturalnymi.

Następnie dogłębnie zbadano podstawowe fundamenty techniczne 5G. Zasady architektoniczne, modele wirtualizacji, mechanizmy podziału sieci, integracja przetwarzania brzegowego oraz kategorie usług są badane nie jako odizolowane osiągnięcia inżynierskie, ale jako czynniki umożliwiające transformację doktrynalną. Różnica między cywilnymi a wojskowymi wdrożeniami 5G podkreśla potrzebę wzmocnionych ram bezpieczeństwa, zapewnionej dostępności oraz odporności widma w warunkach walki. Poprzez porównanie tych dziedzin analiza wyjaśnia dostosowania wymagane do wdrożenia operacyjnego w środowiskach obronnych.

Wojskowe zastosowania sieci 5G są oceniane w kontekście taktycznej łączności na polu walki, koordynacji systemów bezzałogowych, sieci żołnierzy wyposażonych w urządzenia noszone, inteligentnej infrastruktury bazowej oraz stanowisk dowodzenia o znaczeniu krytycznym. Aplikacje te ilustrują, w jaki sposób ulepszona łączność zmienia tempo operacyjne i koordynację. Jednak analiza ujawnia również pojawiające się wyzwania związane z bezpieczeństwem, w tym cyberzagrożenia, luki w uwierzytelnianiu, podatność na zakłócenia oraz ryzyko związane z podziałem sieci. Integracja 5G ze starszymi radiostacjami taktycznymi, architekturami C4ISR i hybrydowymi systemami satelitarnymi pokazuje złożoność procesu przejścia bez uszczerbku dla interoperacyjności lub odporności.

W miarę jak dyskusja zmierza w kierunku 6G, uwaga przenosi się na pojawiające się wymagania, które wykraczają poza możliwości obecnych systemów. Wojna oparta na sztucznej inteligencji, koordynacja o ultra niskim opóźnieniu, niedobór widma, zintegrowane czujniki oraz struktury bezpieczeństwa odporne na ataki kwantowe są

analizowane jako imperatywy strategiczne. Przejście z 5G na 6G nie jest przedstawiane jako entuzjazm technologiczny, ale jako odpowiedź na luki operacyjne i zmieniający się krajobraz zagrożeń. Przejście to wymaga przemyślanego planowania, ustrukturyzowanych eksperymentów oraz dostosowania doktryny.

Wizja i podstawowe koncepcje technologii 6G są analizowane pod kątem ich znaczenia dla wojska. Komunikacja terahercowa, architektury sieci oparte na sztucznej inteligencji, zintegrowane systemy wykrywania i komunikacji oraz integracja przestrzeni kosmicznej, powietrza i lądu są analizowane z uwzględnieniem zarówno rozszerzenia możliwości, jak i ryzyka strukturalnego. Kwestie bezpieczeństwa i odporności w sieciach 6G są poruszane poprzez analizę kryptografii postkwantowej, wykrywania włamań opartego na sztucznej inteligencji, odporności na kognitywną wojnę elektroniczną, bezpiecznego autonomicznego podejmowania decyzji oraz modeli zaufania i suwerenności. Elementy te podkreślają, że przyszła przewaga komunikacyjna w erze 6G zależy w równym stopniu od bezpiecznego zarządzania, jak i od wydajności transmisji.

Wpływ operacyjny ocenia się pod kątem ewolucji dowodzenia i kontroli, zwiększonej świadomości sytuacyjnej, przyspieszonych cykli decyzyjnych, wsparcia operacji wielodomenowych oraz dominacji informacyjnej. Analiza podkreśla, że infrastruktura komunikacyjna kształtuje zachowania strategiczne. Szybsza łączność wpływa na doktrynę. Rozproszone wykrywanie wpływa na dynamikę eskalacji. Autonomiczna koordynacja zmienia strukturę władzy. Dlatego też transformacja technologiczna niesie ze sobą konsekwencje, które rozciągają się na dziedziny geopolityczne i etyczne.

Kwestie interoperacyjności i standaryzacji są rozpatrywane z perspektywy koalicji. Standardy komunikacyjne NATO, współistnienie cywilno-wojskowego widma, wyzwania związane z interoperacyjnością sojuszu oraz kwestie regulacyjne pokazują, że przewaga strategiczna zależy od zbiorowego dostosowania. Fragmentacja ekosystemów technologicznych grozi osłabieniem spójności koalicji. Zharmonizowane ścieżki rozwoju wzmacniają zbiorową odporność.

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano etyczne, prawne i strategiczne implikacje sieci nowej generacji, ze szczególnym uwzględnieniem autonomii sztucznej inteligencji, suwerenności danych, zależności od infrastruktury komercyjnej oraz krajobrazu ryzyka strategicznego. Sieci komunikacyjne w coraz większym stopniu przeplatają się z infrastrukturą cywilną i globalnymi łańcuchami dostaw. Ta konwergencja wymaga przejrzystego zarządzania oraz rozwoju zdolności suwerennych w celu ograniczenia podatności systemowej.

Kierunki na przyszłość i wyzwania badawcze są przedstawione poprzez identyfikację otwartych problemów badawczych, potrzebę eksperymentalnych wojskowych platform testowych 6G, rolę współpracy między środowiskiem akademickim a przemysłem obronnym oraz ustrukturyzowane plany działania prowadzące do wdrożenia operacyjnego. Długoterminowa wizja strategiczna jest ujęta jako równowaga między innowacją a odpornością, automatyzacją a odpowiedzialnością,

integracją a suwerennością. W ramach tej szerszej trajektorii badawczej, zorientowana na integrację struktura komunikacyjna zaproponowana przez Rexhepa Mustafovskiego kładzie nacisk na ustrukturyzowaną konwergencję sztucznej inteligencji, szyfrowania odpornego na ataki kwantowe, uwierzytelniania opartego na łańcuchu bloków, adaptacyjnego zarządzania widmem oraz redundancji wielodomenowej w celu zapewnienia bezpiecznej i skutecznej komunikacji we wszystkich warunkach operacyjnych i meteorologicznych.

Nadrzędnym argumentem tej książki jest to, że komunikacja nie jest już tylko wspomagającym podsystemem zdolności wojskowych. Jest to fundamentalny zasób strategiczny, który decyduje o szybkości, dokładności i legitymizacji działań wojskowych. Przejście z 5G na 6G zmienia nie tylko wskaźniki przepustowości i opóźnień, ale także architekturę władzy i strukturę odporności. Instytucje wojskowe muszą zatem podchodzić do wdrażania komunikacji nowej generacji z dyscyplinowaną dalekowzrocznością, rygorystycznymi eksperymentami i kompleksowymi ramami zarządzania.

Modernizacja systemów komunikacyjnych musi przebiegać w sposób zapewniający ciągłość operacyjną, a jednocześnie umożliwiającą innowacje. Stopniowa integracja ze starszymi platformami, zasady architektury „secure-by-design”, adaptacyjne strategie wykorzystania widma oraz środki bezpieczeństwa zgodne z programem „” i gotowe na technologię kwantową stanowią istotne elementy tego procesu. Współpraca między instytucjami badawczymi, przemysłem obronnym, organami regulacyjnymi i sojusznikami wzmacnia wiarygodność technologiczną i spójność strategiczną.

Ostatecznie przyszłość komunikacji wojskowej będzie zależała od zdolności do utrzymania niezawodnej, terminowej i odpornej łączności we wszystkich dziedzinach i w każdych warunkach. Ekstremalne warunki środowiskowe, takie jak zakłócenia elektromagnetyczne, cyberataki i fragmentacja geopolityczna, nie mogą zagrażać koordynacji operacyjnej. Architektura komunikacyjna, która przewiduje zakłócenia i inteligentnie dostosowuje się do niepewności, stanowi strukturalną podstawę trwałej przewagi strategicznej.

Książka ta stanowi kompleksową analizę technologicznych, doktrynalnych i strategicznych aspektów przejścia od 5G do 6G w komunikacji wojskowej. Łącząc analizę inżynierską z prognozowaniem strategicznym, ma ona na celu wniesienie wkładu w ewoluującą dyskusję na temat bezpiecznych, inteligentnych i suwerennych ekosystemów komunikacyjnych. Celem jest nie tylko analiza nowych technologii, ale także osadzenie ich w spójnej wizji odporności, interoperacyjności, etycznego zarządzania i skuteczności operacyjnej.

W erze charakteryzującej się gwałtownym przyspieszeniem technologicznym i złożonymi wyzwaniami w zakresie bezpieczeństwa zdolność do bezpiecznej i niezawodnej komunikacji staje się synonimem zdolności do przewodzenia, koordynowania i odnoszenia zwycięstw. Przejście w kierunku architektur komunikacyjnych opartych na sztucznej inteligencji i uwzględniających technologię kwantową stanowi zarówno szansę, jak i odpowiedzialność. Dzięki uporządkowanej

wdrożenia, skalowalne platformy i systemy gotowe do misji. Strategiczne dostosowanie tych dwóch dziedzin stanowi decydujący czynnik kształtujący trajektorię modernizacji komunikacji wojskowej.

Institucje akademickie są głównymi motorami postępu teoretycznego. Wiele fundamentalnych koncepcji leżących u podstaw technologii 5G i 6G, w tym systemy MIMO o ogromnej skali, modelowanie komunikacji w paśmie terahercowym, optymalizacja z wykorzystaniem uczenia maszynowego oraz kryptografia postkwantowa, powstało w środowiskach badawczych uczelni wyższych. W dziedzinie wojskowości środowisko akademickie odgrywa szczególnie ważną rolę w zgłębianiu długoterminowych zagadnień badawczych, wykraczających poza bieżące cykle zamówień w ramach programu „”. Uniwersytety mogą badać tematy obciążone wysokim ryzykiem, ale dające duże korzyści, takie jak zarządzanie sieciami opartymi na sztucznej inteligencji, architektury zaufania rozproszonego oraz zintegrowane paradygmaty wykrywania, bez ograniczeń związanych z krótkoterminowymi wynikami operacyjnymi.

Kolejny istotny wkład środowiska akademickiego polega na integracji interdyscyplinarnej. Wojskowe badania nad 6G obejmują inżynierię komunikacyjną, cyberbezpieczeństwo, sztuczną inteligencję, etykę, prawo, czynniki ludzkie oraz studia strategiczne. Uniwersytety mają wyjątkową pozycję, aby zgromadzić wiedzę specjalistyczną z tych dziedzin. Na przykład ocena systemów dowodzenia opartych na sztucznej inteligencji wymaga nie tylko biegłości w zakresie algorytmów, ale także zrozumienia teorii decyzji, doktryny operacyjnej i odpowiedzialności etycznej. Środowiska badań akademickich sprzyjają takiemu dialogowi międzydyscyplinarnemu, tworząc holistyczne ramy, które przewidują konsekwencje drugiego rzędu, zamiast skupiać się wyłącznie na technicznych wskaźnikach wydajności.

Środowisko akademickie pełni również funkcję poligonu szkoleniowego dla następnego pokolenia specjalistów. Wdrażanie i ochrona systemów komunikacyjnych opartych na sztucznej inteligencji i gotowych na technologię kwantową wymaga wysoko wykwalifikowanych inżynierów, analityków ds. cyberbezpieczeństwa oraz ekspertów ds. zarządzania widmem. Uniwersytety zapewniają infrastrukturę edukacyjną niezbędną do rozwijania tych kompetencji. Studia podyplomowe i laboratoria badawcze umożliwiają studentom zapoznanie się z nowymi technologiami, zanim osiągną one dojrzałość operacyjną. Ten strumień wiedzy specjalistycznej wspiera suwerenność technologiczną kraju i zmniejsza zależność od zewnętrznych zasobów talentów.

Jednocześnie przemysł obronny odgrywa kluczową rolę w przenoszeniu wyników badań do praktyki. Podczas gdy badania akademickie generują modele koncepcyjne i prototypy eksperymentalne, wykonawcy z sektora obronnego i produkcji sprzętu telekomunikacyjnego przekształcają te koncepcje w wzmocnione systemy gotowe do wdrożenia w terenie. Wojskowe platformy komunikacyjne muszą spełniać rygorystyczne wymagania dotyczące niezawodności, trwałości i certyfikacji. Muszą

one funkcjonować w ekstremalnych warunkach, wytrzymywać zakłócenia elektromagnetyczne i płynnie integrować się ze starszym sprzętem. Podmioty przemysłowe dysponują zdolnościami produkcyjnymi, sieciami łańcucha dostaw i mechanizmami zapewnienia jakości niezbędnymi do dostarczania takich systemów na dużą skalę.

Przemysł obronny zapewnia również kluczowe informacje na temat wykonalności operacyjnej. Partnerzy przemysłowi często współpracują bezpośrednio z organizacjami wojskowymi, uzyskując praktyczne zrozumienie wymagań doktrynalnych i ograniczeń logistycznych. Ta bliskość użytkowników operacyjnych pozwala przemysłowi przekształcić koncepcje akademickie w realistyczną architekturę. Na przykład algorytmy alokacji widma oparte na sztucznej inteligencji, opracowane w środowisku akademickim, muszą być wbudowane w bezpieczne oprogramowanie układowe, zoptymalizowane pod kątem ograniczonych zasobów sprzętowych i zweryfikowane w warunkach czasu rzeczywistego. Wiedza inżynierii przemysłowej gwarantuje, że teoretyczny wzrost wydajności przekłada się na wymierne korzyści operacyjne.

Partnerstwa publiczno-prywatne stanowią szczególnie ważny mechanizm łączący środowisko akademickie z przemysłem. Wspólne ośrodki badawcze, programy doktoranckie oparte na współpracy oraz współfinansowane inicjatywy innowacyjne umożliwiają ciągłą wymianę wiedzy. Takie partnerstwa ułatwiają dostęp do bezpiecznych środowisk testowych i niejawnych danych operacyjnych, które często są niedostępne dla naukowców zajmujących się wyłącznie pracą akademicką. Z kolei instytucje akademickie zapewniają niezależną ocenę i krytyczną analizę twierdzeń przemysłowych, przyczyniając się do wiarygodności technologicznej i odpowiedzialności.

Standaryzacja i rozwój interoperacyjności stanowią kolejny obszar wspólnej odpowiedzialności. W miarę jak siły zbrojne przechodzą na architekturę 6G, dostosowanie do międzynarodowych standardów i ram sojuszu staje się niezbędne. Środowisko akademickie wnosi swój wkład poprzez udział w technicznych grupach roboczych, opracowywanie otwartych protokołów oraz analityczną ocenę powstających specyfikacji. Przemysł obronny wnosi swój wkład poprzez wdrażanie standardowych interfejsów i zapewnianie zgodności w całej gamie produktów. Wspólne zaangażowanie w organach normalizacyjnych zwiększa interoperacyjność i zmniejsza fragmentację w środowiskach koalicyjnych.

Włączenie zaawansowanych mechanizmów bezpieczeństwa, w tym kryptografii postkwantowej i architektury typu zero-trust, dodatkowo ilustruje wzajemną zależność ról środowiska akademickiego i przemysłowego. Naukowcy akademicki rozwijają algorytmy kryptograficzne i formalne metody weryfikacji, podczas gdy przemysł integruje te mechanizmy w bezpieczne moduły sprzętowe i stopy komunikacyjne. Ciągła współpraca gwarantuje, że innowacje w zakresie bezpieczeństwa pozostają praktyczne, skalowalne i odporne na ewoluujące zagrożenia.

Jednak skuteczna współpraca wymaga również rozwiązania wyzwań strukturalnych. Zarządzanie własnością intelektualną, ograniczenia dostępu do danych oraz wymogi dotyczące poświadczeń bezpieczeństwa mogą utrudniać otwartą wymianę wyników badań. Równoważenie przejrzystości z kwestiami bezpieczeństwa narodowego wymaga starannie zaprojektowanych ram zarządzania. Uniwersytety muszą wdrażać solidne polityki bezpieczeństwa badań, podczas gdy przemysł musi wspierać kontrolowaną wymianę informacji, która umożliwi innowacje bez narażania wrażliwych zdolności.

Struktury finansowania mają znaczący wpływ na wyniki współpracy. Długoterminowe programy badawcze wspierane przez agencje obronne zapewniają stabilność akademickich badań nad koncepcjami transformacyjnymi. Jednocześnie konkurencyjne kontrakty przemysłowe zachęcają do szybkiego prototypowania i iteracyjnego udoskonalania. Harmonizacja tych strumieni finansowania zapobiega powielaniu wysiłków i zapewnia spójny postęp technologiczny od badań laboratoryjnych do wdrożenia operacyjnego.

Kolejny kluczowy wymiar dotyczy nadzoru etycznego i odpowiedzialności społecznej. Wojskowe technologie 6G, zwłaszcza te związane z podejmowaniem decyzji opartym na sztucznej inteligencji i wszechobecnym wykrywaniu, rodzą głębokie pytania etyczne. Instytucje akademickie odgrywają istotną rolę w formułowaniu ram normatywnych i przeprowadzaniu niezależnych ocen potencjalnych skutków społecznych. Partnerzy z przemysłu obronnego muszą uwzględnić te kwestie w procesach projektowania produktów i zapewniania zgodności z przepisami. Wspólne opracowywanie wytycznych etycznych zwiększa legitymację i zaufanie publiczne.

Globalny charakter ekosystemów telekomunikacyjnych wprowadza dodatkowe kwestie strategiczne. Współpraca akademicka często obejmuje partnerstwa międzynarodowe, podczas gdy działalność przemysłu obronnego może wiązać się z międzynarodowymi łańcuchami dostaw. Zapewnienie suwerenności technologicznej i odporności w zakresie wymaga skoordynowanych wysiłków w celu zabezpieczenia kluczowych komponentów, rozwoju krajowych zdolności produkcyjnych oraz zmniejszenia zależności strategicznych. Środowisko akademickie wnosi wkład poprzez identyfikację słabych punktów i proponowanie alternatywnych podejść projektowych, podczas gdy przemysł wdraża strategie dywersyfikacji i inwestuje w bezpieczną infrastrukturę produkcyjną.

Oczekuje się, że cykle innowacji w rozwoju 6G ulegną przyspieszeniu w porównaniu z poprzednimi generacjami. Ciągłe aktualizacje oprogramowania, ponowne szkolenie modeli AI oraz dynamiczna rekonfiguracja widma wymagają zwinnych procesów badawczo-rozwojowych. Środowisko akademickie może zapewnić eksperymenty eksploracyjne i udoskonalanie algorytmów, podczas gdy przemysł utrzymuje solidne mechanizmy aktualizacji i zarządzanie cyklem życia. Ta symbiotyczna relacja umożliwi ciągłe doskonalenie bez poświęcania stabilności operacyjnej.

Eksperymentalne platformy testowe stanowią konkretną platformę współpracy. Wspólnie obsługiwane obiekty pozwalają naukowcom akademickim i inżynierom przemysłowym na weryfikację technologii w realistycznych warunkach. Wspólne eksperymenty przyspieszają cykle uczenia się i sprzyjają wzajemnemu zrozumieniu ograniczeń operacyjnych. Takie platformy testowe służą również jako środowiska szkoleniowe dla studentów i inżynierów, wzmacniając ekosystem wymiany wiedzy.

Ze strategicznego punktu widzenia partnerstwo między środowiskiem akademickim a przemysłem obronnym przyczynia się do odporności narodowej i odstraszania. Państwa, które z powodzeniem integrują doskonałość badawczą z potencjałem przemysłowym, mają lepszą pozycję do utrzymania przewagi technologicznej. Z drugiej strony, fragmentaryczna współpraca niesie ze sobą ryzyko powielania działań, braku spójności i strategicznej podatności na zagrożenia. Skoordynowany ekosystem badawczy zapewnia, że innowacje, takie jak zarządzanie oparte na sztucznej inteligencji, komunikacja zabezpieczona kwantowo oraz zintegrowane architektury czujników, przechodzą spójnie od koncepcji teoretycznej do wdrożenia gotowego do misji.

Rola środowiska akademickiego i przemysłu obronnego w kształtowaniu wojskowych systemów 6G wykracza poza rozwój techniczny. Obejmuje ona edukację, standaryzację, etyczne zarządzanie, odporność łańcucha dostaw oraz prognozowanie strategiczne. Ponieważ technologie komunikacyjne stają się coraz bardziej kluczowe dla dowodzenia i kontroli, integracji wywiadowczej oraz operacji wielodomenowych, skuteczność tego partnerstwa będzie miała bezpośredni wpływ na wyniki operacyjne.

Przyszłość wojskowych systemów komunikacyjnych 6G zależy od trwałej, ustrukturyzowanej współpracy między instytucjami akademickimi a podmiotami z przemysłu obronnego. Środowisko akademickie napędza fundamentalne innowacje, integrację interdyscyplinarną i rozwój talentów. Przemysł obronny przekształca te innowacje w solidne, skalowalne i niezawodne operacyjne platformy. Razem tworzą one kompleksowy ekosystem badań i rozwoju, zdolny do sprostania złożonym wyzwaniom zidentyfikowanym w niniejszej publikacji. Poprzez dostosowanie celów strategicznych, wspieranie przejrzystej współpracy i utrzymywanie rygorystycznych eksperymentów środowisko akademickie i przemysł mogą wspólnie kształtować bezpieczne, odporne i zorientowane na misję architektury komunikacyjne dla przyszłych operacji wojskowych.

4. Plan działania na rzecz operacyjnego wdrożenia 6G

Przejęcie od koncepcyjnych wizji 6G do w pełni operacyjnego wdrożenia wojskowego wymaga ustrukturyzowanego, wieloetapowego planu działania, który integruje dojrzwane technologiczne, dostosowanie doktrynalne, ujednoczenie regulacyjne, skalowanie przemysłowe i rozwój kadr. W przeciwieństwie do poprzednich przejęć między generacjami, które koncentrowały się głównie na zwiększonej przepustowości i efektywności widma, ewolucja w kierunku 6G stanowi systemową transformację

infrastruktur komunikacyjnych w inteligentne, wyposażone w czujniki i natywne dla sztucznej inteligencji ekosystemy. W kontekście wojskowym transformacja ta musi być zarządzana ze szczególnym uwzględnieniem odporności, bezpieczeństwa, interoperacyjności i zapewnienia misji. Spójny plan działania wykracza zatem poza kamienie milowe inżynierii i obejmuje wymiar instytucjonalny, strategiczny i operacyjny.

Początkowa faza planu działania koncentruje się na badaniach podstawowych i walidacji architektury. Na tym etapie kluczowe technologie wspomagające, takie jak komunikacja terahercowa, zintegrowane czujniki i komunikacja, koordynacja sieci oparta na sztucznej inteligencji, rozproszona inteligencja brzegowa oraz mechanizmy kryptograficzne postkwantowe, muszą przejść od konstrukcji teoretycznych do sprawdzonych prototypów. Platformy eksperymentalne i środowiska symulacyjne są niezbędne do oceny wydajności w trudnych warunkach elektromagnetycznych, scenariuszach o wysokiej mobilności oraz w kontekstach zniszczonej infrastruktury. Wymagania specyficzne dla wojska, takie jak zapewniona łączność w warunkach zakłóceń, ultra-niskie opóźnienia dla autonomicznej koordynacji oraz bezpieczna łączność wielodomenowa, muszą od samego początku kształtować priorytety badawcze. Faza ta obejmuje również udoskonalenie architektur na poziomie systemu, zapewniając, że pętle sterowania oparte na sztucznej inteligencji, struktury typu zero-trust oraz rozproszone infrastruktury chmurowe mogą współistnieć w środowiskach o znaczeniu krytycznym dla misji.

Równoległe z badaniami technicznymi już na wczesnym etapie realizacji planu działania należy rozpocząć opracowywanie koncepcji doktrynalnych i operacyjnych. Sieci 6G to nie tylko szybsze kanały komunikacyjne, ale także czynniki umożliwiające powstanie nowych paradygmatów operacyjnych. Integracja czujników działających w czasie rzeczywistym, analiz predykcyjnych i autonomicznej koordynacji zmienia sposób realizacji funkcji dowodzenia i kontroli. Planiści wojskowi muszą ocenić, jak będą ewoluować uprawnienia, cykle decyzyjne i synchronizacja sił w ekosystemach komunikacyjnych wzbogaconych o sztuczną inteligencję. Gry wojenne, symulacje cyfrowych bliźniaków i eksperymenty oparte na scenariuszach zapewniają ustrukturyzowane metody oceny implikacji doktrynalnych operacji opartych na 6G. Wnioski wyciągnięte z tych ćwiczeń mają wpływ na projektowanie systemów i zapobiegają rozbieżnościom między rozwiązaniami technologicznymi a realiami operacyjnymi.

Druga faza koncentruje się na przygotowaniu do standaryzacji i dostosowaniu interoperacyjności. Aby mogły zostać przyjęte przez wojsko, systemy 6G muszą integrować się z istniejącymi wdrożeniami 5G, starszymi radiostacjami taktycznymi, sieciami satelitarnymi i infrastrukturą koalicji. Wczesne zaangażowanie w prace organów normalizacyjnych i struktur sojuszu gwarantuje, że powstające specyfikacje odzwierciedlają potrzeby wojskowe. Testy interoperacyjności z architekturami hybrydowymi, w tym systemami HF, VHF, UHF, satelitarnymi i naziemnymi systemami szerokopasmowymi, zmniejszają ryzyko fragmentacji. Na tym etapie nacisk przenosi się z izolowanych wskaźników wydajności na kompatybilność

systemową i spójność międzydomenową. Modułowe definicje interfejsów i zasady otwartej architektury ułatwiają stopniową integrację przy zachowaniu kompatybilności wstecznej.

Zapewnienie bezpieczeństwa staje się coraz ważniejsze w miarę jak prototypy ewoluują w systemy gotowe do wdrożenia. Algorytmy kryptograficzne postkwantowe muszą być walidowane w oparciu o realistyczne modele ataków. Oparte na sztucznej inteligencji mechanizmy wykrywania włamań oraz odporności na kognitywną wojnę elektroniczną wymagają rygorystycznych testów obciążeniowych w celu oceny ich odporności w warunkach adaptacyjnych ataków. Ćwiczenia typu „red teaming” i symulacje ataków pomagają zidentyfikować słabe punkty przed wdrożeniem na dużą skalę. Walidacja bezpieczeństwa nie jest pojedynczym punktem kontrolnym, ale iteracyjnym procesem wbudowanym w cały plan działania. Biorąc pod uwagę strategiczne znaczenie infrastruktury komunikacyjnej, wczesne przyjęcie zasad „secure-by-design” zmniejsza długoterminową ekspozycję na ryzyko systemowe.

Trzeci etap planu działania obejmuje wdrożenia pilotażowe i kontrolowane eksperymenty operacyjne. Ograniczone w skali próby terenowe w wybranych jednostkach wojskowych dostarczają kluczowych informacji zwrotnych dotyczących użyteczności, niezawodności i złożoności integracji. Programy pilotażowe muszą uwzględniać zróżnicowane środowiska operacyjne, w tym scenariusze miejskie, morskie, górskie oraz scenariusze z zakłóceniami elektromagnetycznymi. Dane zebrane podczas tych wdrożeń służą do optymalizacji wydajności i udoskonalenia architektury. Pętle informacji zwrotnej między użytkownikami operacyjnymi, instytucjami badawczymi i partnerami przemysłowymi gwarantują, że dostosowania systemu uwzględniają rzeczywiste ograniczenia, a nie teoretyczne założenia.

Podczas wdrożeń pilotażowych należy również zwrócić uwagę na zarządzanie widmem i dostosowanie regulacyjne. Oczekuje się, że technologie 6G będą wykorzystywać pasma o wyższych częstotliwościach, w tym fale milimetrowe i potencjalnie pasma poniżej teraherców. Planiści wojskowi muszą koordynować działania z krajowymi organami regulacyjnymi w celu zapewnienia przydziałów widma zgodnych zarówno z współistnieniem cywilnym, jak i bezpieczeństwem operacyjnym. Na tym etapie weryfikowane są dynamiczne mechanizmy współdzielenia widma i inteligentne strategie przydziału opracowane we wcześniejszych fazach. Zapewnienie odporności widma w zatłoczonych i spornych środowiskach staje się decydującym czynnikiem przy określaniu skalowalności.

Kolejnym kluczowym etapem jest skalowanie przemysłowe i odporność łańcucha dostaw. Przejście od systemów pilotażowych do zdolności operacyjnych na dużą skalę wymaga niezawodnych procesów produkcyjnych, bezpiecznego pozyskiwania komponentów oraz solidnych procesów zapewnienia jakości. Strategiczne kwestie autonomii muszą kierować strategiami zaopatrzenia w celu zmniejszenia zależności od podatnych na zagrożenia łańcuchów dostaw. Wyniki badań krajowych muszą zostać przełożone na modułowe rozwiązania sprzętowe i programowe, które są w stanie wytrzymać obciążenia operacyjne. Inwestycje w bezpieczną produkcję,

weryfikację integralności oprogramowania układowego oraz infrastrukturę wsparcia cyklu życia zapewniają ciągłość działania w długich okresach wdrażania.

Rozwój kadr i adaptacja organizacyjna stanowią kolejny istotny element planu działania. Sieci 6G wprowadzają natywne dla sztucznej inteligencji mechanizmy sterowania, rozproszone struktury koordynacyjne oraz architektury bezpieczeństwa gotowe na technologię kwantową, które znacznie różnią się od tradycyjnych systemów komunikacyjnych. Personel musi być przeszkolony nie tylko w zakresie obsługi systemów, ale także zarządzania cyberbezpieczeństwem, nadzoru nad sztuczną inteligencją oraz analizy widma. Wojskowe instytucje edukacyjne i akademie techniczne muszą zrewidować programy nauczania, aby odzwierciedlić te nowe kompetencje. Programy ciągłego rozwoju zawodowego zapewniają, że wiedza specjalistyczna ewoluuje wraz z postępem technologicznym.

W miarę rozszerzania wdrożenia ramy zarządzania muszą ewoluować, aby zarządzać złożonością i zachować odpowiedzialność. Zarządzanie siecią oparte na sztucznej inteligencji oraz autonomiczne mechanizmy wspomagania decyzji wymagają przejrzystych mechanizmów audytu i nadzoru. Władze dowodzące muszą zachować znaczącą kontrolę, jednocześnie wykorzystując automatyczną optymalizację. Wytyczne polityki wyjaśniające granice odpowiedzialności między operatorami ludzkimi a systemami sztucznej inteligencji zapobiegają niejasnościom podczas krytycznych incydentów. Ustanowienie struktur zarządzania na wczesnym etapie planu działania gwarantuje, że kwestie etyczne i prawne pozostają zintegrowane, a nie narzucane z mocą wsteczną.

Pełne wdrożenie operacyjne stanowi zwieńczenie planu działania, ale nie oznacza końca rozwoju. Architektura 6G jest z natury adaptacyjna i oparta na oprogramowaniu, co wymaga ciągłych aktualizacji i ponownego szkolenia modeli. Strategie zarządzania cyklem życia muszą uwzględniać mechanizmy bezpiecznych aktualizacji zdalnych, weryfikacji odporności i monitorowania wydajności. Informacje zwrotne z teatrów operacyjnych służą do wprowadzania iteracyjnych ulepszeń. Ciągła innowacyjność staje się nieodłączną cechą ekosystemu komunikacyjnego, a nie okresowym cyklem aktualizacji.

Współpraca międzynarodowa i integracja sojuszy dodatkowo wpływają na trajektorię wdrażania. Siły zbrojne rzadko działają w izolacji, a interoperacyjność koalicji pozostaje priorytetem strategicznym. Zharmonizowane harmonogramy wdrażania i wspólne inicjatywy eksperymentalne zwiększają zbiorowe zdolności. Umowy o współpracy badawczej i wspólne platformy testowe przyspieszają wymianę wiedzy, jednocześnie ograniczając powielanie działań. Dostosowanie do standardów komunikacyjnych sojuszu gwarantuje, że wdrożenie 6G wzmacnia spójność koalicji, a nie wprowadza rozbieżności technologicznych.

Strategiczna prognoza i długoterminowe planowanie odporności muszą towarzyszyć każdemu etapowi wdrażania. Nowe technologie, takie jak obliczenia kwantowe, zaawansowane techniki wojny elektronicznej i manipulacja oparta na sztucznej inteligencji, będą nadal ewoluować. Plan działania musi pozostać elastyczny,

uwzględniając mechanizmy szybkiej reakcji na nieprzewidziane słabe punkty. Ćwiczenia z planowania scenariuszy i integracja danych wywiadowczych dotyczących zagrożeń wspierają adaptację z wyprzedzeniem, a nie reaktywne korygowanie.

Zrównoważony rozwój gospodarczy również kształtuje ścieżkę wdrażania. Infrastruktura 6G wymaga znacznych inwestycji w badania, sprzęt, cyberbezpieczeństwo i szkolenia. Planowanie budżetowe musi równoważyć ambicje z wykonalnością, zapewniając, że wdrożenie nie spowoduje niemożliwych do udźwignięcia obciążeń finansowych. Analizy kosztów i korzyści oceniające zalety operacyjne w stosunku do nakładów inwestycyjnych pomagają w ustalaniu priorytetów. Strategie wdrażania etapowego rozkładają wpływ finansowy na możliwe do opanowania okresy, zachowując jednocześnie strategiczny impet.

Kompleksowy plan działania na rzecz operacyjnego wdrożenia 6G łączy walidację technologiczną, ewolucję doktrynalną, dostosowanie interoperacyjności, zapewnienie bezpieczeństwa, eksperymenty pilotażowe, skalowanie przemysłowe, przygotowanie kadr, rozwój zarządzania oraz ciągłe dostosowywanie. Każdy etap opiera się na poprzednim, tworząc spójny postęp od badań koncepcyjnych do zdolności gotowych do misji. Plan działania uwzględnia fakt, że wdrożenie 6G to nie tylko aktualizacja techniczna, ale systemowa transformacja ekosystemów komunikacji wojskowej.

Pomyślne wdrożenie 6G w środowiskach wojskowych zależy od zdyscyplinowanego planowania, trwałej współpracy i strategicznej dalekowzroczności. Dzięki podziałowi rozwoju na sekwencyjne i współzależne etapy organizacji obronne mogą ograniczyć ryzyko, zachować interoperacyjność i zapewnić odporność. Plan działania przedstawiony w niniejszym rozdziale odzwierciedla zbiorcze spostrzeżenia wynikające z poprzednich rozdziałów niniejszej książki, przekładając wizję na konkretne działania. Dzięki skoordynowanym wysiłkom instytucji badawczych, partnerów z branży obronnej, planistów wojskowych i organów regulacyjnych technologia 6G może przejść od etapu powstających koncepcji do operacyjnego fundamentu przyszłej komunikacji wojskowej.

5. Długoterminowa wizja strategiczna

Długoterminowa wizja strategiczna systemów łączności wojskowej wykracza daleko poza stopniowe ulepszenia technologiczne. Stanowi ona strukturalną transformację w sposobie, w jaki siły zbrojne postrzegają łączność, władzę, odporność, suwerenność i przewagę operacyjną. W miarę jak globalny ekosystem telekomunikacyjny przechodzi od zaawansowanych wdrożeń 5G w kierunku powstającego paradygmatu 6G, instytucje wojskowe muszą przygotować się na przyszłość, w której sieci komunikacyjne nie będą już pasywnymi kanałami transmisji, ale inteligentną, adaptacyjną i wyposażoną w czujniki infrastrukturą, która bezpośrednio wpływa na wyniki strategiczne.

W tej długoterminowej perspektywie 6G to nie tylko generacyjne ulepszenie przepustowości lub opóźnień. To podstawa dla środowiska komunikacyjnego zintegrowanego z wieloma domenami, opartego na sztucznej inteligencji i gotowego na technologię kwantową, zdolnego do utrzymania ciągłości misji w warunkach operacyjnych, w których dochodzi do sporów, pogorszenia warunków i ekstremalnych sytuacji. Przyszłe sieci wojskowe będą funkcjonować jako rozproszone ekosystemy kognitywne. Będą one dynamicznie uczyć się na podstawie wzorców operacyjnych, przewidywać przeciążenia i zakłócenia, autonomicznie optymalizować ścieżki routingu oraz izolować zagrożone segmenty bez zakłócania ogólnej funkcjonalności. Takie zdolności adaptacyjne na nowo definiują przetrwanie i zmieniają paradygmat z reaktywnego przywracania sprawności na proaktywną odporność.

Centralnym filarem tej strategicznej wizji jest konwergencja domen naziemnych, powietrznych i orbitalnych w spójną architekturę komunikacyjną. Integracja przestrzeni kosmicznej, powietrza i ziemi zapewnia nadmiarowość i ciągłość nawet wtedy, gdy określone segmenty infrastruktury są uszkodzone lub stanowią cel ataku. Konstelacje satelitów, platformy na dużych wysokościach, mobilne węzły naziemne i klastry przetwarzania brzegowego utworzą wielowarstwowe architektury, które zapobiegą powstawaniu pojedynczych punktów awarii. Długoterminowym celem jest osiągnięcie zdolności do nieprzerwanej komunikacji w ramach systemu „” na wszystkich teatrach operacyjnych, niezależnie od izolacji geograficznej, zniszczenia infrastruktury lub wrogich zakłóceń elektronicznych.

Odporność na warunki środowiskowe musi również stanowić integralną część przyszłej doktryny komunikacyjnej. Siły zbrojne działają w zróżnicowanych i często ekstremalnych warunkach pogodowych, takich jak obfite opady, upał pustylny, teren górzysty, wilgoć morska i mróz polarny. Przyszła architektura 6G musi uwzględniać adaptacyjne sterowanie przebiegiem fali, inteligentne formowanie wiązki oraz dynamiczne zarządzanie mocą, aby zachować stabilność w takich warunkach. Systemy łączności muszą być w stanie zapewnić bezpieczną wymianę danych nie tylko podczas aktywnych konfliktów, ale także podczas klęsk żywiołowych i misji humanitarnych. Strategiczna konieczność jest jasna: łączność musi pozostać skuteczna, terminowa i niezawodna w każdym scenariuszu operacyjnym i środowiskowym.

Architektura bezpieczeństwa stanowi podstawę długoterminowej rentowności strategicznej. Przewidywane dojrzewanie informatyki kwantowej stanowi bezpośrednie wyzwanie dla klasycznych systemów kryptograficznych. Dlatego proaktywna integracja mechanizmów kryptograficznych postkwantowych z infrastrukturą komunikacji wojskowej nie jest opcjonalna, ale niezbędna. Długoterminowa wizja wymaga, aby struktury szyfrowania były odporne na przyszłe przełomy obliczeniowe. Jednocześnie zasady zerowego zaufania i modele uwierzytelniania rozproszonego muszą zostać wbudowane w podstawowe warstwy projektu sieci. Bezpieczeństwo nie może być już traktowane jako zewnętrzna tarcza; musi stać się nieodłączną zasadą architektury.

Sztuczna inteligencja będzie odgrywać coraz bardziej decydującą rolę w koordynowaniu ekosystemów komunikacyjnych. Zarządzanie siecią oparte na sztucznej inteligencji umożliwi konserwację predykcijną, adaptacyjne przydzielanie widma, wykrywanie anomalii i optymalizację ruchu. Jednak wizja strategiczna musi równoważyć automatyzację z odpowiedzialnością. Mechanizmy nadzoru ludzkiego pozostają niezbędne do utrzymania odpowiedzialności etycznej i kontroli operacyjnej. Przejrzysta ocena algorytmiczna i weryfikowalne ramy wsparcia decyzji gwarantują, że sztuczna inteligencja wzmacnia, a nie zastępuje autorytatywne struktury dowodzenia. Ta zrównoważona interakcja między ludzkim osądem a wydajnością maszyn stanowi cechę charakterystyczną przyszłej doktryny komunikacji wojskowej.

W tym ewoluującym krajobrazie technologicznym kierunek badań wytyczony przez Rexhepa Mustafovskiego wpisuje się w pojawiające się globalne trendy w zakresie architektur komunikacyjnych opartych na sztucznej inteligencji i gotowych na technologię kwantową. Dzięki ustrukturyzowanej integracji sztucznej inteligencji, uwierzytelniania opartego na łańcuchu bloków, protokołów kryptograficznych postkwantowych, adaptacyjnego zarządzania widmem oraz ram łączności wielodomenowej, proponowany model komunikacji ma na celu zapewnienie bezpiecznej i odpornej ciągłości operacyjnej w każdych warunkach. Nacisk kładziony jest na zintegrowany projekt architektury, a nie na izolowane ulepszenia technologiczne.

Strategiczne podejście proponowane przez Rexhepa Mustafovskiego odzwierciedla wysiłek zmierzający do syntezy najnowocześniejszych technologii w spójną doktrynę operacyjną, zdolną do zapewnienia skutecznej i terminowej komunikacji w spornych środowiskach elektromagnetycznych, ekstremalnych scenariuszach meteorologicznych oraz dynamicznie ewoluujących polach walki obejmujących wiele domen (multi-). Dzięki wzbudowaniu adaptacyjnej inteligencji i suwerennych mechanizmów zaufania kryptograficznego bezpośrednio w proces komunikacji, ramy te przewidują przyszłe zdolności przeciwnika i systemowe słabe punkty. Takie dostosowanie do współczesnej ewolucji technologicznej wzmacnia znaczenie i przydatność proponowanych rozwiązań w ramach długoterminowego planowania strategicznego.

Wizja długoterminowa uznaje również znaczenie suwerenności technologicznej. Globalne ekosystemy telekomunikacyjne są kształtowane przez międzynarodowe łańcuchy dostaw, cykle innowacji komercyjnych oraz ramy regulacyjne, które nie zawsze są zgodne z priorytetami obrony narodowej. Przyszłe systemy łączności wojskowej muszą zatem równoważyć integrację z innowacjami komercyjnymi z potrzebą autonomii strategicznej. Suwerenna kontrola nad kluczowymi komponentami, bezpieczne procesy produkcyjne oraz niezależna weryfikacja mechanizmów bezpieczeństwa zwiększają odporność krajową i zmniejszają narażenie na presję geopolityczną.

Interoperacyjność pozostanie czynnikiem decydującym w wielonarodowych operacjach wojskowych. W miarę ewolucji sojuszy i rozszerzania się misji

koalicyjnych architektury komunikacyjne muszą ułatwiać bezpieczną wymianę danych w zróżnicowanych środowiskach technologicznych. Modułowa konstrukcja systemów, znormalizowane interfejsy i bezpieczne bramy międzydomenowe umożliwią elastyczną współpracę przy zachowaniu granic klasyfikacji. Długoterminowa wizja strategiczna wymaga stałego zaangażowania w międzynarodowe działania normalizacyjne w celu zapewnienia kompatybilności bez narażania bezpieczeństwa.

Kolejny wymiar horyzontu strategicznego dotyczy zrównoważonego rozwoju energetycznego i odporności logistycznej. Zaawansowane infrastruktury 6G, wykorzystujące nadajniki-odbiorniki wysokiej częstotliwości, akceleratory AI oraz rozproszone klastry brzegowe, będą wymagały znacznych zasobów energetycznych. Integracja rozwiązań opartych na energii odnawialnej, optymalizacja zużycia poprzez inteligentne planowanie oraz projektowanie modułów komunikacyjnych o niskim poborze mocy przyczyniają się do długoterminowej zrównoważonej eksploatacji. Zrównoważona infrastruktura nie tylko zwiększa odpowiedzialność środowiskową, ale także wzmacnia odporność w odległych i trudnych warunkach wdrożeń.

Ciągłe eksperymenty i adaptacyjne cykle rozwoju stanowią integralną część tej wizji. Przyspieszenie technologiczne wymaga iteracyjnej walidacji, wdrożeń pilotażowych i ustrukturyzowanych mechanizmów informacji zwrotnej. Symulacje cyfrowych bliźniaków, próby terenowe i oceny typu „red team” dostarczają kluczowych informacji na temat wydajności systemu w warunkach stresu wywołanego działaniami przeciwnika. Długoterminowa odporność zależy od zdolności do wyciągania wniosków z danych operacyjnych i wdrażania ulepszeń bez destabilizowania wdrożonej infrastruktury.

Równie istotne są edukacja i rozwój talentów. Przyszły ekosystem komunikacyjny wymaga specjalistów posiadających umiejętności w zakresie inżynierii cyberbezpieczeństwa, zarządzania sztuczną inteligencją, analizy widma oraz integracji systemów. Inwestycje w partnerstwa akademickie i specjalistyczne programy szkoleniowe gwarantują, że kapitał ludzki ewoluuje wraz z innowacjami technologicznymi. Trwała przewaga strategiczna zależy nie tylko od zaawansowanego sprzętu i oprogramowania, ale także od kompetentnych operatorów i decydentów.

Szersze otoczenie geopolityczne musi również wpływać na długoterminowe planowanie strategiczne. Konkurencja technologiczna między światowymi mocarstwami wpływa na trajektorie standaryzacji, dostęp do łańcucha dostaw oraz dynamikę sojuszy. Strategiczna prognoza musi przewidywać potencjalną fragmentację globalnych ekosystemów komunikacyjnych i przygotowywać strategie adaptacyjne, które zachowają interoperacyjność i odporność.

Długoterminowa wizja strategiczna wojskowych systemów łączności 6G opiera się na odporności, suwerenności, interoperacyjności, inteligentnej automatyzacji i etycznym zarządzaniu. Uznaje ona, że sieci komunikacyjne stały się decydującymi czynnikami skuteczności operacyjnej i stabilności strategicznej. Poprzez dostosowanie badań, rozwoju przemysłowego i ewolucji doktrynalnej do pojawiających się trendów

technologicznych oraz poprzez integrację zaawansowanych technologii w spójne ramy zaprojektowane z myślą o niezawodności w każdych warunkach, wizja ta ma na celu wniesienie istotnego wkładu w rozwój bezpiecznych i gotowych na przyszłość wojskowych systemów komunikacyjnych.

Perspektywa zorientowana na integrację, przedstawiona przez Rexhepa Mustafovskiego, odzwierciedla zaangażowanie w dostosowywanie się do współczesnych osiągnięć technologicznych, proponując jednocześnie ustrukturyzowane i możliwe do wdrożenia rozwiązania. Dzięki połączeniu sztucznej inteligencji, odporności kwantowej, adaptacyjnego zarządzania widmem i redundancji wielodomenowej, praca ta ma na celu wzmocnienie skuteczności komunikacji w każdym środowisku operacyjnym. W ten sposób komunikacja wojskowa jest postrzegana nie tylko jako funkcja wspierająca, ale jako fundamentalny filar zdolności strategicznych w nadchodzących dziesięcioleciach.

FOR AUTHOR USE ONLY

Wnioski

W niniejszej książce przechodzenie od 5G do 6G w komunikacji wojskowej zostało przeanalizowane jako transformacja systemowa, a nie jako liniowa modernizacja technologiczna. W poszczególnych rozdziałach wykazano, że sieci komunikacyjne nowej generacji to nie tylko platformy do szybszej transmisji danych, ale fundamentalne czynniki umożliwiające realizację doktryny operacyjnej, odporność strategiczną, koordynację wielodomenową oraz długoterminową suwerenność. Kluczowe wnioski wynikające z tej kompleksowej analizy potwierdzają, że ewolucja w kierunku architektur natywnych dla sztucznej inteligencji, gotowych na technologię kwantową oraz zintegrowanych w przestrzeni kosmicznej, powietrznej i naziemnej stanowi decydujący punkt zwrotny w modernizacji wojskowych systemów łączności.

Podsumowanie kluczowych ustaleń ujawnia kilka powiązanych ze sobą wniosków. Po pierwsze, starsze systemy łączności taktycznej, choć historycznie skuteczne w swoim zakresie operacyjnym, są strukturalnie ograniczone pod względem przepustowości, interoperacyjności, zdolności adaptacyjnych i odporności na współczesne zagrożenia cybernetyczne i elektroniczne. Ich architektura nie została zaprojektowana z myślą o operacjach wymagających intensywnego przetwarzania danych w czasie rzeczywistym, rozproszonym wykrywaniu ani autonomicznej koordynacji platform. W miarę jak środowisko operacyjne rozszerzało się na teatry działań wielodomenowych, charakteryzujące się zatłoczeniem widma i ciągłą ekspozycją cybernetyczną, ograniczenia te stały się strategicznie istotne.

Po drugie, integracja technologii 5G ze środowiskami wojskowymi wprowadziła przełomowe możliwości. Ulepszone mobilne łącza szerokopasmowe umożliwiły strumieniowanie wideo w wysokiej rozdzielczości oraz fuzję danych z czujników niemal w czasie rzeczywistym. Niezwykle niezawodna komunikacja o niskim opóźnieniu wspierała koordynację bezałogowych statków powietrznych i pojazdów naziemnych. Ogromna łączność typu maszynowego ułatwiła wdrażanie rozproszonych czujników i inteligentnej infrastruktury bazowej. Wirtualizacja i dzielenie sieci na segmenty (network slicing) umożliwiły segmentację krytyczną dla misji oraz zarządzanie ruchem z priorytetami. Jednak książka wykazała również, że korzyści te wiążą się z wyzwaniem strukturalnymi. Wirtualizowane płaszczyzny sterowania zwiększają potencjalną powierzchnię ataku. Konwergencja infrastruktury cywilnej i wojskowej wprowadza wspólne obszary podatności. Dynamiczny charakter architektury definiowanej programowo wymaga zaawansowanych modeli zarządzania i bezpieczeństwa.

Po trzecie, czynniki operacyjne napędzające rozwój 6G nie są oparte na aspiracjach, ale na konieczności. Pojawiające się wymagania wojskowe wymagają ekstremalnej niezawodności, deterministycznego opóźnienia, adaptacyjnego przydziału widma, zintegrowanych zdolności wykrywania oraz struktur szyfrowania odpornych na ataki kwantowe. Przyspieszenie cykli decyzyjnych, szczególnie w ramach struktur dowodzenia i kontroli wspieranych przez sztuczną inteligencję, wymaga systemów komunikacyjnych zdolnych do utrzymania responsywności na poziomie mikrosekund.

Zagęszczenie urządzeń i czujników wymaga zaawansowanej efektywności widma oraz inteligentnej koordynacji zasobów. Wrogie zdolności w zakresie wojny elektronicznej wymagają adaptacyjnych i kognitywnych mechanizmów obronnych wbudowanych w samą architekturę komunikacyjną.

Analiza podstawowych koncepcji 6G wykazała, że sztuczna inteligencja stanie się raczej zasadą architektoniczną niż warstwą optymalizacyjną. Sieci oparte na sztucznej inteligencji obiecują samokonfigurację, konserwację predykcijną, wykrywanie anomalii oraz dynamiczne zarządzanie topologią i . Zintegrowane systemy wykrywania i komunikacji zacierają granicę między łącznością a świadomością otoczenia. Komunikacja w paśmie terahercowym poszerza horyzonty przepustowości, ale wiąże się z wyzwaniami związanymi z propagacją sygnału, wymagającymi zaawansowanego kształtowania wiązki i modelowania środowiska. Integracja przestrzeni kosmicznej, powietrza i ziemi zapewnia nadmiarowość i ciągłość działania, ale wymaga zharmonizowanej koordynacji w heterogenicznych domenach opóźnień.

Kwestie bezpieczeństwa stanowią jeden z najbardziej decydujących tematów niniejszej pracy. Przewidywane dojrzewanie informatyki kwantowej wprowadza długoterminowe ryzyko kryptograficzne, co sprawia, że proaktywne wdrożenie algorytmów postkwantowych staje się koniecznością. Struktury typu zero-trust oraz rozproszone mechanizmy uwierzytelniania muszą być wbudowane w fundamenty architektury. Odporność na kognitywną wojnę elektroniczną oraz systemy wykrywania włamań oparte na sztucznej inteligencji muszą przewidywać manipulacje przeciwnika, a nie jedynie reagować na zdarzenia włamaniowe. W książce podkreślono, że bezpieczeństwo musi być nieodłącznym, a nie dodatkowym elementem projektowania komunikacji nowej generacji.

Wykazano, że interoperacyjność i standaryzacja są strategicznymi imperatywami. Operacje koalicyjne wymagają zharmonizowanych standardów komunikacyjnych i bezpiecznych mechanizmów wymiany międzydomenowej. Rozbieżności w ramach regulacyjnych i ekosystemach technologicznych niosą ze sobą ryzyko fragmentacji. Przejście z 5G na 6G musi zatem być dostosowane do struktur sojuszu i wielonarodowych działań w zakresie zarządzania. Współistnienie cywilno-wojskowego widma i współdzielenie infrastruktury wprowadzają dodatkową złożoność, którą należy zarządzać poprzez ustrukturyzowaną współpracę regulacyjną.

Strategiczne znaczenie przejścia z 5G na 6G wykracza poza modernizację techniczną. Sieci komunikacyjne kształtują obecnie tempo operacyjne, podział uprawnień dowodzenia oraz dominację informacyjną. Zdolność do utrzymania bezpiecznej i ciągłej łączności ma bezpośredni wpływ na wiarygodność odstraszenia i stabilność eskalacji. W środowiskach objętych konfliktem odporność komunikacyjna decyduje o tym, czy skoordynowane działania mogą być kontynuowane w warunkach zakłóceń. Ponieważ działania wojenne w coraz większym stopniu opierają się na danych, przewaga informacyjna staje się synonimem przewagi operacyjnej.

Ponadto konwergencja cywilnych i wojskowych ekosystemów technologicznych ma głębokie implikacje geopolityczne. Uzależnienie od zglobalizowanych łańcuchów dostaw rodzi obawy dotyczące suwerenności. Fragmentacja standardów technologicznych może na nowo zdefiniować spójność sojuszy. Wspólna infrastruktura komplikuje planowanie odporności i dynamikę eskalacji. Strategiczne znaczenie systemów komunikacyjnych nowej generacji leży zatem nie tylko w wydajności na polu bitwy, ale także w stabilności krajowej i międzynarodowej.

Plan działania prowadzący do operacyjnego wdrożenia 6G wymaga zdyscyplinowanego postępu poprzez walidację badawczą, eksperymenty pilotażowe, dostosowanie interoperacyjności, skalowanie przemysłowe, rozwój kadr oraz dojrzewanie systemów zarządzania. Eksperymentalne platformy testowe, cyfrowe bliźniaki oraz integracja infrastruktury hybrydowej są niezbędne do testowania odporności architektury opartej na sztucznej inteligencji w realistycznych warunkach walki. Współpraca między środowiskiem akademickim a przemysłem obronnym przyspiesza innowacje, zapewniając jednocześnie wykonalność operacyjną.

Długoterminowa wizja strategiczna przedstawiona w niniejszej książce podkreśla, że komunikacja musi pozostać skuteczna we wszystkich warunkach operacyjnych, w tym w ekstremalnych warunkach meteorologicznych, przy przeciążeniu widma, cyberatakach i degradacji infrastruktury fizycznej. Adaptacyjne sterowanie przebiegiem, rozproszona redundancja wielodomenowa, szyfrowanie odporne na ataki kwantowe oraz koordynacja oparta na sztucznej inteligencji nie są opcjonalnymi ulepszeniami, ale strukturalnymi koniecznościami dla przyszłych ekosystemów komunikacji wojskowej.

W tych szerszych ramach strategicznych podejście zorientowane na integrację, zaproponowane przez Rexhepa Mustafovskiego, kładzie nacisk na uporządkowaną konwergencję sztucznej inteligencji, uwierzytelniania opartego na łańcuchu bloków, bezpieczeństwa kryptograficznego postkwantowego, adaptacyjnego zarządzania widmem oraz łączności wielodomenowej w celu zapewnienia odpornej i terminowej komunikacji we wszystkich warunkach operacyjnych i środowiskowych. Ta perspektywa integracji jest zgodna z pojawiającymi się globalnymi trendami badawczymi, oferując jednocześnie praktyczne ścieżki prowadzące do bezpiecznego i suwerennego wdrożenia.

W końcowych uwagach na temat przyszłej komunikacji wojskowej należy uznać, że samo przyspieszenie technologiczne nie gwarantuje przewagi strategicznej. Innowacje bez odpowiedniego zarządzania wprowadzają niestabilność. Automatyzacja bez nadzoru grozi utratą odpowiedzialności. Łączność bez odporności prowadzi do systemowej podatności na zagrożenia. Dlatego przyszłość komunikacji wojskowej musi kierować się zasadami suwerenności, interoperacyjności, odpowiedzialności etycznej i odporności strukturalnej.

Sztuczna inteligencja będzie nadal rozszerzać swoją rolę w zarządzaniu sieciami i wspieraniu decyzji. Jednak centralne znaczenie muszą zachować autorytet ludzki i jasność doktrynalna. Ramy bezpieczeństwa postkwantowego muszą przejść od badań

teoretycznych do wdrożenia operacyjnego, zanim nastąpią przełomowe odkrycia przeciwników. Zintegrowane systemy wykrywania muszą podlegać regulacjom, aby zapobiegać błędnej interpretacji i eskalacji. Architektury kosmiczne, powietrzne i naziemne muszą równoważyć nadmiarowość z zarządzaniem złożonością.

Zrównoważona integracja energetyczna i odporność środowiskowa muszą również kształtować planowanie infrastruktury. Systemy łączności wdrażane w odległych lub trudnych warunkach wymagają energooszczędnych projektów i adaptacyjnego zarządzania energią. Odporność meteorologiczna, w tym działanie podczas trudnych warunków pogodowych lub zaburzeń atmosferycznych, musi zostać uwzględniona w parametrach projektowych przebiegów i sprzętu.

Edukacja i rozwój kapitału ludzkiego stanowią fundamentalne filary długoterminowego sukcesu. Inżynierowie, specjaliści ds. cyberbezpieczeństwa i dowódcy operacyjni muszą rozumieć transformację strukturalną zachodzącą w ekosystemach komunikacyjnych. Ciągłe szkolenia i współpraca interdyscyplinarna zapewniają, że potencjał instytucjonalny ewoluuje wraz z postępem technologicznym.

Podsumowując, przejście z 5G na 6G w komunikacji wojskowej stanowi jedną z najbardziej znaczących transformacji technologicznych we współczesnym środowisku bezpieczeństwa. Zmienia ono struktury dowodzenia, przyspiesza cykle decyzyjne i na nowo definiuje dominację informacyjną. Wprowadza nowe słabe punkty, oferując jednocześnie bezprecedensowe możliwości operacyjne. Wyzwaniem strategicznym jest integracja zaawansowanych technologii w spójnych, odpornych i zarządzanych zgodnie z zasadami etyki architekturach.

Przyszłe systemy łączności wojskowej muszą być inteligentne, a jednocześnie kontrolowane, adaptacyjne, a jednocześnie bezpieczne, interoperacyjne, a jednocześnie suwerenne. Dzięki uporządkowanej integracji, rygorystycznym eksperymentom i strategicznej dalekowzroczności transformacja w kierunku 6G może wzmocnić odporność operacyjną i zapewnić długoterminową stabilność strategiczną. Ewolucja omówiona w niniejszej książce nie jest końcem modernizacji, ale fundamentem nowej doktryny łączności na nadchodzące dziesięciolecie.

Bibliografia

1. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna łączności wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i łączności we współczesnych siłach zbrojnych*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-23709-6.
2. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy łączności dla współczesnych operacji wojskowych – podstawy, technologie i kierunki rozwoju*, wydanie pierwsze, LAP LAMBERT Academic Publishing, Ryga, Łotwa, 2025, ISBN 978-620-9-27053-6.
3. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna komunikacji wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i łączności we współczesnych siłach zbrojnych*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-52219-2.
4. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna łączności wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i łączności we współczesnych siłach zbrojnych*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-52475-2.
5. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna komunikacji wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i komunikacji we współczesnych siłach zbrojnych*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-52987-0.
6. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Sapienza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-52731-9.
7. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna łączności wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i łączności we współczesnych siłach zbrojnych*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-53243-6.
8. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna komunikacji wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i komunikacji we współczesnych siłach zbrojnych*, Wydawnictwo Unser Wissen, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-51963-5.
9. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy komunikacyjne dla nowoczesnych operacji wojskowych – Podstawy, technologie i przyszłe kierunki*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-57812-0.
10. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy komunikacji dla nowoczesnych operacji wojskowych – Podstawy, technologie i przyszłe kierunki*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-56532-8.

11. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy komunikacyjne dla współczesnych operacji wojskowych – podstawy, technologie i perspektywy na przyszłość*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-56788-9.
12. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy łączności dla współczesnych operacji wojskowych – Podstawy, technologie i kierunki rozwoju*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-58836-5.
13. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy łączności dla współczesnych operacji wojskowych – podstawy, technologie i kierunki rozwoju*, Wydawnictwo Sapientia, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-57556-3.
14. Mustafovski, Rexhep., *Bezpieczne systemy łączności dla współczesnych operacji wojskowych – Podstawy, technologie i kierunki rozwoju*, Wydawnictwo Notre Savoier, Ryga, Łotwa, 2026, ISBN 978-620-9-57044-5.
15. Mustafovski, Rexhep., „Charakterystyka taktyczno-techniczna i organizacja stacji łączności z pojazdem dowodzenia „Chevrolet Tahoe””, *STIT*, 196 (2), 2026, s. 28–29, ISSN 1857-6710.
16. Mustafovski, Rexhep., „Symulacje szkolenia logistycznego w operacjach wojskowych”, *STIT*, 195 (1), 2026, s. 32–34, ISSN 1857-6710.
17. Mustafovski, Rexhep i Petrovski, Aleksandar., „Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie globalnych systemów nawigacji satelitarnej: badanie porównawcze systemów GPS, GLONASS i Galileo”, *Contemporary Macedonian Defence*, 25 (49), 2025, s. 119–132, ISSN 1409-8199.
18. Mustafovski, Rexhep., „Architektura platformy komunikacyjnej bezzałogowych statków powietrznych zorientowanej na misję”, *Automation of Technological and Business Processes*, 17 (3), 2025, s. 44–58, ISSN 2312-3125 (wersja drukowana), 2312-931X (wersja online).
19. Mustafovski, Rexhep., „Zintegrowany model sieci komunikacyjnej o ograniczonym dostępie z dostępem VPN dla współczesnych operacji wojskowych”, *STIT*, 194 (12), 2025, s. 34–36, ISSN 1857-6710.
20. Mustafovski, Rexhep., „Nowoczesne platformy technologii informacyjno-komunikacyjnych: rozwój zarządzania SecuDroneComm”, *Management Science Advances*, online (1), 2025, s. 1–10, ISSN 3042-2205.
21. Mustafovski, Rexhep., „Zintegrowany zaawansowany model koncepcyjny dla łączności wojskowej”, *STIT*, 193 (11), 2025, s. 34–35, ISSN 1857-6710.
22. Mustafovski, Rexhep., „Wi-OPS: zintegrowana platforma do śledzenia wojskowego”, *STIT*, 192 (10), 2025, s. 34–35, ISSN 1857-6710.
23. Mustafovski, Rexhep., „PoWiFi: wydajność czujników dzięki bezprzewodowemu zasilaniu”, *STIT*, 191 (9), 2025, s. 34–35, ISSN 1857-6710.

24. Mustafovski, Rexhep., „Widzenie przez ściany: zastosowanie sygnałów Wi-Fi i sztucznej inteligencji do wykrywania osób w ukrytych przestrzeniach”, *STIT*, 190 (8), 2025, s. 36–37, ISSN 1857-6710.
25. Mustafovski, Rexhep., „Urządzenie radiowe „9661 HF” – nowoczesny system łączności dla taktycznych i operacyjnych misji wojskowych”, *STIT*, 189 (7), 2025, s. 34–35, ISSN 1857-6710.
26. Mustafovski, Rexhep., „Inmarsat” – łączność satelitarna w jednostkach taktycznych i operacyjnych, *STIT*, 188 (6), 2025, s. 20–21, ISSN 1857-6710.
27. Mustafovski, Rexhep., „Przyszłość łączności wojskowej”, *STIT*, 187 (5), 2025, s. 22–23, ISSN 1857-6710.
28. Mustafovski, Rexhep., „Wojna elektroniczna i zakłócacze częstotliwości radiowych – kluczowe technologie dla współczesnych operacji wojskowych”, *STIT*, 186 (4), 2025, s. 24–25, ISSN 1857-6710.
29. Mustafovski, Rexhep., „Modelowanie systemów wykrywania bezałogowych statków powietrznych”, *STIT*, 185 (3), 2025, s. 26–27, ISSN 1857-6710.
30. Mustafovski, Rexhep., „Wykorzystanie urządzenia radiowego „RF-7800V-HH” w jednostkach taktycznych”, *STIT*, 184 (2), 2025, s. 44–45, ISSN 1857-6710.
31. Mustafovski, Rexhep., „Szyfrowany telefon VoIP „Aselsan 2121” – postęp technologiczny w zakresie bezpiecznej, taktycznej i strategicznej łączności”, *STIT*, 183 (1), 2025, s. 44–45, ISSN 1857-6710.
32. Mustafovski, Rexhep., „Wielofunkcyjny wojskowy telefon polowy „Aselsan 6200” o zaawansowanych możliwościach”, *STIT*, 182 (12), 2024, s. 45, ISSN 1857-6710.
33. Mustafovski, Rexhep., „Mobilny system walki elektronicznej z wykorzystaniem radaru „KORAL II””, *STIT*, 180 (10), 2024, s. 44–46, ISSN 1857-6710.
34. Mustafovski, Rexhep i Petrovski, Aleksandar., „Moduł lokalizacji celów oparty na wizji komputerowej z wykorzystaniem kąta do ulepszonego nadzoru wojskowego”, *Scientific Technical Review*, 74 (2), 2024, s. 32–37, ISSN 2683-5770.
35. Mustafovski, Rexhep, Petrovski, Aleksandar, Radovanović, Marko i Jokić, Željko., „Inteligentne platformy modułowe dla szkolenia strzeleckiego nowej generacji”, *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, s. 41–51, ISSN 2683-5770.
36. Mustafovski, Rexhep., „Ocena wpływu operacyjnego SecuDroneComm: oparta na symulacji ocena bezpiecznej komunikacji bezałogowych statków

- powietrznych w środowiskach wojskowych”, *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, s. 11–18, ISSN 2683-5770.
37. Mustafovski, Rexhep i Petrovski, Aleksandar., „Włączanie technologii kwantowych do mobilnych systemów wojskowych i struktur TOC”, *Przegląd Akademii Sił Lądowych i Sił Powietrznych (Land Forces Academy Review)*, 30 (3), 2025, s. 466–478, ISSN 3100-5063 (wersja drukowana), 3100-5071 (wersja online).
38. Mustafovski, Rexhep., „Porównanie najnowocześniejszych czujników w kontekście Przemysłu 4.0, Przemysłu 5.0 oraz tanich technologii monitorowania”, *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, wydanie internetowe, 2025, s. 1–14, ISSN 3009-3309.
39. Mustafovski, Rexhep., „Symulacja bezpieczeństwa i szybkości: ocena porównawcza platformy MobileSecureComm w stosunku do starszych systemów łączności taktycznej”, *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 3 (1), 2025, s. 147–157, ISSN 3009-3309.
40. Mustafovski, Rexhep., „Wykorzystanie platform komunikacyjnych w operacjach wojskowych: zwiększanie skuteczności strategicznej i taktycznej”, *Database Systems Journal*, 16 (1), 2025, s. 1–10, ISSN 2069-3230.
41. Mustafovski, Rexhep., „Najnowsze porównanie MobileSecureComm z nowoczesnymi platformami bezpiecznej komunikacji dla operacji taktycznych”, *Balkan Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 8 (1), 2025, s. 87–98, ISSN 2545-4803.
42. Mustafovski, Rexhep., „Integracja wizji komputerowej z algorytmem YOLOv8 dla PID: analiza najnowszych osiągnięć”, *Contemporary Macedonian Defence*, 48 (1), 2025, s. 83–94, ISSN 1409-8199.
43. Mustafovski, Rexhep, Petrovski, Aleksandar i Radovanović, Marko., „Zmiany klimatyczne i ich wpływ na poligon wojskowy Krivolak w XXI wieku: wyzwania, adaptacja i rola inteligentnych technologii wojskowych”, *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, str. 12–18, ISSN 3042-0474.
44. Mustafovski, Rexhep., „Rozwój SecuDroneComm: Analiza porównawcza najnowszych osiągnięć z wykorzystaniem nowoczesnych platform ICT do bezpiecznej komunikacji”, *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, s. 61–70, ISSN 2466-4693.
45. Mustafovski, Rexhep., „Oparte na formułach ramy architektoniczne platformy SecuDroneComm do komunikacji bezzałogowych statków powietrznych”, *Management Science Advances*, 2 (1), 2025, s. 288–303, ISSN 3042-2205.
46. Mustafovski, Rexhep., „System wczesnego ostrzegania i reagowania na zagrożenia biologiczne (BEAR-CS)”, *Automation of Technological and*

Business Processes, 17 (1), 2025, ISSN 2312-3125 (wersja drukowana), 2312-931X (wersja online).

47. Mustafovski, Rexhep., „Cyfrowa płytka rozwojowa do wykrywania obiektów w bliskim zasięgu z wykorzystaniem techniki ukrywania danych steganograficznych”, *Journal of Electrical Engineering and Information Technologies*, 9 (1), 2024, s. 63–70, ISSN 2545-4269.
48. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., i Radovanović, Radovanović., „Inteligentny system gospodarki odpadami (IWMS): sortowanie oparte na głębokim uczeniu z integracją czujników napełnienia pojemników”, w: *Ochrona środowiska i ryzyko katastrof (EnviroRisks 2024)*, wydanie pierwsze, Springer, Cham, Szwajcaria, 2024, str. 188–193, ISBN 978-3-031-74707-6.
49. Glavinov, Aleksandar., Doneva, Blagica., i Mustafovski, Rexhep., „Zastosowanie sztucznej inteligencji w infrastrukturze drogowej”, w: *Trzeci Macedoński Kongres Drogowy*, 6–7 listopada 2025 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2025.
50. Glavinov, Aleksandar., Sofronievska, Maja. i Mustafovski, Rexhep., „Inteligentne drogi na potrzeby interwencji i akcji ratowniczych”, w: *Trzeci Macedoński Kongres Drogowy*, 6–7 listopada 2025 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2025.
51. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar. i Shuminoski, Tomislav., „Postępy w dziedzinie przemysłowych czujników cyfrowych (wersja 3.0 do 4.0) i systemów radarowych do wykrywania obiektów: przegląd najnowszych osiągnięć”, w ramach *Trzeciej Międzynarodowej Konferencji ETIMA 2025*, 24–25 września 2025 r., Štip, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.
52. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar. i Shuminoski, Tomislav., „Wyzwania i rozwiązania w zakresie poprawy wydajności komunikacji między dronami a centrum operacyjnym (TOC) w operacjach wojskowych i kryzysowych”, w: *Trzecia Międzynarodowa Konferencja ETIMA 2025*, 24–25 września 2025 r., Štip, Republika Macedonii Północnej, 2025.
53. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar. i Shuminoski, Tomislav., „Projektowanie bezpiecznej struktury komunikacyjnej dla operacji UAV-TOC w środowiskach wojskowych i kryzysowych”, w: *Trzecia międzynarodowa konferencja ETIMA 2025*, 24–25 września 2025 r., Štip, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.
54. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar. i Shuminoski, Tomislav., „Analiza wydajności oparta na symulacji bezpiecznej struktury komunikacyjnej między bezzałogowymi statkami powietrznymi (UAV) a centrum operacyjnym (TOC) w operacjach wojskowych i ratowniczych”, w: *Trzecia międzynarodowa konferencja ETIMA 2025*, 24–25 września 2025 r., Štip, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.

55. Petrovski, Aleksandar., Mijalkovski, Stojance. i Mustafovski, Rexhep., „Zastosowanie biosensorów z lokalizatorami GPS do monitorowania stanu zdrowia górników w kopalniach podziemnych: kompleksowa struktura zapewniająca większe bezpieczeństwo i wydajność operacyjną”, w ramach *XVI profesjonalnych konsultacji z udziałem międzynarodowym: Technologia podziemnej i powierzchniowej eksploatacji zasobów mineralnych (Podex–Povex '25)*, 3–5 października 2025 r., Ochryd, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.
56. Mustafovski, Rexhep, Risteski, Aleksandar i Shuminoski, Tomislav, „MobileSecureComm: platforma komunikacji taktycznej nowej generacji dla operacji lądowych, morskich i powietrznych”, w: *32. Międzynarodowa konferencja IEEE poświęcona systemom, sygnałom i przetwarzaniu obrazu (IWSSIP 2025)*, 24–26 czerwca 2025 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.
57. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., Radovanović, Marko. i Jokić, Željko., „Zastosowanie naziemnych platform modułowych w modernizacji strzelnic – inteligentne nośniki celów”, w *16. Międzynarodowej Konferencji DQM poświęconej inżynierii i zarządzaniu cykłem życia (ICDQM 2025)*, 26–27 czerwca 2025 r., Prijedor, Republika Serbii, 2025 r.
58. Mustafovski, Rexhep., „Luki w zabezpieczeniach i wyzwania związane z technologiami IoT”, w ramach *Studenckiej Konferencji poświęconej Efektywności Energetycznej i Zrównoważonemu Rozwojowi (SCEESD)*, 29 października – 1 listopada 2024 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2025 r.
59. Mustafovski, Rexhep., „Znaczenie stosowania urządzeń inteligentnych”, w: *Studencka konferencja poświęcona efektywności energetycznej i zrównoważonemu rozwojowi*, 26–29 października 2022 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2023.
60. Mustafovski, Rexhep., „Zintegrowany system sterowania i monitorowania (ICMS) wykorzystujący cyfrowe płytki elektroniczne do monitorowania i wykrywania obiektów na krótkich odległościach”, w: *Międzynarodowa konferencja ACCHE – Doroczna konferencja poświęcona wyzwaniom współczesnego szkolnictwa wyższego*, 3–7 lutego 2025 r., Kopaonik, Republika Serbii, 2025.
61. Mustafovski, Rexhep., „Porównanie najnowocześniejszych rozwiązań platformy SecuDroneComm z istniejącymi bezpiecznymi systemami komunikacji dronów”, w: *Międzynarodowa konferencja ACCHE – Doroczna konferencja poświęcona wyzwaniom współczesnego szkolnictwa wyższego*, 3–7 lutego 2025 r., Kopaonik, Republika Serbii, 2025.
62. Mustafovski, Rexhep., „Najnowsze badania i analiza aktywnych i pasywnych reflektorów radarowych oraz ultradźwiękowych systemów radarowych”, w:

Międzynarodowa konferencja ACCHE – Doroczna konferencja poświęcona wyzwaniom współczesnego szkolnictwa wyższego, 3–7 lutego 2025 r., Kopaonik, Republika Serbii, 2025.

63. Mustafovski, Rexhep. i Petrovski, Aleksandar., „Analiza wykorzystania nowoczesnych systemów naprowadzania ognia i ich wdrożenia w jednostkach piechoty”, w: *11. Międzynarodowa konferencja naukowa poświęcona technologiom obronnym (OTEX 2024)*, 9–11 listopada 2024 r., Tara, Republika Serbii, 2024.
64. Mustafovski, Rexhep., „Aspekty etyczne budowy systemu radarowego do wykrywania obiektów na krótkim zasięgu z wykorzystaniem Arduino Mega 2560”, w: *XVI Międzynarodowa konferencja ETAI 2024*, 21–23 września 2024 r., Struga, Republika Macedonii Północnej, 2024 r.
65. Mustafovski, Rexhep., „Wykorzystanie cyfrowej płytki rozwojowej do opracowania systemu radarowego ultradźwiękowego do wykrywania obiektów na krótkim dystansie w konfiguracji 360 stopni”, w: *XVI Międzynarodowa konferencja ETAI 2024*, 21–23 września 2024 r., Struga, Republika Macedonii Północnej, 2024.
66. Mustafovski, Rexhep., „Zapewnienie bezpieczeństwa informacji w erze cyfrowej”, w: *Druga Międzynarodowa Konferencja ETIMA 2023*, 27–29 września 2023 r., Štip, Republika Macedonii Północnej, 2024 r.
67. Mustafovski, Rexhep., Achkoski, Jugoslav. i Petrovski, Aleksandar., „Wzrost wpływu serwisów społecznościowych na codzienne interakcje społeczne w sytuacji pandemii”, w: *CMiGIN 2022: 2. Międzynarodowa konferencja poświęcona zarządzaniu konfliktami w globalnych sieciach informacyjnych*, 30 listopada 2022 r., Kijów, Ukraina, 2022.
68. Mustafovski, Rexhep., „Strategie uczenia się i świadomość metapoznawcza”, w: *2. Międzynarodowa konferencja naukowa MILCON'19: Akademia Wojskowa im. gen. Mihaila Apostolskiego*, 12 listopada 2019 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2019.
69. Mustafovski, Rexhep., „Środowisko nauczania cyfrowego nowej generacji (NGDLE)”, w: *2. Międzynarodowa konferencja naukowa MILCON'19: Akademia Wojskowa im. gen. Mihaila Apostolskiego*, 12 listopada 2019 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2019.
70. Mustafovski, Rexhep., „Wykorzystanie analizy potrzeb szkoleniowych do poprawy umiejętności szkoleniowych kadetów”, w: *2. Międzynarodowa konferencja naukowa MILCON'19: Akademia Wojskowa im. gen. Mihailo Apostolskiego*, 12 listopada 2019 r., Skopje, Republika Macedonii Północnej, 2019.
71. Dang, S., Amin, O., Shihada, B. i Alouini, M.S., „Czym powinna być technologia 6G?”, *Nature Electronics*, 3, 2020, s. 20–29.

72. David, K. i Berndt, H., „Wizja i wymagania 6G: czy istnieje potrzeba rozwoju technologii wykraczającej poza 5G?”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13, 2018, s. 72–80.
73. Yastrebova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, Y., Borodin, A. i Koucheryavy, A., „Sieci przyszłości 2030: architektura i wymagania”, w: *10. Międzynarodowy Kongres Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) 2018*, Moskwa, Rosja, 5–9 listopada 2018 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, s. 1–8.
74. Andrews, J.G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S.V., Lozano, A., Soong, A.C. i Zhang, J.C., „What Will 5G Be?”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32, 2014, s. 1065–1082.
75. Patzold, M., „5G Is Coming Around the Corner”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, s. 4–10.
76. Rommel, S., Raddo, T.R. i Monroy, I.T., „Łączność centrów danych za pomocą systemów bezprzewodowych 6G”, w: *Photonics in Switching and Computing (PSC)*, Limassol, Cypr, 19–21 września 2018 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, s. 1–3.
77. Kabir, H.D., Khosravi, A., Mondal, S.K., Rahman, M., Nahavandi, S. i Buyya, R., „Decyzje uwzględniające niepewność w przetwarzaniu w chmurze: podstawy i kierunki rozwoju”, *ACM Computing Surveys*, 54, 2021, s. 1–30.
78. Mondal, S.K., Wu, X., Kabir, H.M.D., Dai, H.N., Ni, K., Yuan, H. i Wang, T., „W kierunku optymalnego prognozowania obciążenia i konfigurowalnego schematu autoskalowania dla Kubernetes”, *Mathematics*, 11, 2023, 2675.
79. Fang, C., Yao, H., Wang, Z., Wu, W., Jin, X. i Yu, F.R., „Przegląd mobilnych sieci zorientowanych na informacje: zagadnienia badawcze i wyzwania”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, s. 2353–2371.
80. Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A.F., Dohler, M., Sjöland, H. i Tufvesson, F., „Systemy bezprzewodowe 6G: wizja, wymagania, wyzwania, spostrzeżenia i możliwości”, *Proceedings of the IEEE*, 109, 2021, s. 1166–1199.
81. Kabir, H.D., Abdar, M., Khosravi, A., Jalali, S.M.J., Atiya, A.F., Nahavandi, S. i Srinivasan, D., „SpinalNet: głęboka sieć neuronowa ze stopniowym wprowadzaniem danych”, *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 4, 2022, s. 1165–1177.
82. Kabir, H.D., Khanam, S., Khozeimeh, F., Khosravi, A., Mondal, S.K., Nahavandi, S. oraz Acharya, U.R., „Aleatory-Aware Deep Uncertainty Quantification for Transfer Learning”, *Computers in Biology and Medicine*, 143, 2022, 105246.

83. Cashmore, M., Collins, A., Krarup, B., Krivic, S., Magazzeni, D. i Smith, D., „W kierunku wyjaśnialnego planowania AI jako usługi”, arXiv, 2019, arXiv:1908.05059.
84. Kabir, H., „Reduction of Class Activation Uncertainty with Background Information”, arXiv, 2023, arXiv:2305.03238.
85. Chen, L., Chen, L., Jordan, S., Liu, Y.K., Moody, D., Peralta, R., Perner, R.A. i Smith-Tone, D., *Raport dotyczący kryptografii postkwantowej*, Departament Handlu Stanów Zjednoczonych, Narodowy Instytut Standardów i Technologii, Waszyngton, DC, USA, 2016.
86. Van Huynh, N., Hoang, D.T., Lu, X., Niyato, D., Wang, P. i Kim, D.I., „Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, s. 2889–2922.
87. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Alam, S.B. i Acharya, U.R., „Transfer Learning with Spinally Shared Layers”, *Applied Soft Computing*, 163, 2024, 111908.
88. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Khanam, S., Khosravi, A., Rahman, S., Qazani, M.R.C., Alizadehsani, R., Asadi, H., Mohamed, S. i Nahavandi, S., „(„Sieć neuronowa uwzględniająca niepewność oparta na podobieństwie i wrażliwości””, *Applied Soft Computing*, 149, 2023, 111027.
89. Mao, Q., Hu, F. i Hao, Q., „Deep Learning for Intelligent Wireless Networks: A Comprehensive Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, s. 2595–2621.
90. Elayan, H., Amin, O., Shihada, B., Shubair, R.M. i Alouini, M.S., „Pasma terahercowe: ostatni element układanki widma radiowego dla systemów komunikacyjnych”, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2019, s. 1–32.
91. ITU-R., *Minimalne wymagania dotyczące parametrów technicznych interfejsów radiowych IMT-2020*, Raport 2410-2017, 2017.
92. Boulogeorgos, A.A.A., Alexiou, A., Merkle, T., Schubert, C., Elschner, R., Katsiotis, A., Stavrianos, P., Kritharidis, D., Chartsias, P.K. i Kokkoniami, J., „Technologie terahercowe zapewniające jakość doświadczenia sieci optycznej w systemach bezprzewodowych wykraczających poza 5G”, *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, s. 144–151.
93. Wang, C.X., You, X., Gao, X., Zhu, X., Li, Z., Zhang, C., Wang, H., Huang, Y., Chen, Y. i Haas, H., „W drodze do 6G: wizje, wymagania, kluczowe technologie i platformy testowe”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, s. 905–974.
94. Jiang, W., Han, B., Habibi, M.A. i Schotten, H.D., „Droga do 6G: kompleksowy przegląd”, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2021, s. 334–366.

95. Nasrallah, A., Thyagaturu, A.S., Alharbi, Z., Wang, C., Shao, X., Reisslein, M. i ElBakoury, H., „Sieci o ultra niskim opóźnieniu: standardy IEEE TSN i IETF DetNet oraz powiązane badania nad 5G ULL”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, s. 88–145.
96. Zhong, M., Yang, Y., Yao, H., Fu, X., Dobre, O.A. i Postolache, O., „5G i IoT: w kierunku nowej ery komunikacji i pomiarów”, *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22, 2019, s. 18–26.
97. Barneto, C.B., Turunen, M., Liyanaarachchi, S.D., Anttila, L., Brihuega, A., Riihonen, T. i Valkama, M., „Wysokoprecyzyjne wykrywanie radiowe w sieciach 5G New Radio: perspektywy i wyzwania związane z interferencją własną”, w: *53. konferencja Asilomar poświęcona sygnałom, systemom i komputerom*, Pacific Grove, Kalifornia, USA, 3–6 listopada 2019 r., IEEE, Piscataway, New Jersey, USA, 2019, s. 1159–1163.
98. 6G Flagship., *Kluczowe czynniki i wyzwania badawcze dla wszechobecnej inteligencji bezprzewodowej 6G*, Biała księga, 2019.
99. NTT Docomo Inc., *5G Evolution and 6G*, dokument, 2020.
100. Gui, G., Liu, M., Tang, F., Kato, N. i Adachi, F., „6G: Opening New Horizons for Integration of Comfort, Security, and Intelligence”, *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, s. 126–132.
101. You, X., Wang, C.X., Huang, J., Gao, X., Zhang, Z., Wang, M., Huang, Y., Zhang, C., Jiang, Y. i Wang, J., „W kierunku sieci komunikacji bezprzewodowej 6G: wizja, technologie wspomagające i nowe zmiany paradygmatu”, *Science China Information Sciences*, 64, 2021, s. 1–74.
102. Bhat, J.R. i Alqahtani, S.A., „Ekosystem 6G: stan obecny i perspektywy na przyszłość”, *IEEE Access*, 9, 2021, s. 43134–43167.
103. Alablani, I.A. i Arafah, M.A., „Schemat adaptacyjnego wyboru komórek dla heterogenicznych sieci 5G o bardzo dużej gęstości”, *IEEE Access*, 9, 2021, s. 64224–64240.
104. Sun, W., Wang, L., Liu, J., Kato, N. i Zhang, Y., „Przekazywanie CoMP uwzględniające ruch w heterogenicznych sieciach o bardzo dużej gęstości”, *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, str. 340–352.
105. Sharma, S.K. i Wang, X., „W kierunku masowej komunikacji typu maszynowego w ultra-gęstych komórkowych sieciach IoT: aktualne problemy i rozwiązania wspomagane uczeniem maszynowym”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, s. 426–471.
106. Wu, W., „Przegląd rozwoju sieci informacji zintegrowanej z przestrzenią kosmiczną i ziemską”, *Space-Integrated-Ground Information Network*, 1, 2020, str. 1–16.

107. Akyildiz, I.F., Kak, A. i Nie, S., „6G i dalej: przyszłość systemów komunikacji bezprzewodowej”, *IEEE Access*, 8, 2020, str. 133995–134030.
108. Samsung Research., *6G: The Next Hyper Connected Experience for All*, Samsung, Suwon-si, Republika Korei, 2020.
109. Lu, Y. i Zheng, X., „6G: przegląd technologii, scenariuszy, wyzwań i powiązanych zagadnień”, *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 2020, 100158.
110. Wang, C., Yu, H., Li, X., Ma, F., Wang, X., Taleb, T. i Leung, V.C., „Wdrażanie mikrosług z uwzględnieniem zależności w przetwarzaniu brzegowym: podejście oparte na głębokim uczeniu się wzmacniającym z reprezentacją sieci”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 23, 2024, s. 14737–14753.
111. Wang, C., Jia, B., Yu, H., Chen, L., Cheng, K. i Wang, X., „Uczenie federacyjne wspomagane uwagą dla przydzielania zadań opartego na zależnościach w scenariuszach inteligentnych sieci energetycznych wspomaganych przez urządzenia brzegowe”, w: *2022 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Foshan, Chiny, 11–13 sierpnia 2022 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, s. 856–861.
112. Wang, X., Kong, L., Kong, F., Qiu, F., Xia, M., Arnon, S. i Chen, G., „Komunikacja w paśmie milimetrowym: kompleksowy przegląd”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, s. 1616–1653.
113. Ippolito, L.J., „Radio Propagation for Space Communications Systems”, *Proceedings of the IEEE*, 69, 1981, s. 697–727.
114. Ajorloo, H. i Manzuri-Shalmani, M.T., „Modelowanie długości okresu sygnału nawigacyjnego w sieciach WPAN wykorzystujących fale UWB i fale milimetrowe 60 GHz w oparciu o standardy ECMA-368 i ECMA-387”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12, 2012, str. 1201–1213.
115. Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A.B., Knightly, E.W., Perahia, E. oraz Widmer, J.C., „IEEE 802.11ad: Kierunkowa komunikacja 60 GHz dla Wi-Fi o przepustowości wielu gigabitów na sekundę”, *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, s. 132–141.
116. Han, B., Wang, L. i Schotten, H.D., „Trójwymiarowy model przeszkód w postaci ludzkiego ciała dla zewnętrznej komunikacji komórkowej w paśmie milimetrowym”, *Physical Communication*, 25, 2017, s. 502–510.
117. Al-Samman, A.M., Azmi, M.H. i Rahman, T.A., „Przegląd komunikacji w paśmie milimetrowym dla 5G: pomiar kanałów poniżej i powyżej 6 GHz”, w: *Recent Trends in Data Science and Soft Computing, materiały z 3. międzynarodowej konferencji poświęconej niezawodnym technologiom informacyjnym i komunikacyjnym (IRICT 2018)*, Kuala Lumpur,

- Malezja, 23–24 czerwca 2018 r., Springer, Berlin/Heidelberg, Niemcy, 2019, s. 451–463.
118. Huq, K.M.S., Busari, S.A., Rodriguez, J., Frascolla, V., Bazzi, W. i Sicker, D.C., „System bezprzewodowy wykorzystujący fale terahercowe dla ultraszybkich sieci Beyond-5G: krótki przegląd”, *IEEE Network*, 33, 2019, s. 89–95.
 119. Rappaport, T.S., Xing, Y., Kanhere, O., Ju, S., Madanayake, A., Mandal, S., Alkhateeb, A. i Trichopoulos, G.C., „Komunikacja bezprzewodowa i zastosowania powyżej 100 GHz: możliwości i wyzwania dla 6G i kolejnych generacji”, *IEEE Access*, 7, 2019, s. 78729–78757.
 120. Kabir, H.M.D., „Wielokrotnik częstotliwości wykorzystujący trzy ambipolarne tranzystory grafenowe”, *Microelectronics Journal*, 70, 2017, s. 12–15.
 121. Chen, Z., Ma, X., Zhang, B., Zhang, Y., Niu, Z., Kuang, N., Chen, W., Li, L. i Li, S., „Przegląd komunikacji terahercowej”, *China Communications*, 16, 2019, s. 1–35.
 122. Sareddeen, N.S.H., Al-Naffouri, T.Y. i Alouini, M.S., „Komunikacja terahercowa nowej generacji: połączenie wykrywania, obrazowania i lokalizacji”, *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, s. 69–75.
 123. Zhang, J., Zhu, M., Hua, B., Lei, M., Cai, Y., Zou, Y., Tian, L., Li, A., Huang, Y. i Yu, J., „Zorientowana na 6G demonstracja w czasie rzeczywistym 100 GbE w ramach konferencji i wystawy Optical Fiber Communications () – płynna komunikacja światłowodowo-terahercowa umożliwiona przez fotonikę”, w ramach konferencji i wystawy Optical Fiber Communications (OFC) 2022, San Diego, Kalifornia, USA, 6–10 marca 2022 r., IEEE, Piscataway, New Jersey, USA, 2022, str. 1–3.
 124. Bariah, L., Mohjazi, L., Muhaidat, S., Sofotasios, P.C., Kurt, G.K., Yanikomeroglu, H. i Dobre, O.A., „Perspektywiczne spojrzenie: kluczowe technologie wspomagające, zastosowania i otwarte tematy badawcze w sieciach 6G”, *IEEE Access*, 8, 2020, s. 174792–174820.
 125. Giordani, M., Polese, M., Mezzavilla, M., Rangan, S. i Zorzi, M., „W kierunku sieci 6G: przypadki użycia i technologie”, *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, s. 55–61.
 126. Tavakkolnia, I., Jagadamma, L.K., Bian, R., Manousiadis, P.P., Videv, S., Turnbull, G.A., Samuel, I.D. i Haas, H., „Organiczne ogniwa fotowoltaiczne do jednoczesnego pozyskiwania energii i szybkiej optycznej komunikacji bezprzewodowej MIMO”, *Light: Science & Applications*, 10, 2021, 41.

127. Xu, W., Zhang, J., Kim, J.Y., Huang, W., Kanhere, S.S., Jha, S.K. i Hu, W., „Projekt, wdrożenie i zastosowanie inteligentnego systemu oświetlenia dla inteligentnych budynków”, *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, s. 7266–7281.
128. Perera, A., Katz, M., Godaliyadda, R., Häkkinen, J. i Strömmer, E., „Internet rzeczy oparty na świetle: wdrożenie optycznie połączonego, energetycznie autonomicznego węzła”, w: *2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Nanjing, Chiny, 29 marca–1 kwietnia 2021 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2021, s. 1–7.
129. Padhi, S. i Subramanyam, R., „Algorytmy oparte na poziomie niepewności poprzez zarządzanie energią odnawialną dla geograficznie rozproszonych centrów danych”, *Cluster Computing*, 27, 2024, s. 5337–5354.
130. He, X., Xie, E., Islim, M.S., Purwita, A.A., McKendry, J.J., Gu, E., Haas, H. i Dawson, M.D., „Komunikacja w głębokim ultrafiolecie w przestrzeni wolnej z prędkością 1 Gb/s oparta na mikro-diodach LED z azotku III emitujących światło o długości fali 262 nm”, *Photonics Research*, 7, 2019, str. B41–B47.
131. Soltani, M.D., Sarbazi, E., Bamiedakis, N., De Souza, P., Kazemi, H., Elmirghani, J.M., White, I.H., Penty, R.V., Haas, H. i Safari, M., „Analiza bezpieczeństwa laserowej bezprzewodowej komunikacji optycznej: poradnik”, *Proceedings of the IEEE*, 110, 2022, s. 1045–1072.
132. Hamza, A.S., Deogun, J.S. i Alexander, D.R., „Ramy klasyfikacji łączy i systemów optycznej komunikacji w przestrzeni wolnej”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, s. 1346–1382.
133. Kazemi, H., Sarbazi, E., Soltani, M.D., Safari, M. i Haas, H., „System bezprzewodowego łącza zwrotnego o przepustowości Tb/s w pomieszczeniach z wykorzystaniem macierzy VCSEL”, w: *31. doroczne międzynarodowe sympozjum IEEE poświęcone komunikacji radiowej osobistej, wewnętrznej i mobilnej (PIMRC) 2020*, Londyn, Wielka Brytania, 31 sierpnia–3 września 2020 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2020, s. 1–6.
134. Yoshida, K., Manousiadis, P.P., Bian, R., Chen, Z., Murawski, C., Gather, M.C., Haas, H., Turnbull, G.A. i Samuel, I.D., „Organiczne diody elektroluminescencyjne o szerokości pasma 245 MHz stosowane w gigabitowym optycznym bezprzewodowym łączu danych”, *Nature Communications*, 11, 2020, 1171.
135. Matthews, W., Ahmed, Z., Ali, W. i Collins, S., „Odbiornik VLC OOK oparty na SiPM o przepustowości 3,45 gigabitów/s”, *IEEE Photonics Technology Letters*, 33, 2021, s. 487–490.
136. Soltani, M.D., Purwita, A.A., Zeng, Z., Haas, H. i Safari, M., „Modelowanie losowej orientacji urządzeń mobilnych: pomiary, analiza i przypadek użycia LiFi”, *IEEE Transactions on Communications*, 67, 2018, s. 2157–2172.

137. Arfaoui, M.A., Soltani, M.D., Tavakkolnia, I., Ghrayeb, A., Assi, C.M., Safari, M. i Haas, H., „Modele kanałów oparte na pomiarach dla systemów LiFi w pomieszczeniach”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2020, s. 827–842.
138. Yesilkaya, A., Bian, R., Tavakkolnia, I. i Haas, H., „Optyczna modulacja przestrzenna oparta na OFDM”, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, str. 1433–1444.
139. Eroglu, Y.S., Anjinappa, C.K., Guvenc, I. i Pala, N., „Powolne sterowanie wiązką i NOMA dla wieloużytkownikowej komunikacji światłem widzialnym w pomieszczeniach”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 20, 2019, s. 1627–1641.
140. Su, N., Panayirci, E., Koca, M., Yesilkaya, A., Poor, H.V. i Haas, H., „Zabezpieczenia warstwy fizycznej dla wieloużytkownikowych systemów komunikacji światłem widzialnym MIMO z uogólnioną modulacją przestrzenną”, *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, s. 2585–2598.
141. Chowdhury, M.Z., Hossan, M.T., Islam, A. i Jang, Y.M., „A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications”, *IEEE Access*, 6, 2018, s. 9819–9840.
142. Al-Kinani, A., Wang, C.X., Zhou, L. i Zhang, W., „Optical Wireless Communication Channel Measurements and Models”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, s. 1939–1962.
143. Marcus, M., Burtle, J., Frañca, B., Lahjouji, A. i McNeil, N., *Grupa zadaniowa ds. polityki widma Federalnej Komisji Łączności: Raport grupy roboczej ds. urzędzeń nielicencjonowanych i licencji eksperymentalnych*, Federalna Komisja Łączności, Waszyngton, DC, USA, 2002.
144. Kliks, A., Kułacz, L., Kryszkiewicz, P., Bogucka, H., Dryjanski, M., Isaksson, M., Koudouridis, G.P. i Tengkvist, P., „Beyond 5G: Big Data Processing for Better Spectrum Utilization”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15, 2020, s. 40–50.
145. Liang, Y.C., Zhang, Q., Larsson, E.G. i Li, G.Y., „Symbiotic Radio: Cognitive Backscattering Communications for Future Wireless Networks” (Symbiotyczne radio: komunikacja oparta na kognitywnym rozpraszaniu wstecznym dla przyszłych sieci bezprzewodowych), *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, s. 1242–1255.
146. Bhattarai, S., Park, J.M.J., Gao, B., Bian, K. i Lehr, W., „Przegląd dynamicznego współdzielenia widma: bieżące inicjatywy, wyzwania i plan działania dla przyszłych badań”, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 2, 2016, s. 110–128.
147. Wang, B. i Liu, K.R., „Postępy w sieciach radiowych opartych na kognitywności: przegląd”, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5, 2010, s. 5–23.
148. Mitola, J., „Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications”, w: *1999 IEEE International Workshop on Mobile*

- Multimedia Communications (MoMuC'99)*, San Diego, Kalifornia, USA, 15–17 listopada 1999 r., IEEE, Piscataway, New Jersey, USA, 1999, s. 3–10.
149. Haykin, S., „Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23, 2005, s. 201–220.
150. Zhang, K., Leng, S., Peng, X., Pan, L., Maharjan, S. i Zhang, Y., „Artificial Intelligence Inspired Transmission Scheduling in Cognitive Vehicular Communications and Networks”, *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2018, s. 1987–1997.
151. Zhang, Q., Zhang, L., Liang, Y.C. i Kam, P.Y., „Backscatter-NOMA: symbiotyczny system sieci komórkowych i sieci Internetu rzeczy”, *IEEE Access*, 7, 2019, s. 20000–20013.
152. Long, R., Liang, Y.C., Guo, H., Yang, G. i Zhang, R., „Symbiotic Radio: A New Communication Paradigm for Passive Internet of Things”, *IEEE Internet of Things Journal*, 7, 2019, s. 1350–1363.
153. Sharma, S.K., Bogale, T.E., Le, L.B., Chatzinotas, S., Wang, X. i Ottersten, B., „Dynamiczne współdzielenie widma w sieciach bezprzewodowych 5G z technologią pełnego duplexu: najnowsze osiągnięcia i wyzwania badawcze”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2017, s. 674–707.
154. Naparstek, O. i Cohen, K., „Głębokie uczenie się wzmacniające dla wielu użytkowników w celu rozproszonego dynamicznego dostępu do widma”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, s. 310–323.
155. Jacob, S., Menon, V.G., Joseph, S., Vinoj, P., Jolfaei, A., Lukose, J. i Raja, G., „Nowatorski schemat współdzielenia widma wykorzystujący dynamiczną pamięć długo- i krótkoterminową z CP-OFDMA w sieciach 5G”, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, s. 926–934.
156. Hu, S., Liang, Y.C., Xiong, Z. i Niyato, D., „Blockchain i sztuczna inteligencja do dynamicznego współdzielenia zasobów w 6G i dalej”, *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, s. 145–151.
157. Wei, Z., Yuan, W., Li, S., Yuan, J., Bharatula, G., Hadani, R. i Hanzo, L., „Orthogonal Time-Frequency Space Modulation: A Promising Next-Generation Waveform”, *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, s. 136–144.
158. Darwazeh, I., Ghannam, H. i Xu, T., „Pierwsze 15 lat SEFDM: krótki przegląd”, w: *11. Międzynarodowe Sympozjum na temat Systemów Komunikacyjnych, Sieci i Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów (CSNDSP) 2018*, Budapeszt, Węgry, 18–20 lipca 2018 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, s. 1–7.
159. Li, D., „Zasada multipleksowania nakładającego się i zwiększona przepustowość w kanale z addytywnym białym szumem Gaussa”, *IEEE Access*, 6, 2017, s. 6840–6848.

160. Liu, F., Masouros, C., Petropulu, A.P., Griffiths, H. i Hanzo, L., „Wspólne projektowanie radarów i systemów łączności: zastosowania, stan wiedzy i perspektywy na przyszłość”, *IEEE Transactions on Communications*, 68, 2020, s. 3834–3862.
161. Basar, E., Wen, M., Mesleh, R., Di Renzo, M., Xiao, Y. i Haas, H., „Techniki modulacji indeksowej dla sieci bezprzewodowych nowej generacji”, *IEEE Access*, 5, 2017, s. 16693–16746.
162. Costello, D.J. i Forney, G.D., „Kodowanie kanałów: droga do pojemności kanału”, *Proceedings of the IEEE*, 95, 2007, str. 1150–1177.
163. Gallager, R., „Kody parzystości o niskiej gęstości”, *IRE Transactions on Information Theory*, 8, 1962, str. 21–28.
164. Berrou, C., Glavieux, A. i Thitimajshima, P., „Kodowanie i dekodowanie z korekcją błędów zbliżone do granicy Shannona: kody turbo”, w: *ICC'93 IEEE International Conference on Communications*, Genewa, Szwajcaria, 23–26 maja 1993 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 1993, tom 2, str. 1064–1070.
165. Arikan, E., „Polarizacja kanału: metoda konstruowania kodów osiągających pojemność dla symetrycznych kanałów bezpamięciowych z wejściem binarnym”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 55, 2009, s. 3051–3073.
166. Shao, S., Hailes, P., Wang, T.Y., Wu, J.Y., Maunder, R.G., Al-Hashimi, B.M. i Hanzo, L., „Przegląd implementacji układów ASIC dekodatorów Turbo, LDPC i Polar”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2019, s. 2309–2333.
167. Kschischang, F.R., Frey, B.J. i Loeliger, H.A., „Factor Graphs and the Sum-Product Algorithm”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 47, 2001, s. 498–519.
168. Ren, Y., Kristensen, A.T., Shen, Y., Balatsoukas-Stimming, A., Zhang, C. i Burg, A., „Dekoder listy sukcesywnego anulowania oparty na węzłach powtórzeń sekwencji dla kodów polarnych 5G: algorytm i implementacja”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 70, 2022, str. 5592–5607.
169. Cao, S., Lin, T., Zhang, S., Xu, S. i Zhang, C., „Rekonfigurowalna i potokowa architektura do zgodnego ze standardem dekodowania LDPC i polarnego”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, s. 5431–5444.
170. Condo, C., Martina, M. i Masera, G., „VLSI Implementation of a Multi-Mode Turbo/LDPC Decoder Architecture”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 60, 2012, s. 1441–1454.
171. Fossorier, M.P. i Lin, S., „Soft-Decision Decoding of Linear Block Codes Based on Ordered Statistics”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 41, 1995, s. 1379–1396.
172. Duffy, K.R., Li, J. i Médard, M., „Dekodowanie z losowym szumem addytywnym oparte na zgadywaniu osiągające pojemność”, *IEEE Transactions on Information Theory*, 65, 2019, str. 4023–4040.

173. Arian, E., „Od dekodowania sekwencyjnego do polaryzacji kanału i z powrotem”, arXiv, 2019, arXiv:1908.09594.
174. You, X., Zhang, C., Sheng, B., Huang, Y., Ji, C., Shen, Y., Zhou, W. i Liu, J., „Spatiotemporal 2-D Channel Coding for Very Low Latency Reliable MIMO Transmission”, w: *2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Rio de Janeiro, Brazylia, 4–8 grudnia 2022 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2022, s. 473–479.
175. Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A. i Higuchi, K., „Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access”, w: *77. konferencja IEEE poświęcona technologii pojazdowej (VTC Spring) 2013*, Drezno, Niemcy, 2–5 czerwca 2013 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2013, s. 1–5.
176. Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., Xiong, Q., Qian, C., Yu, B. i Ding, Z., „W kierunku standaryzacji nieortogonalnego dostępu wielokrotnego dla sieci bezprzewodowych nowej generacji”, *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, s. 19–27.
177. Makki, B., Chitti, K., Behravan, A. i Alouini, M.S., „Przegląd NOMA: aktualny stan i otwarte wyzwania badawcze”, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, s. 179–189.
178. Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G.K., Schober, R., Yuan, J. i Bhargava, V.K., „Przegląd nieortogonalnego dostępu wielokrotnego dla sieci 5G: wyzwania badawcze i przyszłe trendy”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 2017, s. 2181–2195.
179. Zeng, M., Nguyen, N.P., Dobre, O.A. i Poor, H.V., „Zabezpieczanie sieci Massive MIMO-NOMA w kierunku downlinku za pomocą sztucznego szumu”, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, s. 685–699.
180. Liu, X., Liu, Y., Chen, Y. i Poor, H.V., „Sieci Massive Non-Orthogonal Multiple Access wzbogacone o RIS: wdrożenie i projekt pasywnego formowania wiązki”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, s. 1057–1071.
181. Li, X., Zhao, M., Zeng, M., Mumtaz, S., Menon, V.G., Ding, Z. i Dobre, O.A., „Systemy NOMA z odbiciem otoczenia z ograniczeniami sprzętowymi: niezawodność i bezpieczeństwo”, *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, s. 2723–2736.
182. Marzetta, T.L., „Niewspółpracujące sieci komórkowe z nieograniczoną liczbą anten stacji bazowych”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9, 2010, str. 3590–3600.
183. Wang, B., Gao, F., Jin, S., Lin, H. i Li, G.Y., „Efekty szerokokopasmowości przestrzennej i częstotliwościowej w systemach massive MIMO wykorzystujących fale milimetrowe”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66, 2018, s. 3393–3406.
184. Yu, X., Shen, J.C., Zhang, J. i Letaief, K.B., „Algorytmy naprzemiennej minimalizacji dla kodowania wstępnego w systemach MIMO w paśmie

- milimetrym”, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10, 2016, s. 485–500.
185. Myers, N.J. i Heath, R.W., „InFocus: technika kodowania przestrzennego w celu złagodzenia nieostrości w formowaniu wiązki LoS w polu bliskim”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, str. 2193–2209.
186. Wei, X. i Dai, L., „Channel Estimation for Extremely Large-Scale Massive MIMO: Far-Field, Near-Field, or Hybrid-Field?”, *IEEE Communications Letters*, 26, 2021, s. 177–181.
187. Huang, J., Wang, C.X., Chang, H., Sun, J. i Gao, X., „Wieloczęstotliwościowe pomiary i modelowanie kanałów MIMO w paśmie milimetrym w wielu scenariuszach dla systemów komunikacji bezprzewodowej B5G”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, s. 2010–2025.
188. He, Z.Q. i Yuan, X., „Kaskadowe szacowanie kanału dla dużych systemów Massive MIMO wspomaganych inteligentnymi metapowierzchniami”, *IEEE Wireless Communications Letters*, 9, 2019, s. 210–214.
189. Jamali, V., Tulino, A.M., Fischer, G., Müller, R.R. i Schober, R., „Architektury nadajników wspomaganych inteligentnymi powierzchniami dla systemów Ultra Massive MIMO w paśmie milimetrym”, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2020, s. 144–167.
190. Wang, Y., Chen, X., Cai, Y. i Hanzo, L., „Hybrydowe systemy Massive MIMO wspomagane przez RIS oparte na przetwornikach analogowo-cyfrowych o adaptacyjnej rozdzielczości: solidny projekt formowania wiązki i alokacja zasobów”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2021, s. 3281–3286.
191. Zhang, J., Chen, S., Lin, Y., Zheng, J., Ai, B. i Hanzo, L., „Bezkomórkowe Massive MIMO: nowy paradygmat nowej generacji”, *IEEE Access*, 7, 2019, s. 99878–99888.
192. Ammar, H.A., Adve, R., Shahbazpanahi, S., Boudreau, G. i Srinivas, K.V., „User-Centric Cell-Free Massive MIMO Networks: A Survey of Opportunities, Challenges and Solutions”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, s. 611–652.
193. Chen, Z. i Björnson, E., „Wzmocnienie kanału i korzystne propagowanie w bezkomórkowym systemie Massive MIMO o geometrii stochastycznej”, *IEEE Transactions on Communications*, 66, 2018, str. 5205–5219.
194. Wei, X., Hu, C. i Dai, L., „Deep Learning for Beamspace Channel Estimation in Millimeter-Wave Massive MIMO Systems”, *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, s. 182–193.
195. Albreem, M.A., Alhabbash, A.H., Shahabuddin, S. i Juntti, M., „Deep Learning for Massive MIMO Uplink Detectors”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, s. 741–766.

196. Kabir, H.D., Khosravi, A., Nahavandi, S. i Srinivasan, D., „Szkolenie sieci neuronowych do kwantyfikacji niepewności w zakresie czasu i zasięgu”, *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 5, 2020, str. 768–779.
197. Yu, X., Lu, A.A., Gao, X., Li, G.Y., Ding, G. i Wang, C.X., „Komunikacja HF Skywave Massive MIMO”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, str. 2769–2785.
198. Wu, W., Gao, X., Sun, C. i Li, G.Y., „Shallow Underwater Acoustic Massive MIMO Communications”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, s. 1124–1139.
199. You, L., Li, K.X., Wang, J., Gao, X., Xia, X.G. i Ottersten, B., „Transmisja w technologii Massive MIMO w komunikacji satelitarnej LEO”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, s. 1851–1865.
200. Li, Q.C., Niu, H., Papathanassiou, A.T. i Wu, G., „5G Network Capacity: Key Elements and Technologies”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9, 2014, s. 71–78.
201. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G. i Marzetta, T.L., „Cell-Free Massive MIMO versus Small Cells”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, s. 1834–1850.
202. Björnson, E. i Sanguinetti, L., „Cell-Free versus Cellular Massive MIMO: What Processing Is Needed for Cell-Free to Win?”, w: *2019 IEEE 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Cannes, Francja, 2–5 lipca 2019 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2019, s. 1–5.
203. Basso, S., Farooq, H., Imran, M.A. i Imran, A., „Coordinated Multi-Point Clustering Schemes: A Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2017, s. 743–764.
204. Kotzsch, V. i Fettweis, G., „Analiza zakłóceń w systemach MIMO OFDM w sieciach asynchronicznych pod względem czasu i częstotliwości”, w: *2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Sydney, Australia, 18–21 kwietnia 2010 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010, s. 1–6.
205. O’hara, F. i Moore, G., „Wysokowydajny odbiornik CW wykorzystujący wyzerowanie przepustowe”, *Microwave Journal*, 6, 1963, str. 63–71.
206. Liu, G., Yu, F.R., Ji, H., Leung, V.C. i Li, X., „Przekazywanie w paśmie w trybie pełnego duplexu: przegląd, zagadnienia badawcze i wyzwania”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17, 2015, s. 500–524.
207. Liu, W., Huang, K., Zhou, X. i Durrani, S., „Sieci pełnodupleksowe z zakłóceniami odbicia wstecznego oparte na widmie rozproszonym z przeskokiem czasowym”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, str. 4361–4377.

208. Kolodziej, K.E., Perry, B.T. i Herd, J.S., „Technologia pełnego duplexu w paśmie: przegląd technik i systemów”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67, 2019, s. 3025–3041.
209. Nawaz, H. i Tekin, I., „Antena płaskowa z podwójnym zasilaniem różnicowym i podwójną polaryzacją o izolacji RF międzyportowej 90 dB dla pełnoduplexowego nadajnika-odbiornika w paśmie 2,4 GHz”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17, 2017, s. 287–290.
210. Komatsu, K., Miyaji, Y. i Uehara, H., „Iteracyjne nieliniowe eliminowanie samoparazytów dla pełnoduplexowej komunikacji bezprzewodowej w paśmie przy nierównowadze mieszacza i nieliniowości wzmacniacza”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19, 2020, str. 4424–4438.
211. Komatsu, K., Miyaji, Y. i Uehara, H., „Analiza teoretyczna radiotelefonów pełnoduplexowych w paśmie z równoległymi eliminatorami samowzajemnych zakłóceń Hammersteina”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2021, s. 6772–6786.
212. Chang, M.P., Blow, E.C., Lu, M.Z., Sun, J.J. i Prucnal, P.R., „Charakterystyka RF zintegrowanego fotonicznego obwodu mikrofalowego do eliminacji interferencji własnej”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66, 2017, s. 596–605.
213. Wang, D., Li, P., Wang, Y., Li, T., Yang, F., Zhou, T. i Rong, L., „Wspomagana fotoniką konwersja częstotliwości i eliminacja interferencji własnej dla komunikacji pełnoduplexowej w paśmie”, *Journal of Lightwave Technology*, 40, 2021, s. 607–614.
214. Rong, B., „6G: The Next Horizon: From Connected People and Things to Connected Intelligence”, *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, s. 8.
215. Chen, S., Liang, Y.C., Sun, S., Kang, S., Cheng, W. i Peng, M., „Wizja, wymagania i trendy technologiczne 6G: jak sprostać wyzwaniom związanym z zasięgiem systemu, przepustowością, szybkością transmisji danych użytkownika i prędkością ruchu”, *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, s. 218–228.
216. Yang, H., Zheng, S., He, W., Yu, X. i Zhang, X., „Moment pędu orbitalnego w zakresie teraherców: generowanie, wykrywanie i komunikacja”, *China Communications*, 18, 2021, s. 131–152.
217. Chen, R., Zhou, H., Moretti, M., Wang, X. i Li, J., „Fale momentu pędu orbitalnego: generowanie, wykrywanie i nowe zastosowania”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, str. 840–868.
218. Yousif, B.B. i Elsayed, E.E., „Poprawa wydajności łącza optycznego w przestrzeni wolnej z multipleksowaniem momentu pędu orbitalnego w warunkach turbulencji atmosferycznej przy użyciu multipleksowania trybów przestrzennych i dywersyfikacji hybrydowej opartej na adaptacyjnej korekcji MIMO”, *IEEE Access*, 7, 2019, str. 84401–84412.
219. Werner, D.H. i Jiang, Z.H., *Wiry elektromagnetyczne: zjawiska falowe i zastosowania inżynierskie*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2021.

220. Liu, K., Cheng, Y., Li, X. i Gao, Y., „Technologia wykrywania mikrofalowego wykorzystująca orbitalny moment pędu: przegląd zalet”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, s. 112–118.
221. Lei, Y., Yang, Y., Wang, Y., Guo, K., Gong, Y. i Guo, Z., „Wydajność przepustowości bezprzewodowych systemów wielowejściowych i wielowyjściowych wykorzystujących anteny OAM”, *IEEE Wireless Communications Letters*, 10, 2020, s. 261–265.
222. Liang, L., Cheng, W., Zhang, W. i Zhang, H., „Połączone multipleksowanie OAM i OFDM w środowiskach o rzadkich ścieżkach wielodrożnych”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69, 2020, str. 3864–3878.
223. ElMossallamy, M.A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K.G., Han, Z. i Li, G.Y., „Rekonfigurowalne inteligentne powierzchnie w komunikacji bezprzewodowej: zasady, wyzwania i możliwości”, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, s. 990–1002.
224. Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.S., Yuen, C., De Rosny, J. i Tretyakov, S., „Inteligentne środowiska radiowe oparte na rekonfigurowalnych powierzchniach inteligentnych: jak to działa, stan badań i perspektywy na przyszłość”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, s. 2450–2525.
225. Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J. i Marzetta, T.L., „Massive MIMO stało się rzeczywistością – co dalej?: Pięć obiecujących kierunków badań nad układami antenowymi”, *Digital Signal Processing*, 94, 2019, s. 3–20.
226. Zong, B., Fan, C., Wang, X., Duan, X., Wang, B. i Wang, J., „Technologie 6G: kluczowe czynniki, podstawowe wymagania, architektury systemowe i technologie wspomagające”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, s. 18–27.
227. Deng, R., Di, B., Zhang, H., Tan, Y. i Song, L., „Powierzchnia holograficzna z możliwością rekonfiguracji: holograficzne formowanie wiązki dla komunikacji bezprzewodowej wspomaganej metapowierzchnią”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, str. 6255–6259.
228. Wan, Z., Gao, Z., Gao, F., Di Renzo, M. i Alouini, M.S., „Terahercowe Massive MIMO z holograficznymi rekonfigurowalnymi inteligentnymi powierzchniami”, *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, s. 4732–4750.
229. Konkol, M.R., Ross, D.D., Shi, S., Harry, C.E., Wright, A.A., Schuetz, C.A. i Prather, D.W., „High-Power Photodiode-Integrated-Connected Array Antenna”, *Journal of Lightwave Technology*, 35, 2017, s. 2010–2016.
230. Jiang, W. i Schotten, H.D., „Prognozowanie kanałów zanikowych z wykorzystaniem wielu anten wspomagane sztuczną inteligencją”, w: 88. konferencja IEEE poświęcona technologii pojazdowej (VTC-Fall) 2018, Chicago, IL, USA, 27–30 sierpnia 2018 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2018, s. 1–6.

231. Jiang, W., Strufe, M. i Schotten, H.D., „A SON Decision-Making Framework for Intelligent Management in 5G Mobile Networks”, w: *3. Międzynarodowa konferencja IEEE poświęcona komputerom i komunikacji (ICCC) 2017*, Chengdu, Chiny, 13–16 grudnia 2017 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, s. 1158–1162.
232. Jiang, W. i Schotten, H.D., „Deep Learning for Fading Channel Prediction”, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, s. 320–332.
233. Jiang, W., Strufe, M. i Schotten, H.D., „Wyniki eksperymentalne dotyczące samoorganizujących się sieci 5G opartych na sztucznej inteligencji”, w: *28. doroczne międzynarodowe sympozjum IEEE poświęcone komunikacji radiowej osobistej, wewnętrznej i mobilnej (PIMRC) 2017*, Montreal, QC, Kanada, 8–13 października 2017 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, s. 1–6.
234. Huang, H., Song, Y., Yang, J., Gui, G. i Adachi, F., „Oparte na głębokim uczeniu się systemy massive MIMO w paśmie milimetrowym do kodowania hybrydowego”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 2019, s. 3027–3032.
235. Jiang, W. i Schotten, H.D., „Prognozowanie kanałów zanikowych oparte na sieciach neuronowych: kompleksowy przegląd”, *IEEE Access*, 7, 2019, str. 118112–118124.
236. Jiang, W., i Schotten, H.D., „Sieci neuronowe rekurencyjne z pamięcią długo- i krótkoterminową do prognozowania kanałów zanikowych”, w: *91. konferencja IEEE poświęcona technologii pojazdowej (VTC2020-Spring)*, Antwerpia, Belgia, 25–28 maja 2020 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2020, s. 1–5.
237. Jiang, W., Strufe, M. i Schotten, H.D., „Inteligentne zarządzanie sieciami dla systemów 5G: podejście SELFNET”, w: *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Oulu, Finlandia, 12–15 czerwca 2017 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2017, s. 1–5.
238. Letaief, K.B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J. i Zhang, Y.J.A., „Plan działania w kierunku 6G: sieci bezprzewodowe wspomagane sztuczna inteligencją”, *IEEE Communications Magazine*, 57, 2019, s. 84–90.
239. Cui, Y., Liu, F., Jing, X. i Mu, J., „Integracja czujników i komunikacji dla wszechobecnego IoT: zastosowania, trendy i wyzwania”, *IEEE Network*, 35, 2021, s. 158–167.
240. Zhang, J.A., Rahman, M.L., Wu, K., Huang, X., Guo, Y.J., Chen, S. i Yuan, J., „Umożliwienie wspólnej komunikacji i wykrywania radarowego w sieciach komórkowych — przegląd”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, s. 306–345.
241. Mealey, R.M., „Metoda obliczania prawdopodobieństwa błędów w systemie komunikacji radarowej”, *IEEE Transactions on Space Electronics and Telemetry*, 9, 1963, s. 37–42.

242. Sturm, C. i Wiesbeck, W., „Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing”, *Proceedings of the IEEE*, 99, 2011, s. 1236–1259.
243. Zhang, J.A., Liu, F., Masouros, C., Heath, R.W., Feng, Z., Zheng, L. i Petropulu, A., „Przegląd technik przetwarzania sygnałów w zastosowaniach łączących komunikację i wykrywanie radarowe”, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 15, 2021, s. 1295–1315.
244. Chiriyath, A.R., Paul, B., Jacyna, G.M. i Bliss, D.W., „Wewnętrzne granice wydajności współlistnienia radarów i komunikacji”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64, 2015, s. 464–474.
245. Kumari, P., Choi, J., González-Prelcic, N. i Heath, R.W., „Radar oparty na standardzie IEEE 802.11ad: podejście do wspólnego systemu komunikacji pojazdowej i radarowej”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67, 2017, s. 3012–3027.
246. Tschorsch, F. i Scheuermann, B., „Bitcoin i nie tylko: przegląd techniczny zdecentralizowanych walut cyfrowych”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18, 2016, s. 2084–2123.
247. Dai, H.N., Zheng, Z. i Zhang, Y., „Blockchain dla Internetu rzeczy: przegląd”, *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, s. 8076–8094.
248. Xie, J., Yu, F.R., Huang, T., Xie, R., Liu, J. i Liu, Y., „Przegląd skalowalności systemów blockchain”, *IEEE Network*, 33, 2019, s. 166–173.
249. Nguyen, D.C., Pathirana, P.N., Ding, M. i Seneviratne, A., „Blockchain dla sieci 5G i nowszych: przegląd najnowszych osiągnięć”, *Journal of Network and Computer Applications*, 166, 2020, 102693.
250. Xiong, Z., Zhang, Y., Niyato, D., Wang, P. i Han, Z., „When Mobile Blockchain Meets Edge Computing”, *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, s. 33–39.
251. Kabir, H.M.D., Alam, S.B., Azam, M.I., Hussain, M.A., Sazzad, A.R., Sakib, M.N. i Matin, M.A., „Nieliniowe zmniejszanie rozdzielczości i rekonstrukcja sygnału bez składania”, w: *2010 Fourth UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, Piza, Włochy, 17–19 listopada 2010 r., IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2010, s. 142–146.
252. Shi, G., Xiao, Y., Li, Y. i Xie, X., „Od komunikacji semantycznej do sieci uwzględniających semantykę: model, architektura i otwarte problemy”, *IEEE Communications Magazine*, 59, 2021, s. 44–50.
253. Shannon, C.E., „A Mathematical Theory of Communication”, *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, s. 379–423.
254. Shannon, C.E. i Weaver, W., *A Mathematical Model of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, USA, 1949, s. 11–20.
255. Barwise, J. i Perry, J., „Situations and Attitudes”, *Journal of Philosophy*, 78, 1981, s. 668–691.
256. Floridi, L., „Outline of a Theory of Strongly Semantic Information”, *Minds and Machines*, 14, 2004, s. 197–221.